

ぶんせき ③

Bunseki 2026

The Japan Society for Analytical Chemistry



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



ぶんせき Bunseki 2026 Contents 3

目次

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 73
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 X 線の網羅分析への使用事例／阿部 善也 74
講義	安定同位体比質量分析の基礎 ／原 拓治・大堀 基己・川西 伸明・曾根 由実・奥村 輔 80
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 89
話題	植物細胞の蛍光イメージング／山田 幸司 91
技術紹介	基礎からわかるふるい分けと粒子径分布測定／二宮 苗央・佐藤 浩二 93
トピックス	極微量の水質計測法： 水素イオン濃度（pH）と太陽系物質科学／高野 淑識 100
リレーエッセイ	ふたたび人生の転機をむかえて／佐藤 宗太 101
ロータリー	————— 102 談話室：2025 年度のノーベル化学賞によせて／インフォメーション：理事会だより (2025 年度第 5 回)；第 61 回 X 線分析討論会／執筆者のプロフィール

〔論文誌目次〕	105	〔広告索引〕	A7
〔お知らせ〕	M1	〔ガイド〕	A8
〔カレンダー〕	iii		

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

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

1) 放射能分析用牛肉認証標準物質

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

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

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

○充填容器と価格

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

2) 放射能分析用魚類認証標準物質

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

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

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

○充填容器と価格

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

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

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



写真左 ポリエチレン袋に装填された牛肉認証標準物質



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

カレンダー

2026年

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〕……………(2号 M3)	
	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〕……………(2号 M2)	
	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応用」 〔太田産業プラザ Plo およびオンライン〕……………(2号 M3)	
	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)	
	24日	日本分析化学会第15回定時総会〔Web会議室(日本分析化学会会議室)〕……………(M 2)	
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)〕……………(2号 M1)	
	14・15日	第42回希土類討論会〔タワーホール船堀〕……………(12号 M5)	
	15日	2026年度「ぶんせき講習会」(基礎編その1) 「分析における統計手法～統計の基礎と統計手法の実際について～」 〔大阪公立大学 I-site なんば+オンライン (Zoom)〕……………(M 3)	
	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〕……………(2号 M3)	
	29日	第25回生涯分析談話会へのお誘い 〔久留米シティプラザ(第86回分析化学討論会の開催場所)4階小会議室〕……………(M 3)	
	30・31日	第86回分析化学討論会〔久留米シティプラザ〕	
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 一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)	
	10～12日	電子機器トータルソリューション展2026〔東京ビッグサイト東展示棟〕……………(M 5)	
	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〕……………(2号 M1)	
	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	14日	2026年度LC/MS分析士五段認証試験〔日本分析化学会会議室〕……………(M 4)	
	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〕……………(2号 M1)	
	28日	2026年度LC/MS分析士四段認証試験〔日本分析化学会会議室〕……………(M 4)	
	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〕……………(2号 M3)	
	3・4日	第38回バイオメディカル分析科学シンポジウム〔山口東京理科大学〕……………(M 5)	
	15～17日	日本分析化学会第75年会〔東北大学青葉山新キャンパス〕……………(M 2)	

各種標準物質 (RM, CRM)

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

ICP-OES/ICP-MS AAS/IC	固体発光分光分析 蛍光X線 / ガス分析	物理特性 / 熱特性	有機標準物質
<ul style="list-style-type: none"> 無機標準液 / オイル標準液 鉄・非鉄各種金属 工業製品 (石炭、セメント、セラミックス等) 環境物質 (土壌、水、堆積物、岩石等) 乳製品、魚肉、穀物等 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄・非鉄各種金属 工業製品 (石炭、セメント、セラミックス等) 環境物質 (土壌、水、堆積物、岩石等) (乳製品、魚肉、穀物等) 	<ul style="list-style-type: none"> X線回折装置用 Si powder, Si nitride, 等 粒度分布計用 熱分析用 DSC (In, Pb, 等) 粘度測定用 膜厚分析用 	<ul style="list-style-type: none"> 製薬標準物質 SPEX, LGC, EP, USP, TRC, MOLCAN 認証有機標準液 ダイオキシン類 / PCB 有機元素計用標準物質 Cayman Chemical

Cole-Parmer 社 (旧 SPEX 社) 前処理機 (フリーザーミル・ボールミル)

凍結粉碎機 (Freezer / Mill)

粉碎容器にインバクター (粉碎棒) とサンプルを一緒に入れ、液体窒素にてサンプルを常時凍結させて運転を開始します。インバクターを磁化させ、往復運動させる事による衝撃でサンプルを粉碎します。やわらかいサンプルや熱に弱い生体サンプルに最適です。

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

ボールミル (Mixer / Mill)

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

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



Environmental Express社 不純物証明&目盛つき容器



Environmental Express社製ポリプロピレンチューブの特長

CertiTube

- 不純物濃度証明書と公差証明書が付属 ⇒ メスアップや保存容器として使用でき容器の移し替え作業を削減できます。
- ガラス器具由来の金属コンタミリスクも軽減可能。110℃の耐熱性があり分解容器としても使用できます。
※130℃以上の温度では使用できません。
- 15,50mL容器は容器本体蓋の素材が同じ商品です。
- Certi Tubeはディスプレイで設定可能な価格設定です。
- 時計皿、フィルターなどのオプションの取り扱いもございます。

UltiTube

- 超高純度UltiTubeは、68元素ppbおよびpptの低濃度が保証され、より低ブランクの測定を実現します。



取扱容量：15,50,100mL

品名	規格	単位	在庫
...

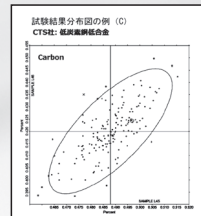
海外技能試験輸入代行サービス

技能試験 (外部精度管理) とは・・・

技能試験提供機関が提供する未知サンプルを分析することによって、分析者の分析技能を測るテストです。分析能力に関して中立的な評価が得られ、国内外の参加試験所と分析能力の比較が出来ます。

〈メーカー/サンプル例〉

- LGC (ドイツ)：環境・食品・飲料・アルコール・微生物・化粧品・製薬・オイル・飼料
- CTS (アメリカ)：鉄鋼・非鉄・樹脂
- NIL (中国)：ポリマー (化学試験・物性試験) 鉄鋼原料
- PTP (フランス)：非鉄関連・航空宇宙関連試験
- iis (オランダ)：ポリマー (化学試験)・繊維・化粧品
- NSI (アメリカ)：飲料水・環境・食品・微生物・製薬
- TESTVERITAS (フランス)：食品・食肉・野菜



YouTubeチャンネル [西進商事公式]

弊社取り扱い製品の情報を公開中です。(順次アップロード予定)



標準物質専門商社

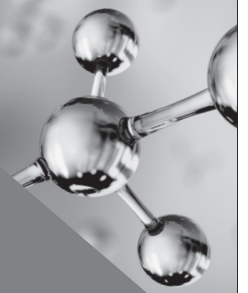
西進商事株式会社

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

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

X線回折が拓く高分子材料の構造解析

— 構造・結晶化度・配向・応力を“見える化” —

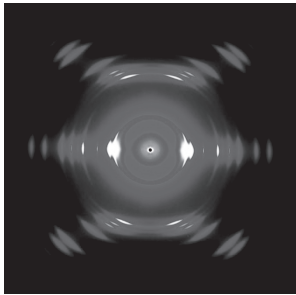


構造評価(結晶構造 / 長周期構造)・結晶化度・配向
 高分子材料における結晶相・非晶相の回折強度分布解析

広角X線回折装置
DicifferX
 WAXS Edition

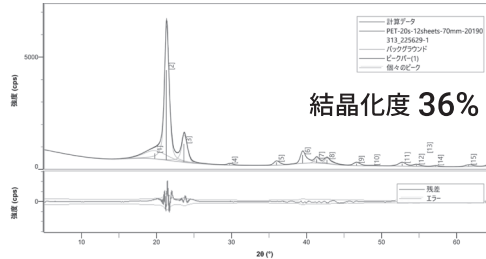


■ 2D image : PET film



露光時間10秒

■ Converted 1D profile and fitting profile



結晶化度 36%

結晶配向を一目で把握
 Full2D 測定 (方位角 360°)

結晶化度を短時間で定量
 専用解析フローに対応

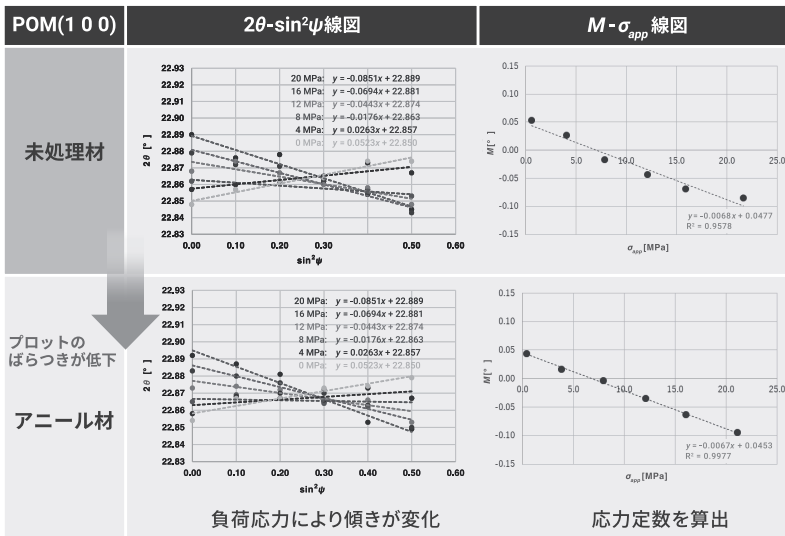
微細領域の構造差を可視化
 微小 X 線ビームによるマッピング測定

評価スループットを向上
 複数サンプルの反射測定に対応

樹脂応力・ひずみ評価

エンジニアリングプラスチックにおける樹脂応力の評価

全自動多目的 X 線回折装置
SmartLab



樹脂応力を高再現性で定量評価
 引張負荷試験を併用し応力定数を測定

外力に対する応力応答を数値化
 樹脂においても応力値の定量評価に必要な
 応力定数を取得可能

アニール処理で、プロットのばらつき
 が低減
 →結晶状態の不均一さを評価可能

評価サンプル: ポリアセタール (POM)



ポリマー分析用試料キット

ポリマーサンプルキット205

<1セット 100本入・10-20g/1本>

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

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

100種類の試料の一部試料については入れ替えも可能です。

詳しくはお問い合わせ下さい。



Cap No.	Cat No.	Polymer	Cap No.	Cat No.	Polymer
1	053	Acrylonitrile/butadiene copolymer - 22% acrylonitrile	51	107	Polyethylene, chlorosulfonated
2	054	Acrylonitrile/butadiene copolymer - 22% acrylonitrile	52	042	Polyethylene, low density
3	530	Acrylonitrile/butadiene copolymer - 51% acrylonitrile	53	405	Polyethylene, oxidized
4	209	Butyl methacrylate/isobutyl methacrylate copolymer	54	491	Poly(ethylene glycol)
5	660	Cellulose	55	136A	Poly(ethylene oxide) - Approx Mw 100,000
6	083	Cellulose acetate	56	136E	Poly(ethylene oxide) - Approx Mw 400,000
7	077	Cellulose acetate butyrate	57	113	Poly(ethyl methacrylate)
8	321	Cellulose propionate	58	414	Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) - Approx Mw 300,000
9	1078	Cellulose triacetate	59	815	Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) - Approx Mw 1,000,000
10	459	Ethyl cellulose - Viscosity 4cp (5% solution @ 25°C)	60	112	Poly(isobutyl methacrylate)
11	464	Ethyl cellulose - Viscosity 22cp (5% solution @ 25°C)	61	106	Polyisoprene, chlorinated
12	460	Ethyl cellulose - Viscosity 300cp (5% solution @ 25°C)	62	037B	Poly(methyl methacrylate) - Approx Mw 75,000
13	534	Ethylene/acrylic acid copolymer - 15% acrylic acid	63	037D	Poly(methyl methacrylate) - Approx Mw 540,000
14	455	Ethylene/ethyl acrylate copolymer - 18% ethyl acrylate	64	382	Poly(4-methyl-1-pentene)
15	939	Ethylene/methacrylic acid copolymer - 12% methacrylic acid	65	391	Poly(p-phenylene ether-sulphone)
16	243	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 14% vinyl acetate	66	090	Poly(phenylene sulfide)
17	244	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 18% vinyl acetate	67	130	Polypropylene, isotactic
18	316	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 28% vinyl acetate	68	1024	Polystyrene, Mw 1,200
19	246	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 33% vinyl acetate	69	039A	Polystyrene - Approx Mw 260,000
20	326	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 40% vinyl acetate	70	574	Polystyrene sulfonate, sodium salt
21	784	Ethylene/vinyl acetate copolymer - 45% vinyl acetate	71	046	Polysulfone
22	959	Ethylene/vinyl alcohol copolymer - 38% ethylene	72	203	Poly(tetrafluorobutylene)
23	143	Hydroxyethyl cellulose	73	166	Poly(2,4,6-tribromostyrene)
24	401	Hydroxypropyl cellulose	74	347	Poly(vinyl acetate) - Approx Mw 150,000
25	423	Hydroxypropyl methyl cellulose - 10% hydroxypropyl, 30% methoxyl	75	1040	Poly(vinyl acetate) - Approx Mw 500,000
26	144	Methyl cellulose	76	336	Poly(vinyl alcohol), 88% hydrolyzed
27	374	Methyl vinyl ether/maleic acid copolymer - 50/50 copolymer	77	352	Poly(vinyl alcohol), 98% hydrolyzed
28	317	Methyl vinyl ether/maleic anhydride - 50/50 copolymer	78	361	Poly(vinyl alcohol), 99% hydrolyzed
29	034	Nylon 6 Poly(caprolactam)	79	043	Poly(vinyl butyral)
30	033	Nylon 6/6 Poly(hexamethylene adipamide)	80	038	Poly(vinyl chloride)
31	313	Nylon 6/12 Poly(hexamethylene dodecanediamide)	81	353	Poly(vinyl chloride), carboxylated - 1.8% carboxyl
32	006	Nylon 11 Poly(undecanoamide)	82	102	Poly(vinylidene fluoride)
33	044	Nylon 12 [Poly(lauryllactam)]	83	840	Poly(4-vinylpyridine), linear
34	045A	Phenoxy resin	84	416	Poly(4-vinylpyridine-co-styrene)
35	009	Polyacetal	85	132	Polyvinylpyrrolidone - Approx Mw 360,000
36	001	Polyacrylamide	86	494	Styrene/acrylonitrile copolymer - 25% acrylonitrile
37	1036	Polyacrylamide, carboxyl modified, high carboxyl content	87	495	Styrene/acrylonitrile copolymer - 32% acrylonitrile
38	026	Poly(acrylic acid) - Approx Mw 450,000	88	393	Styrene/allyl alcohol copolymer
39	599	Poly(acrylic acid) - Approx Mw 4,000,000	89	057	Styrene/butadiene copolymer, ABA block
40	134	Polyacrylonitrile	90	595	Styrene/butyl methacrylate copolymer
41	385	Polyamide resin	91	453	Styrene/ethylene-butylene copolymer, ABA block
42	128	Poly(1-butene), isotactic	92	1067	Styrene/isoprene copolymer, ABA block
43	962	Poly(butylene terephthalate)	93	457	Styrene/maleic anhydride copolymer
44	111	Poly(n-butyl methacrylate)	94	049	Styrene/maleic anhydride copolymer - 50/50 copolymer
45	1029	Polycaprolactone	95	068	Vinyl chloride/vinyl acetate copolymer - 10% vinyl acetate
46	954	Polycarbonate - Approx Mw 36,000	96	063	Vinyl chloride/vinyl acetate copolymer - 12% vinyl acetate
47	035	Polycarbonate - Approx Mw 45,000	97	911	Vinyl chloride/vinyl acetate/hydroxypropyl acrylate - 80% vinyl chloride, 5% vinyl acetate
48	126	Poly(2,6-dimethyl-p-phenylene oxide)	98	058	Vinylidene chloride/vinyl chloride copolymer - 5% vinylidene chloride
49	324	Poly(4,4'-dipropoxy-2,2'-diphenyl propane fumarate)	99	369	n-Vinylpyrrolidone/vinyl acetate copolymer - 60/40 copolymer
50	558	Polyethylene	100	021	Zein, purified

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

GSC 株式会社 **ゼネラルサイエンスコーポレーション**

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

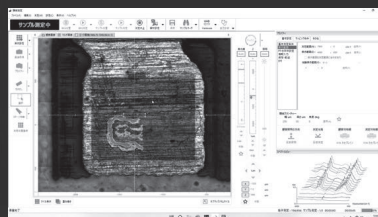
ホームページアドレス <http://www.shibayama.co.jp> e-mail アドレス gsc@shibayama.co.jp

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

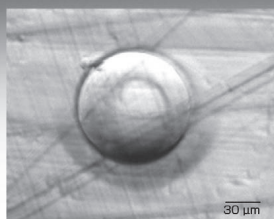
16 ch リニアアレイ検出器の各素子にデータ処理回路を備え、測定データを高速に並列処理します。目的成分の分布を測定しながら同時に把握できます。



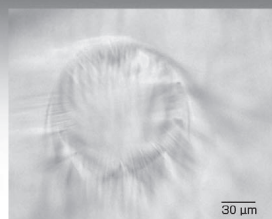
電子基板の電極上の異物測定

■ シリコンオイル中のPMMA粒子のATRイメージング

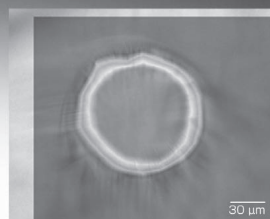
ステージを動かさずに光軸走査する日本分光独自の“スマートマッピング”により、プリズム密着時に試料が観察画像の中央以外に動いても、移動後の部位を測定エリアに指定できます。1回のプリズム接触でケミカルイメージも取得可能です。



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⁻¹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 内線
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QR



分析化学教育用ビデオ(DVD版)

●好評をいただいたビデオシリーズをDVDとしました



好評
発売中

全4巻

監修：公益社団法人日本分析化学会

定価 (各巻)
 [一般] 30,000円 (税別, 送料込)
 [(公社)日本分析化学会会員]
 25,000円 (税別, 送料込)

現在お持ちのビデオを返送いただいた方は
 10,000円 (税別, 送料込)

1巻
17分

容量分析法

容量分析の原理	中和滴定の操作方法
標準溶液の作り方	酸化還元滴定の操作方法
器具の操作方法	滴定の応用



[1巻] 容量分析の原理

2巻
22分

吸光光度分析法

溶液の色は、溶けているものと どんな関係?	精度の高い吸光光度定量を 行うための留意点は?
吸収の大きさと、溶液濃度 及びセルの長さとの関係は?	吸光光度法の特色は? どのような所で使われているのか?
吸光度の測定方法と 装置の操作方法は?	



[2巻] 吸光度の測定方法と
装置の操作方法は?

3巻
18分

ガスクロマトグラフ分析法

クロマトグラフィーとは	ガスクロマトグラムの構造
クロマトグラフィーの原理	分析操作
クロマトグラムの読み方	定性分析と定量分析



[3巻] クロマトグラフィーとは



[6巻] プラズマへの試料導入

6巻
27分

ICP 発光分光分析法

発光分光分析の原理	プラズマへの試料導入
発光分光分析装置	スペクトル干渉
ICPについて	分析操作

お問い合わせ・ご注文は

(公社)日本分析化学会 教育用ビデオ係
 〒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
 Mail dvds@jsac.or.jp

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 μm) *
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

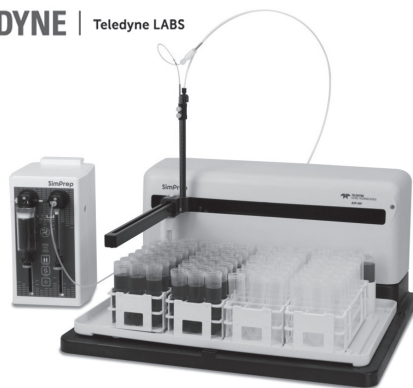
*オプション



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

粉末X線回折データベースPDF-4 Axiomとサポートソフトウェアセット

PDF-4 Axiom 3年間または6年間固定の粉末X線データベースライセンス

- ICDD PDF-4データベースから常温を中心に114,000+件をエントリー*
- 84,200+件に原子座標*
- 84,800+件にI/Ic値*
- 基本的な鉱物のエントリー
- Sieve+ (単一物質としてのPhase ID用) のみ付随
(DDViewer+は付きません。そこでMatch!の検索機能を使います。)

*下記のPDF Statsを参照して下さい

PDF Statistics (2026) Data Entry Source	PDF-5+2026 & PDF-5+Server Edition 2026	PDF-4/ Axiom 2026	PDF-4/ Minerals 2026	PDF-2 2026
00-ICDD	128,710	39,886	13,546	128,710
01-FIZ	104,327	14,517	15,772	229,628
02-CCDC	542,265	0	0	0
03-NIST	2,825	365	232	10,067
04-MPDS	291,868	59,285	25,315	0
05-ICDD Crystal Data	56,218	0	75	869
Total No. of Entries	1,126,213	114,053	54,940	369,274
Subfile Distribution:				
Inorganics	472,395	101,152	54,292	313,504
Organics	657,753	13,050	789	57,261
New Entries		4,075	1,715	9,867
Rietveld-No. with atomic coordinates	651,210	84,264	45,633	0
Reference Intensity Ratio (RIR)- I/Ic	1,022,606	84,870	43,380	265,704
Experimental Digital Patterns	22,238	10,532	329	0

Match! + Diamond

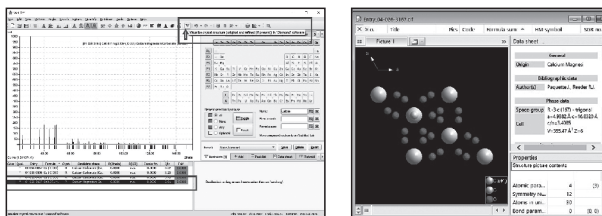
- 回折生データやテキストファイルからデータをインポートしてプロファイルフィッティング、3強線、ピーク位置、元素、名称他のパラメータ検索
- テキスト、Bruker、PANalytical他の生データ、ピークデータのインポート
- Match!の検索結果からPDF番号でDiamondを起動して結晶構造を可視化。
印刷、保存、CIFとしてエクスポートが可能

※ Axiomには約30%のエントリーに原子座標が入っています。

※ CIFフォーマットの多様性のため、ソフトウェア側で結晶構造を表示できないこともあります。

■セット内容 (ライセンス期間 商品形態)

- PDF-4 Axiom (3年間または6年間固定のライセンス USB key)
- + Match! (永久ライセンス ダウンロード)
- + Diamond (永久ライセンス ダウンロード)
- + システムサポート



■セット価格

- PDF-4 Axiomが3年間ライセンスのセット価格 一般価格 ¥1,595,000 (教育価格¥1,155,000)
- PDF-4 Axiomが6年間ライセンスのセット価格 一般価格 ¥2,695,000 (教育価格¥1,980,000)

※表示価格は税込です。

PDF-4 Axiomの製造元はICDD (米)。Match!とDiamondの製造元はCristal Impact (独)。

株式会社 **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
TEL:03-5641-1771 FAX:03-5641-1772
E-mail:tech@ddmcorp.com URL:http://www.ddmcorp.com



生成 AI を使わない「至宝の時間」を大切に

木村-須田 廣美

皆さん、お元気ですか。最近、疲れが取れなかったり、仕事のスピードが落ちたと感じたりしていませんか。日頃タフな皆さんも、生成 AI の継続的な利用に疲れを感じている頃かもしれません。本来、生成 AI の目的は、仕事の効率化や定型業務の自動化・高度化にあります。しかし、あまりにも効率よく仕事が進むがゆえに、かえって仕事量が増えたように感じることはないでしょうか。ここで誤解していただきたくないのは、私は生成 AI そのものを否定しているわけではありません。情報検索や文書作成、要約、校閲、プログラミングなどにおいて、生成 AI は研究者にとって非常に有用な補助ツールです。使い次第では、研究の質を高め、時間を生み出してくれる存在でもあります。ただし、思考や判断まで委ねてしまったとき、私たちは「考える時間」を失ってしまうのではないかと感じています。

「今日はここまでにしておこう。」アナログ時代には、仕事の区切りを自然に見つけることができました。自分の思考のスピードと作業のスピードに大きな差がなかった頃、私たちはもっと充実感を得ていたのではないのでしょうか。頭の回転が速い人ほど、デジタル環境では少しせっかちになったようにも思います。私は、あえてアナログで過ごす時間を「至宝の時間」と捉えています。デジタルデトックスで得られるゆったりとした時間を、皆さんは何に使いますか。紙媒体の読書やジャーナリング、散歩もその一つかもしれません。

分析化学に携わる私たちは、生成 AI をどのように利用できるのでしょうか。機器分析における測定条件の検討や、予想されるデータの把握など、活用の場面は確実に広がっています。検出器の高感度化とデータ処理用コンピュータの高速化により、私たちは短時間で大量のデータを得られるようになりました。しかし、データが多すぎると、かえって違いに気づきにくくなることもあります。学生時代、私はペンレコーダーの動きを目で追っていました。一つのデータが得られるまでに多くの時間をかけ、少ないデータを並べて考える。その時間は私にとって「至宝の時間」であり、研究の楽しさを実感できる瞬間でした。最近、そのような時間が減ったことに少し寂しさを覚えます。

化学分析を仕事とする者の最後の砦は、試料調製における試行錯誤です。ここで手を抜けば、正しい結果は得られず、データはばらつきます。面倒で避けたい作業かもしれませんが、これこそが人の感覚と経験が生きる、分析化学者にとっての「至宝の時間」なのではないでしょうか。この時間を大切に味わい、小さな発見を積み重ねていくことが、やがて大きな発見につながります。生成 AI に少し疲れたとき、ふと立ち止まり、手を動かして考える。その先に、新たな発見が生まれるかもしれません。

〔KIMURA-SUDA Hiromi, 公立千歳科学技術大学, 北海道支部副支部長〕

X線の網羅分析への使用事例

阿部 善也

1 はじめに

分析化学における「網羅分析 (non-target screening)」とは、事前に測定対象となる物質を特定せずに、試料中の検出可能なすべての成分を網羅的に分析する手法を意味する。生体内の代謝物の解析や、環境中の汚染物質の検出など、多種多様な化合物が同時に分析対象になりうる研究の中でしばしば用いられる用語であり、分析手法としてGC/MSやLC/MSなどの質量分析法、あるいはゲノム解析のためのシーケンサーなどと関連づけられて説明されることが多い。一方、本稿で取り上げる「X線分析 (X-ray analysis)」とは、X線を利用した分析・計測技術全般を指す。網羅分析とX線分析が同じ文脈で語られることはあまりなく、一見すると関係性が薄いように思われるかもしれない。しかしながら、一言にX線分析と言っても、実際にはX線と物質の相互作用を利用したきわめて多彩な分析手法が存在し、得られる情報はきわめて幅広い。さらに、X線分析の多くは非破壊的に実施でき、様々な手法を複合的に利用すれば、X線を用いて物質中に含まれる成分の網羅的な分析も実現しうる。本稿では、網羅分析の観点から主要なX線分析手法を概観すると共に、実際の使用事例を紹介する。

2 X線を利用した分析手法

2.1 X線とは^{1)~3)}

そもそもX線とは、我々が視認できる可視光などと同じく、光（電磁波）の一種である。電磁波にはその波長に応じた名前がつけられており、一般的にX線の波長は 10^{-11} ~ 10^{-8} m程度とされる。これは可視光や紫外線より短く、ガンマ線より長い。この波長の長さは、物質を構成する原子や分子の大きさ、あるいはそれらの結合距離と同程度である。1895年、ドイツの物理学者であるWilhelm Röntgen博士は、物質を透過する目に見えない光を発見し、「未知の光」を意味するX線 (X-ray) という名を与えた。この物理学上の新発見は、科学・医学・工学など多様な分野の発展に大きく寄与し、

Röntgen博士の偉大な功績に対して1901年に第1回となるノーベル物理学賞が贈られた。その後も、後述するX線分析手法にかかわる様々な発見に対して相次いでノーベル賞が授与された。このようにX線の利用は長い歴史を有するが、21世紀の現在においても研究・産業の幅広い分野で不可欠な技術となっている。

ところで、X線と聞いて多くの人がイメージするのは「物質を透過する」という性質であろう。医療用のレントゲン写真撮影や、コンピュータ断層撮影 (computed tomography, CT) スキャンなど、X線の透過性を利用した技術は我々の身の回りに普及している。しかし、実際にはX線を物質に照射することで、物質中の原子と様々な相互作用を生じている。X線照射によって生じる物質との主な相互作用をまとめたものが図1である。まず基本的なことは、X線の一部は物質により吸収され、残りは透過するということである。上述したX線撮影技術は、透過した成分を検出する。

電磁波の波長とエネルギーは反比例の関係にあるため、可視光や紫外線に比べて波長が短いX線は、高いエネルギーを持つ。そのため、X線を原子に照射すると軌道電子と原子核の間に生じている静電引力を断ち切り、内殻準位にいる電子が外側にある高エネルギー準位の空軌道へと遷移したり、原子の外に弾き飛ばされたりすることがある。X線により内殻電子を励起することを内殻励起という。一方、X線に限らず、電磁波の照射によって原子から電子が飛び出す現象を光電効果と呼び、弾き飛ばされた電子を光電子という。内殻励起により、原子は内殻準位に空位を持つ不安定な状態となる。安定化には二つの経路があり、蛍光X線を放出するか、オージェ電子と呼ばれる別の電子を放出する。これらの発生原理については後述する。内殻励起を生じなかったX線は、原子の中の電子によって散乱される。このときの散乱にも2種類があり、波長およびエネルギーが変化しない場合をトムソン散乱、電子に運動エネルギーを与えて自身はエネルギーを一部失って波長が長くなる場合をコンプトン散乱と呼ぶ。

X線分析は、図1に示した様々な相互作用を利用した分析手法であり、物質の諸情報を知ることができる。以

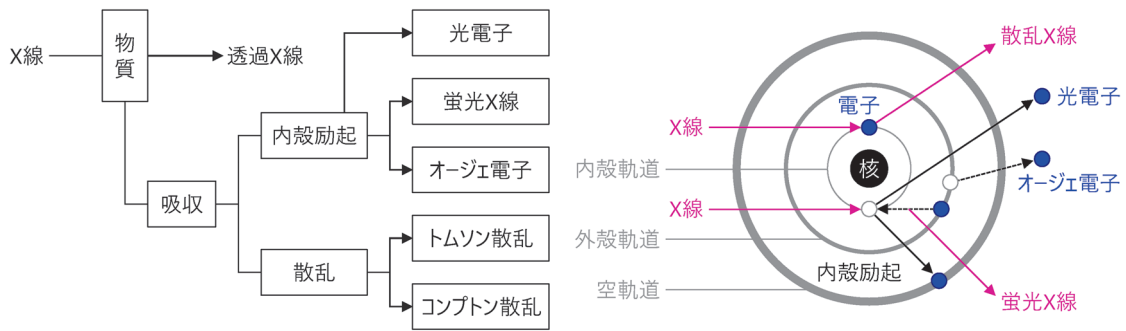


図1 X線と物質との主な相互作用の経路(左)および模式図(右)¹⁾²⁾

下では、網羅分析の観点から3種類のX線分析手法を取り上げ、原理と特徴を簡単に紹介する。

2・2 蛍光X線分析(XRF)¹⁾²⁾

X線照射により内殻電子が外側の空軌道へと遷移されるか、光電子として原子外へ放出されると、原子は内殻準位に空位を持つ不安定な状態となる。このとき、原子はより安定な状態に戻ろうとして、より外側の電子軌道から空位のある内殻準位へと電子が遷移する。この遷移に伴い、遷移前後の電子軌道のエネルギー差を外部に放出することになるが、差分に相当するエネルギーを持つ光(電磁波)として放出する場合があります。この光を蛍光X線と呼ぶ。なお、ここで余剰のエネルギーを電磁波の形で放出せず、同じ軌道にある別の電子に与える場合があります。エネルギーを受け取った電子は励起され、原子から放出される。この放出された電子のことをオージェ電子という。

内殻準位と外殻準位のエネルギー差は元素の電子構造に応じて決まった値を持つため、蛍光X線のエネルギーの値は元素によって固有である。さらに、元素の存在量に応じて蛍光X線の発生量も増える。したがって、物

質にX線を照射し、放出された蛍光X線を検出すれば、そのエネルギーの値から含有元素の種類を、強度から各元素の含有量を計算することができる。このようにして物質に含まれる元素の組成、すなわち化学組成を分析する手法を蛍光X線分析(X-ray fluorescence analysis, XRF)と呼ぶ。蛍光X線分析は原理的に非破壊の分析手法であり、前処理を必要とせず、物質の状態(固体、液体、気体)を問わず適用できる。蛍光X線分析で検出可能な元素の種類は装置によって異なるものの、原理的には ${}_{3}\text{Li}$ よりも原子番号の大きいすべての元素が検出対象になりうる。ただし、原子番号が小さくなるほど蛍光X線のエネルギーは低くなり、空気などによる吸収を受けやすくなるため、検出が困難となる。したがって、実際にこの分析手法で対象とされることが多いのは ${}_{11}\text{Na}$ または ${}_{12}\text{Mg}$ よりも原子番号の大きい元素であり、これより軽い元素の分析には低エネルギーX線の検出に適した装置が必要となる。

X線の照射により、物質からは膨大な量の蛍光X線が放出され、さらにそれらのエネルギー(波長)の値は単一ではないため、分光してから検出する必要がある。蛍光X線分析装置の分光方式にはいくつかの種類があ

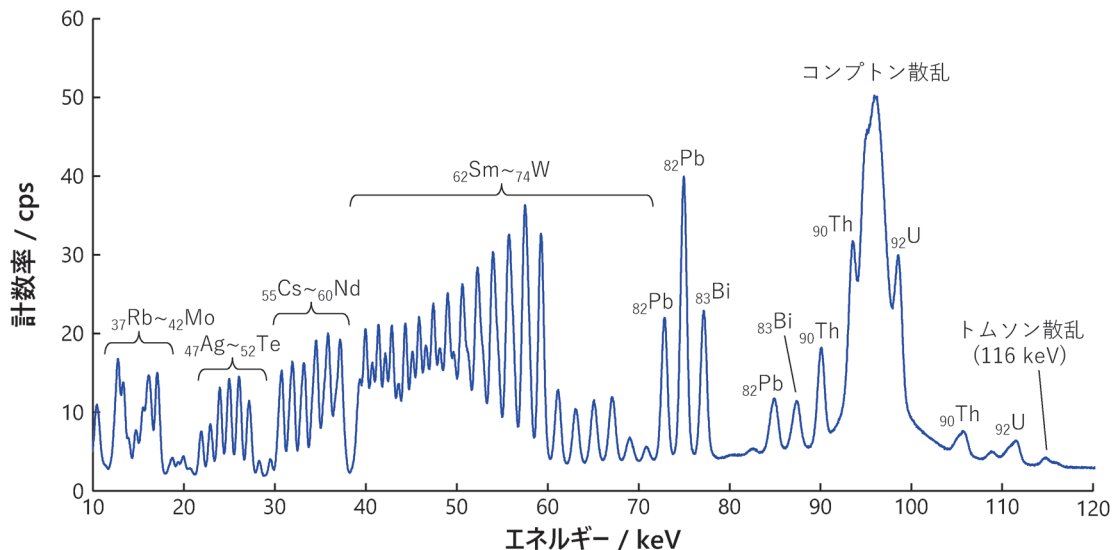


図2 NIST SRM610の蛍光X線スペクトル(SPring-8 BL08Wにて測定)

るが、最も普及しているのはエネルギー分散型 (energy dispersive X-ray fluorescence analysis, ED-XRF) と呼ばれる方式である。この分光方式の装置では、半導体検出器などの優れたエネルギー分解能を持つ X 線検出器を利用することで、物質から発生した蛍光 X 線をエネルギーごとに計数し、スペクトルの形で描画する。エネルギー分散型の蛍光 X 線分析の最大の特長は、多元素同時分析が可能であるという点である。その一例として、大型放射光施設 SPring-8 (兵庫県佐用町) で得られた NIST SRM 610 の蛍光 X 線スペクトルを図 2 に示す。NIST SRM 610 は米国 NIST 製の認証標準物質であり、ソーダ石灰ガラスをマトリクスとして、様々な重元素が約 500 ppm ずつ添加されている。蛍光 X 線分析では、照射する X 線のエネルギーに応じて、得意とするエネルギー領域が変化する。図 2 に示した例では、116 keV というきわめて高いエネルギーの単色 X 線を励起源とすることで、希土類元素を含む 30 種類以上の元素の蛍光 X 線を同時かつ高感度に検出している。まさしく、物質中に含まれる元素の網羅分析に適した分析手法と言えよう。

2.3 X 線回折分析 (XRD)³⁾

X 線は先述したように電磁波の一種である。電磁波は特定の振動数と波長を持ち、光の速度で直進し、進行方向に垂直な平面に広がりを持つ交番電場を伴う。このような X 線が電子と衝突すると、電子は X 線の交番電場によって X 線と同じ振動数で強制的に振動させられる。電子が振動すると、その振動と同じ周期を持った電磁波が電子から放射され、電子を中心に球面状に広がっていく。これをトムソン散乱と呼ぶ。トムソン散乱によって発生する X 線は、照射 X 線と同じ波長の X 線であつ互いに一定の位相の関係があり、可干渉性の散乱である。

実際の物質は無数の原子から構成されているため、X 線を物質に照射すると、各原子を構成する電子から同時多発的にトムソン散乱が発生し、互いに干渉し合う。ここで、ある特定の条件下で散乱波同士の位相が揃う場合があり、干渉によって強め合う回折と呼ばれる現象が生じる。X 線の回折現象は、散乱を生じる電子が周期的に配列している場合に生じるが、これは物質を構成する原子が 3 次元的な周期構造を持つことを意味し、結晶性物質がこの条件に当てはまる。結晶性物質に X 線を照射すると、ある特定の方向で散乱 X 線どうしの位相が揃い、強め合った回折 X 線が検出される。回折 X 線が検出される方向 (角度) は、照射 X 線の波長と回折を生じた結晶格子面の間隔によって決定される。この関係は Henry Bragg と Lawrence Bragg の父子によって定式化され、ブラッグの条件と呼ばれる。つまり、照射する X 線の波長が既知であれば、回折 X 線が検出された角度から、結晶性物質を構成する電子の配列に関する情報

が得られる。一つの回折 X 線信号は、ある特定の結晶格子面に関する情報しか持たないが、散乱 X 線の強度を角度ごとに計測し、複数の回折 X 線を検出・解析すれば、結晶構造全体の情報を明らかにできる。この手法を X 線回折分析 (X-ray diffractometry, XRD) と呼ぶ。X 線回折分析の分析対象となる物質は、枚举にいとまがない。無機物・有機物を問わず活用されているだけでなく、タンパク質などの生体高分子の構造解析にも利用され、ほぼすべての結晶性物質が対象になると言ってもよい。

X 線回折分析には、試料の状態や測定目的に応じた特徴的な手法が多数あり、その利用方法も多岐にわたる。本稿では網羅分析という観点から、粉末法 (粉末 X 線回折分析) と呼ばれる手法について紹介する。この手法では、多数の微細な結晶がランダムな方向で集合したものを対象とする。ただし、試料が文字通りの粉末になっている必要はなく、多結晶体であればバルク試料のまま非破壊的に分析することも可能である。得られた分析データ (粉末 X 線回折パターン) を解析することで、結晶構造に基づく未知試料の相同定のほか、結晶化度や配向性の評価、さらには複数の結晶相を含む混合物に対しては (あるいは非晶質相も含めた) 組成比の定量も可能である。解析に際しては、Powder Diffraction FileTM (PDF[®])⁴⁾ に代表されるデータベースを参照することで、迅速かつ高い信頼性で相同定が可能となる。あるいは、そうしたデータベースを参照しなくても、データから未知試料の結晶構造の種類を予想することもできる。

多相試料における粉末 X 線回折分析の例として、青色の宝石として知られるラピス・ラズリの分析データを図 3 に示した。ラピス・ラズリは単相の鉱物ではなく、藍方石 (Haüyne : $\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12})(\text{SO}_4)$)、青金石 (lazurite : $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)(\text{S}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$)、ノゼアン (nosean : $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$)、方ソーダ石 (sodalite : $\text{Na}_4(\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12})\text{Cl}$) などの方ソーダ石グループの鉱物を主成分とし、様々な鉱物が混合した半貴石である。天然のラピス・ラズリを粉末化し、回折パターンを測定した結果、10 種類以上の鉱物が混合していることが確かめられた。さらに、これらの鉱物の組成比を定量した結果、藍方石や青金石を含む方ソーダ石グループの鉱物と透輝石 (diopside : $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) が全体の約 80 % を占め、副成分として霞石 (nepheline : $\text{Na}_3\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$)、曹長石 (albite : $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)、金雲母 (phlogopite : $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)、微量成分として方解石 (calcite : CaCO_3)、黄鉄鉱 (pyrite : FeS_2)、石英 (quartz : SiO_2) を含むことが明らかとなった。粉末 X 線回折分析は、検出対象となる物質や化合物を事前に定めることなく、未知試料に含まれる結晶相の同定・定量が可能であり、結晶性物質に関する網羅分析の代表的な手法と言えよう。

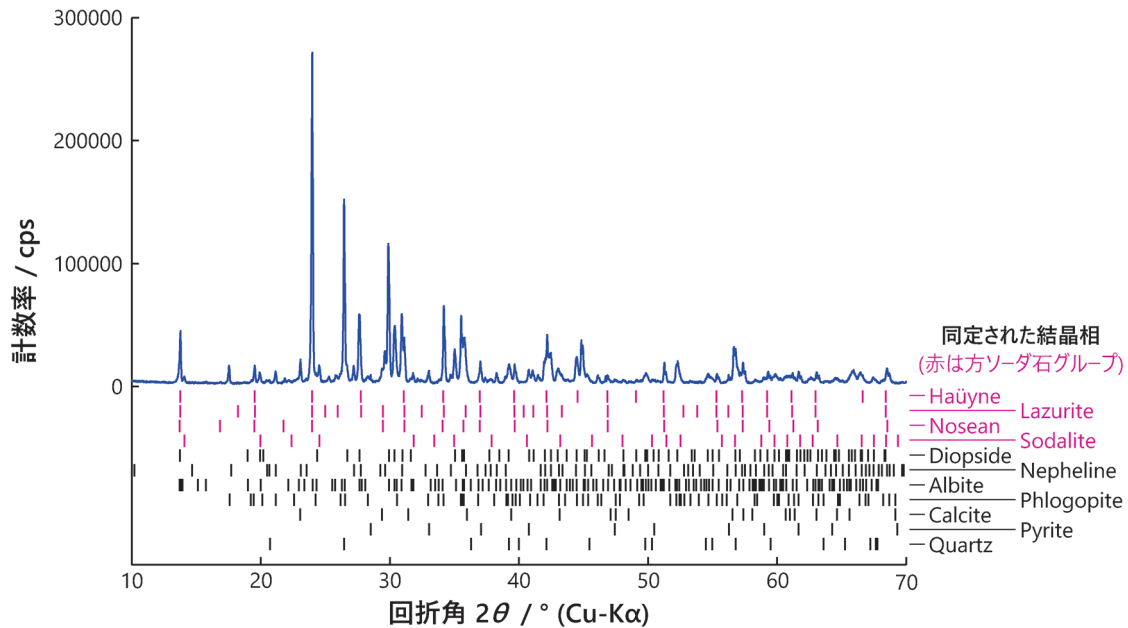


図3 ラピス・ラズリの粉末 X線回折パターン (データ提供：ブルカー・ジャパン株式会社, D8 ADVANCE で測定)

2.4 X線吸収微細構造 (XAFS) 解析²⁾⁵⁾

X線を物質に照射したとき、原子の内殻励起は常に生じるわけではなく、X線がその内殻電子を弾き出せるだけのエネルギーを持つ場合に限られる。この値は原子を構成する電子と原子核の結合エネルギーに相当し、これよりも高いエネルギーを持つX線であれば内殻励起が生じるようになる。この値は吸収端とも呼ばれ、元素および電子殻の種類に応じて、ほぼ固有の値を持つ。

入射X線のエネルギーを段階的に変化させながら物質に照射し、入射および透過後のX線強度から吸光度を計算して、エネルギーと吸光度の関係を描画すると、X線吸収スペクトルが得られる。例として、金属Cu箔を試料として得られたCu-K吸収端のスペクトルを図4に示す。あるエネルギーから急激に吸光度が増加しているが、この値が吸収端である。元素の酸化数に応じて電子と原子核の間に働く静電引力が増減するため、吸収端のエネルギーはわずかに変化する。したがって、吸収端近傍で吸収スペクトルを詳細に測定し、その微細構造を解析することで、吸収原子の電子状態に関する情報が得られる。さらに、吸収端よりも高エネルギー側に微細な吸光度の変動が見られ、この振動構造を解析することで吸収原子のまわりの局所構造(隣接原子までの距離や数)についての知見が得られる。両者の構造はそれぞれX線吸収端近傍構造(X-ray absorption near edge structure, XANES)、広域X線吸収微細構造(extended X-ray absorption fine structure, EXAFS)と名付けられ、これらを総称してX線吸収微細構造(X-ray absorption fine structure, XAFS)という。これらの構造を解析することで、構成元素がどのような化学形態で存在しているのかを推定できる。X線の吸光度を測定する代わりに、蛍光

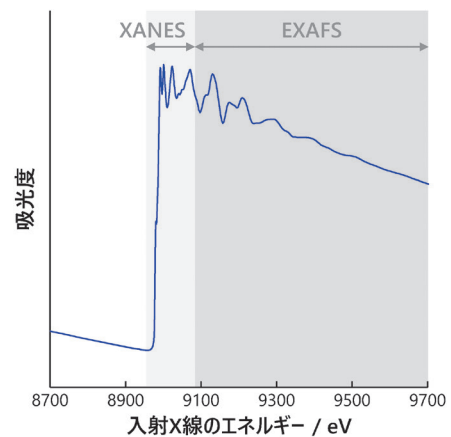


図4 X線吸収微細構造スペクトルの例(金属Cu箔, Cu-K吸収端)

X線の収量を測定することでも同様のスペクトルが得られる。吸光度を測定する方法を吸収法、蛍光X線を測定する方法を蛍光法と呼ぶ。

この手法は、蛍光X線分析と同様に、固体、液体、気体のすべてに対応できる。また、結晶性物質への適用が主となるX線回折分析とは異なり、長距離秩序を持たない非晶質物質の分析にも有効である。一般に、X線吸収微細構造スペクトルの測定には単色X線を幅広いエネルギー領域で走査する必要があるため、広いエネルギー領域をカバーできる放射光施設が利用される。放射光を利用する様々なX線分析手法のうち、本手法は最も基本的な分光法の一つであり、材料解析に関する汎用手法として認識されている。一方、本手法はあくまで対象物質に含まれる特定の元素による吸収を調べるものであり、網羅分析という観点からは適していない。網羅分

析を指向する場合の本手法の強みは、前述の蛍光 X 線分析や X 線回折分析と組み合わせて複合的に活用できる点にある。実際にこれらの手法を組み合わせて利用した研究事例について後述する。

3 研究事例の紹介

X 線分析が高い柔軟性を有し、網羅分析としても活用可能であることをここまで述べてきた。以下ではその実例として、筆者が携わったいくつかの X 線分析に関する研究を網羅分析の観点から紹介する。

3.1 原発事故により大気中に飛散した放射性エアロゾルの性状解明⁶⁾

2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故により、膨大な量の放射性物質が環境中へと放出された。その一形態として、事故の初期段階に生成・放出された、比較的高濃度の放射性 Cs を含む微小な粒子 (Cs-bearing microparticle, CsMP) が知られている。CsMP の最初の発見は、事故直後に気象研究所 (茨城県つくば市) で捕集された大気粉塵であった⁶⁾⁷⁾。その後、帰還困難区域の土壌⁸⁾や、事故直後に東日本の様々な地点で捕集された大気粉塵サンプル⁹⁾¹⁰⁾から同様の放射性微粒子が発見され、事故による環境および生体への影響を評価するうえで重要な物質であると認識されるようになった。以下では、その発見の最初期に行われ、CsMP の詳細な物理・化学的性状を初めて解明した X 線分析の成果⁶⁾を紹介する。

事故直後の 2011 年 3 月 14 日夜から翌朝にかけて気象研究所で採取された大気粉塵フィルター上に、強い放射性を示す粒子が多数捕集されていた。フィルター上から放射性粒子を単離して電子顕微鏡で形態を観察した結果、直径約 2 μm の球形粒子であることが判明した。さらに、1 粒子単位でガンマ線スペクトル測定を行った結果、¹³⁷Cs として 1 Bq 程度の放射能を有することが明らかとなった⁷⁾。この粒子 (CsMP) が Cs 以外にどのような元素を含むのか、どのような状態で含まれるのかなど、詳細な物理・化学的性状を解明するために、大型放射光施設 SPring-8 において、縦横 1 μm 以下に集光したマイクロビーム X 線を用いた非破壊かつ複合的な分析が実施された。

蛍光 X 線分析の結果、CsMP は Cs 以外にも様々な金属元素を含有しており、その中には核燃料由来と考えられる U も含まれることが明らかとなった。蛍光 X 線分析で CsMP から検出されたすべての元素は、核燃料およびその核分裂生成物や、燃料被覆管の合金、圧力容器の母材や防護材など、事故当時炉内に存在していた物質に起源づけることができた。この結果は、事故当時に固形物が外部に直接的に飛び出す程度に炉が損傷していたことと、燃料だけでなく容器や建造物も溶けて混ざり合っ

ていたことを示唆している。さらに、1 粒子レベルで実施した粉末 X 線回折分析の結果、CsMP は結晶構造を持たない非晶質であることがわかった。そこで、粒子に含まれていた一部の金属元素 (Fe, Zn, Mo, Sn) について X 線吸収微細構造解析から化学状態を推定した結果、ガラス中に高酸化数のイオンの形で溶解した状態とよく対応することが判明した。以上より、CsMP は金属や鉱物ではなくガラスであり、高温の熔融物が急冷された過程で生成したものと推定された。ガラスは水に対して難溶であるため、CsMP は環境中で長期的な影響力を持つ可能性が示された。

このように、直径わずか 2 μm の微粒子の分析を通じて、重大な原発事故の実態解明へとつながる有益な知見が数多く得られた。これらの放射光 X 線分析は、CsMP の性状に関する事前の情報がほとんどない状態で行われた。特に核燃料由来と考えられる U の存在は、分析の実施前には予想だにせず、多元素同時分析である蛍光 X 線分析を実施したことで発見されたと言っても過言ではない。そして、複数の X 線分析手法を複合的に組み合わせたことで、その正体が初めて明らかにされたのである。

3.2 小惑星「リュウグウ」サンプルの初期分析¹¹⁾

物質に含まれるほぼすべての元素を検出可能な蛍光 X 線分析は、元素の網羅分析においてきわめて有効な手法の一つである。その実例として、ここでは JAXA の小惑星探査機「はやぶさ 2」が地球近傍小惑星「リュウグウ」から持ち帰った貴重なサンプルに対して行われた初期分析¹¹⁾を紹介する。

はやぶさ 2 は 2014 年 12 月に地球から約 3 億 km 離れた小惑星リュウグウに向けて打ち上げられ、2019 年には地表および内部からのサンプル採取に成功した。採取された約 5.4 g のサンプルは、2020 年末に地球へ帰還し、無事に回収された¹²⁾。人類が初めて手にしたこの貴重なサンプルに対し、国内外の研究機関が協力してその物理的・化学的な分析を網羅的に実施する「初期分析」が行われた。約 1 年間にわたる化学分野の初期分析の中で、最初のステップとして計画されたのが蛍光 X 線分析である。この蛍光 X 線分析は「リュウグウ」サンプルの全岩化学組成を決定する目的で行われ、後続する分析の方針を見定めるうえでもきわめて重要な意味を持っていた。さらに、分析後のサンプルは別の分析へとそのまま引き継がれるため、破壊や汚染が一切許されないという厳しい条件が求められた。

含有元素に関する事前情報が一切ない状態で、この貴重なサンプルから少しでも多くの元素情報を得るために、東京理科大学の中井泉名誉教授をリーダーとする蛍光 X 線分析のチームが編成され、筆者もそこに参画させていただく機会に恵まれた。1 か月弱という限られた

時間の中で、株式会社リガクおよび株式会社堀場テクノサービスによる最新鋭の装置を用いた分析と、SPring-8での高度な分析が実施された。特長の異なる複数の蛍光X線分析装置を相補的に利用した結果、主成分からサブppmまでの計37元素から成る詳細な化学組成が報告された。最終的には、初期分析に用いられたサンプルの一部について湿式法の誘導結合プラズマ質量分析法による化学組成分析が実施された。非破壊の蛍光X線分析で得られた化学組成はその結果と良好に対応しただけでなく、酸分解の過程で揮散あるいは難溶性塩の形成を生じるGeやSnなどは湿式法では分析しづらく、初期分析の論文¹¹⁾の中でこれらの元素は蛍光X線分析による定量値のみが報告されている。この貴重なサンプルの分析は、元素の網羅分析における蛍光X線分析の有用性を示す好例である。

4 おわりに

本稿では、「網羅分析」という観点から主要なX線分析手法を取り上げ、その基本原理や特徴を概説し、あわせて筆者の研究事例を紹介した。紙面の都合上ここでは詳述できなかったが、筆者の主要な研究対象の一つは文化財であり、考古遺跡出土の遺物や美術館に所蔵された絵画を対象とした科学的な研究を数多く行ってきた。貴重な文化財の分析調査においては、非破壊かつ非侵襲的な手法を用いることが強く求められる。そのため、本稿で紹介したようなX線分析手法を積極的に導入している^{13)~15)}。実のところ、筆者自身は「網羅分析」という概念を特に意識して研究を進めてきたわけではない。しかし、本稿で触れたような環境試料や地球惑星試料の研究、あるいは文化財に関する研究において、事前に分析対象となる成分を特定できる場合は多くない。さらに、工業製品や材料の検査とは異なり、これらの試料中に含まれる元素や成分はきわめて多様である。一方で、本稿で紹介したCsMPに含まれていたUのように、物質の来歴を検証するうえで決定的な手がかりとなる特徴的な成分が見出される場合もある。こうした研究では、必然的に「網羅分析」の考え方に基づくアプローチが求めら

れる。汎用性と応用性に優れたX線分析は、まさにその要請に応える手法である。本稿が、X線を用いた分析手法の理解を深める一助となれば幸いである。

文 献

- 1) 中井泉編：“蛍光X線分析の実際”，第2版，(2016)，(朝倉書店)。
- 2) 辻幸一，村松康司編著：“分光法シリーズ 第5巻 X線分光法”，(2018)，(講談社)。
- 3) 中井泉，泉富士夫編：“粉末X線解析の実際”，第3版，(2021)，(朝倉書店)。
- 4) S. N. Kabekkodu, A. Dosen, T. N. Blanton : *Powder Diffr.*, **39**, 47 (2024)。
- 5) 太田俊明，横山利彦編著：“内殻分光”，(2007)，(アイピーシー)。
- 6) Y. Abe, Y. Iizawa, Y. Terada, K. Adachi, Y. Igarashi, I. Nakai : *Anal. Chem.*, **86**, 8521 (2014)。
- 7) K. Adachi, M. Kajino, Y. Zaizen, Y. Igarashi : *Sci. Rep.*, **3**, 2554 (2013)。
- 8) 小野貴大，飯澤勇信，阿部善也，中井泉，寺田靖子，佐藤志彦，末木啓介，足立光司，五十嵐康人：分析化学 (*Bunseki Kagaku*)，**66**, 251 (2017)。
- 9) 小野崎晴佳，阿部善也，中井泉，足立光司，五十嵐康人，大浦泰嗣，海老原充，宮坂貴文，中村尚，末木啓介，鶴田治雄，森口祐一：分析化学 (*Bunseki Kagaku*)，**68**, 757 (2019)。
- 10) Y. Abe, S. Onozaki, I. Nakai, K. Adachi, Y. Igarashi, Y. Oura, M. Ebihara, T. Miyasaka, H. Nakamura, K. Sueki, H. Tsuruta, Y. Moriguchi : *Prog. Earth Planet. Sci.*, **8**, 13 (2021)。
- 11) T. Yokoyama *et al.* : *Science*, **379**, eabn7850 (2023)。
- 12) T. Yada *et al.* : *Nat. Astron.*, **6**, 214 (2022)。
- 13) 阿部善也，権代紘志，竹内翔吾，白瀧絢子，内田篤興，中井泉：分析化学 (*Bunseki Kagaku*)，**60**, 477 (2011)。
- 14) Y. Abe, R. Shikaku, M. Murakushi, M. Fukushima, I. Nakai : *J. Archaeol. Sci. Rep.*, **40**, 103195 (2021)。
- 15) 阿部善也，小林仁，福嶋喜章，村申まどか，長江惣吉，藤田清，中井泉：文化財科学，**84**, 31 (2023)。



阿部 善也 (Abe Yoshinari)

東京電機大学工学部応用化学科 (〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番)。東京理科大学総合化学研究科総合化学専攻修了。博士(理学)。《現在の研究テーマ》X線を中心とした機器分析手法の開発・高度化と学際分野への応用。《趣味》お酒を嗜むこと。

E-mail : y.abe@mail.dendai.ac.jp

安定同位体比質量分析の基礎

炭素や窒素などの軽元素安定同位体比分析は、自動前処理装置の進化にともなってその利便性が大きく向上した。しかし分析の自動化によって装置の内部が見えにくくなり、機器を適切に維持・管理できる人材の確保や、データの信頼性確保が課題となりつつある。本稿では軽元素を対象とする安定同位体比質量分析計について、特に原理やハードウェアに関する基本について解説しつつ、ユーザー目線で注意すべきポイントにも触れる。

原 拓冶, 大堀 基己, 川西 伸明, 曾根 由実, 奥村 輔

1 はじめに

安定同位体比質量分析法は、炭素、窒素、硫黄、酸素、水素といった軽元素の同位体比変動を高精度に測定する分析手法であり、その応用範囲は多岐にわたる。このような分析システムは、1980年代には手作業による複雑な試料前処理を必要としていたものの、1990年代からは自動前処理装置の市販がスタートし、その利便性が飛躍的に向上した。特に2000年代以降はデジタル回路技術の普及により、装置の制御とデータ処理の性能が大幅に高まり、現在の市販製品は分析性能と操作性の点で、ほぼ完成の域に達したと考えてよい。これにより、幅広いユーザーがこの技術を利用できるようになった一方で、分析プロセスの自動化によって、装置の内部が見えにくくなってしまいう「ブラックボックス化」という側面も生み出した。安定同位体比質量分析システムは、汎用の質量分析装置と比べてやや異なる構造と原理を持ち、ユーザー母数もそれほど多くない理由から、和文の技術資料なども限られているのが実情である。したがって、装置の維持・管理を適切に行える人材確保や、得られたデータの信頼性を担保することが課題となっている。さらに近年、特にコロナ禍においては対面による技術指導等が難しくなったことや、いくつかの研究機関では同位体比分析を外部に委託するケースが増加しており、この課題に拍車をかけている。

同位体比質量分析計は、測定対象とする同位体や試料によってイオン化法や動作原理が異なるため、様々なタイプが存在する。これまで「ぶんせき」誌上においても、入門講座によって同位体比分析の基本解説やイントロダクションが精力的に解説されてきた^{1)~3)}。本稿ではこれまでの文献を踏まえ、軽元素安定同位体比質量分析システムについて、特にハードウェアや原理、およびユーザー目線で注意すべきポイントについて解説を行う。

なお、軽元素安定同位体比質量分析システムは Gas-IRMS (gas source - isotope ratio mass spectrometer) と呼ばれる。これは、特に有機物を代表とする高分子化合物において、各元素での同位体の種類と数の組み合わせが膨大となってしまい、直接的な同位体比測定がほぼ不可能であることから、無機ガスに変換して測定を行う理由にある。たとえば炭素ならびに窒素の同位体比測定では CO₂ または N₂ に変換し、それぞれ m/z 44, 45, 46 または 28, 29 を主に検出する。Gas-IRMS で分析対象となる元素と各同位体、測定を行うための無機ガス種、検出する m/z について、一覧形式で表 1 に示した。

表 1 主に安定同位体比を測定する元素および同位体比、変換する無機ガス種と、検出する m/z

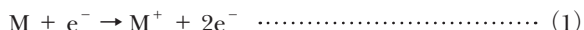
元素	安定同位体	同位体比	無機ガス種	同時検出する m/z
炭素	¹² C, ¹³ C	$\delta^{13}\text{C}$	CO ₂	44, 45, 46
窒素	¹⁴ N, ¹⁵ N	$\delta^{15}\text{N}$	N ₂	28, 29
硫黄	³² S, ³³ S, ³⁴ S, ³⁶ S	$\delta^{34}\text{S}$	SO ₂	64, 66
酸素	¹⁶ O, ¹⁷ O, ¹⁸ O	$\delta^{18}\text{O}$	CO	28, 29, 30
水素	¹ H, ² H(D)	$\delta^2\text{H}$	H ₂	2, 3
酸素	¹⁶ O, ¹⁷ O, ¹⁸ O	$\delta^{18}\text{O}$	CO ₂	44, 45, 46

2 Gas-IRMS

下記は、質量分析計本体 (IRMS) についての解説である。ここでは精製された各試料ガスについて、イオン化→イオンレンズによる収束→質量分離→多重検出器による同時検出を行う。制御およびデータ解析については各装置メーカーからソフトウェアが提供されており、本稿においては全般的な解説に留めるものとする。

2.1 電子イオン化法 (electron ionization, EI 法)

EI 法は、ガス種の質量分析において広く用いられる手法で、ガスクロマトグラフ質量分析計においても採用されている。イオン源の模式図および実際の写真をそれぞれ図1、図2に示した。EI 法はタングステンなどの金属フィラメントを真空中において通電・加熱し、熱励起によって放出された熱電子 (e^-) を利用する。加速された熱電子は一般的に 50~120 eV 程度の運動エネルギーを持ち、電子線の照射により気相試料分子から電子が剥ぎ取られ、一価またはそれ以上の価数を持つ正イオンとなる。



EI 法における単位時間あたりのイオン生成率は下記の式で与えられる⁴⁾。

$$\frac{n^+}{n} = \frac{I\sigma LD}{e} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 n は試料ガス種の分子数、 n^+ はイオン化した試料ガスの分子数、 I はエミッション電流値、 σ は気体分子と電子との反応断面積、 L はイオン化領域の長さ、 D は気体分子の密度、 e は電気素量をあらわす。イオンの生成率はイオン源の構造等によっても異なるが、エミッション電流値に依存して上昇する。しかし電流値を上げることでフィラメントの寿命は短命化してしまい、一定以上の電流値を流す場合にはフィラメントが切れて

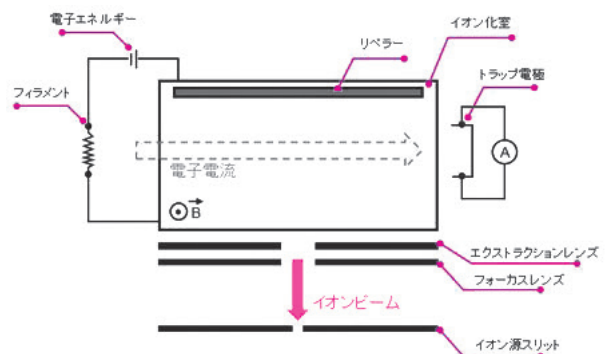


図1 EI イオン源の構造⁵⁾



図2 実際の EI イオン源
(海洋研究開発機構 松井洋平様ご提供)

しまう。また、電子電流の不安定化にも注意が必要であり、通常はトラップ電極により電流値がモニタされている。これとは別に「ボックス電流」という電流値もモニタされているが、これはトラップされずにイオン化室内に当たっている電子電流を計測している。両者の値や配分はガス種や試料ガスの量によって変動するものの、トラップ電流値とボックス電流値の和が、おおむねエミッション電流値となる。EI 法においては、イオン源に導入された試料ガス分子のうちイオン化するものは 0.1 % かそれ未満であり、残りの成分は真空ポンプによって排気される。

2.2 イオンレンズ

イオン化された試料 (M^+) は負の電圧を印加したエクストラクションレンズによって引き出される。装置メーカーによってはイオン化室 (またはイオン化箱とも呼ばれる) にリペラーを装備し、これに正の電圧を印加することで正イオンを押し出しているタイプのものも存在する。主なイオンレンズの模式図を図3に示す。エクストラクションおよび X-フォーカスの役割は、イオン化室からイオンを引き出し、スリットの位置に焦点を合わせることにある。これにより、スリット位置でのイオンビーム強度やその先において検出器に到達するまでのイオンビームの性質を決定する。X および Y-デフレクションは、ビーム全体を細かく調整するために使用されるが、上述のエクストラクションおよび X-フォーカスと比べると効果は小さく、イオンビームを動かすためにはより大きな印加電圧が必要となる。X-デフレクションは磁場においてイオンビームが曲がる方向、Y-デフレクションはそれに対して垂直の方向にイオンビームを偏向する。特に近年の装置では、イオンレンズに四重極を追加しイオンビームの収束性能を向上させたタイプも存在する。

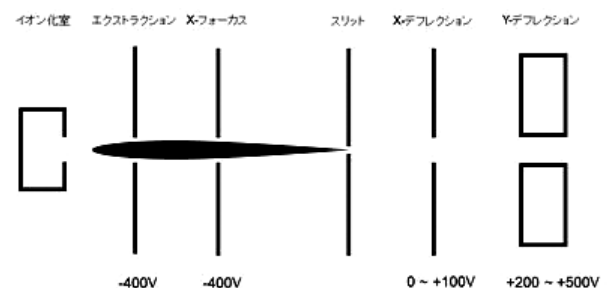


図3 イオンレンズの模式図

2.3 質量分離

IRMS では、イオン化した試料をイオンビームとして加速、質量分離したのち、後述する多重検出器により検出を行う。これは、異なる同位体信号を同時に取得する

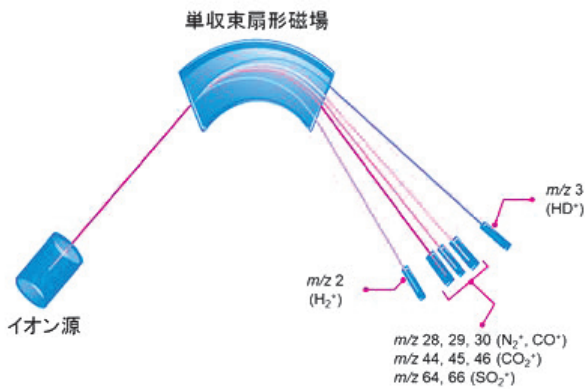


図4 単収束磁場型質量分析計の概略図

水素同位体比測定の際 (m/z 2 および 3 の計測) には磁場強度を下げてイオンの軌道を変えて測定する。そのため、専用の検出器が外側に配置されている。

ことで、イオンビームの揺らぎやドリフト等による感度変動が、比を取得したときに相殺されるため、質量走査を必須とする単一検出器タイプの装置と比べ、同位体比を高精度に測定することが可能になる。質量分離には一般的に扇形磁場 (電磁石) が用いられる。模式図を図4に示した。

イオンを加速電圧 U で加速するとき、下記の式が成り立つ。

$$zeU = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots (3)$$

z はイオンの価数、 m はイオンの質量、 v はイオンの速度をあらわす。これを満たすイオンが磁場強度 B の磁場を通過するとき、イオンは曲率半径 r_m の弧を描いて飛行する (フレミングの左手の法則)。このとき、イオンの遠心力と磁場によって生じるローレンツ力が釣り合うため、下記の式が成立する。

$$r_m = \frac{v}{eB} \times \frac{m}{z} \dots\dots\dots (4)$$

ここから、イオンの軌道半径が m/z に依存していることがわかる。Gas-IRMS では一般的に、質量分離を磁場のみで行う単収束磁場型質量分析系が採用される。

2.4 検出器

検出器としてはファラデー検出器が用いられる。模式図を図5に示した。ファラデー検出器ではグラファイトを用いた箱型カップにイオンを入射させ、検出器の電位変化を計測する。正電荷を持つ粒子の流れは電流とみなせるため、検出器で取得した電流値または電圧値を計測すればイオン強度を測ることが可能である。グラファイトが用いられる理由は、材質の仕事関数が大きく、イオンが衝突した際の二次電子の生成率が低いことと、多孔質構造にすることで表面積を大きくし、入射イオンに

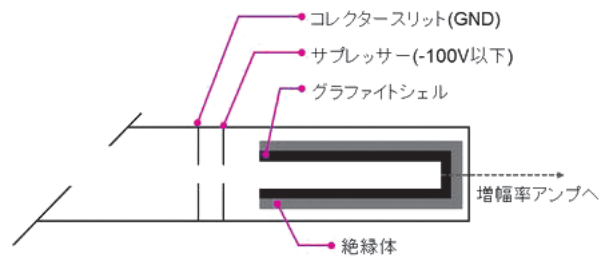


図5 ファラデー検出器の模式図

よるスパッタリングを低減できる点にある。ファラデー検出器の入口付近には負電位に保たれたサプレッサー電極 (-100 V 以下) が設置されており、二次電子の散逸を防ぐ構造にある。装置メーカーによっては検出器の上下に永久磁石を搭載し、ローレンツ力により二次電子をグラファイト壁面に再衝突させるタイプも存在する。

Gas-IRMS では多元素の同位体比測定に対応させるため、ファラデー検出器を焦点面上に複数搭載した検出器アセンブリが装置筐体に組み込まれる。イメージ図と実際の写真を図6に示した。特に、炭素・窒素・硫黄・酸素の同位体比測定は中央に位置する三つの検出器によって信号が取得され、ユニバーサルトリプルコレクタとも呼ばれる。これは中央に位置する検出器のみ幅が小さく、両隣にある検出器には幅が広いものを採用することで、質量分散の大小にかかわらず、多様な元素の同位体信号を同時取得できるような工夫が為されている。水素のみ、 m/z 2 および 3 を取得するため質量分散が非常に大きく (50 %), 安定した測定を行うために専用の検出器が必要である。

上述の通り、ファラデー検出器ではイオンビームを電流とみなして計測する。しかし、この電流は微弱であるため、増幅率の高い高抵抗アンプを用いて信号を増幅させ、式 (5) のように電圧値として読み取る必要がある。

$$V = RI \dots\dots\dots (5)$$

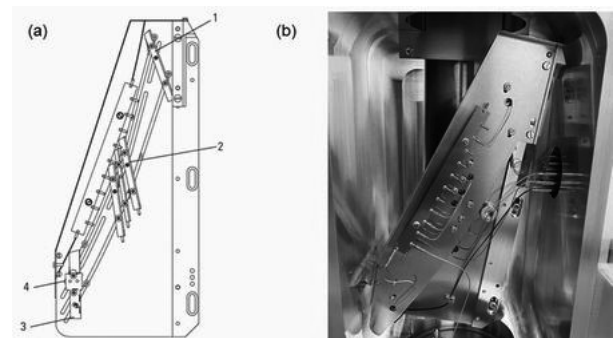


図6 検出器アセンブリのイメージ図と実際の写真

(a) の1では m/z 2 を取得、2はユニバーサルトリプルコレクタ、3は m/z 3 を取得する。図中の4は、 ${}^4\text{He}^+$ の散乱イオンが入射しないようリターディングレンズが搭載されている。

表2 検出器および増幅率アンプの組み合わせ

分子イオン	m/z	抵抗値 (Ω)
CO ₂ ⁺	44	3 × 10 ⁸
	45	3 × 10 ¹⁰
	46	1 × 10 ¹¹
N ₂ ⁺ CO ⁺	28	3 × 10 ⁸
	29	3 × 10 ¹⁰
	30	1 × 10 ¹¹
SO ₂ ⁺	64	3 × 10 ⁸
	66	1 × 10 ¹¹
H ₂ ⁺	2	1 × 10 ⁹
	3	1 × 10 ¹²

式(5)において、V=電圧値、R=高抵抗で、通常は10⁸Ω以上のものが用いられる。Iはイオンビームの電流値を指す。Gas-IRMSでは計測する分子種によって存在度が大きく異なるため、検出器ごとに異なる増幅率アンプが接続されている。すなわち、存在度の低い分子種を計測する場合には増幅率の高い抵抗付アンプが接続されている。代表的な組み合わせを表2に示した。基本的にアンプ増幅率は各装置メーカーにおいて汎用化されているが、特異的な試料や分子種に応じて増幅率を変更したり、あるいは基板上に抵抗を二つ以上装備し、ソフトウェア上から増幅率を切り替えられる場合もある。

3 同位体比の測定

3.1 窒素同位体比の測定

窒素は¹⁴Nと¹⁵Nの二つの同位体を持っており、有機物試料中の窒素をN₂態に変換して測定される。¹⁴Nと¹⁵Nの存在度をそれぞれa, bとすると、N₂分子の確率的同位体存在度は下記であらわされる。

$$^{28}\text{N}_2 : ^{29}\text{N}_2 : ^{30}\text{N}_2 = a^2 : 2ab : b^2$$

$$^{28}\text{N}_2 \text{ と } ^{29}\text{N}_2 \text{ の信号強度比} = 2ab/a^2 = 2b/a$$

ここから、²⁸N₂と²⁹N₂の信号強度比を取得することで窒素の同位体比(b/a)を測定することができる。

3.2 炭素同位体比の測定

炭素は¹²Cと¹³Cの二つの同位体を持っており、有機物試料中の炭素はCO₂態に変換して測定される。しかし、酸素が¹⁶O、¹⁷O、¹⁸Oの三つの同位体を持つために計算が複雑になる。

$$^{44}\text{CO}_2 = ^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$$

$$^{45}\text{CO}_2 = ^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{17}\text{O}$$

$$^{46}\text{CO}_2 = ^{13}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O} + ^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{17}\text{O} + ^{12}\text{C}^{17}\text{O}^{17}\text{O} + ^{12}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$$

ここから、

$$45/44 \text{ 比} = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} + 2(^{17}\text{O}/^{16}\text{O})$$

$$46/44 \text{ 比} = 2(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) (^{17}\text{O}/^{16}\text{O}) + (^{17}\text{O}/^{16}\text{O})^2 + 2(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$$

となり、このままでは方程式を解くことができない。そこで、地球上における¹⁷O/¹⁶Oと¹⁸O/¹⁶Oの関係式として下記を使い、CO₂態から炭素同位体比および酸素同位体比を得る。

$$^{17}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.0099235 \times (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})^{0.5166}$$

実際には、ソフトウェア上から幾つかの代表的なパラメータからひとつを選択できるうえ、スタンダードによる補正を行うことが可能である。

3.3 実際の同位体比測定

軽元素安定同位体比測定は、同位体組成比のわかっている標準物質と未知試料を比較測定することで行われる。基準となる同位体標準物質は国際原子力機関 (IAEA) やアメリカ国立標準技術研究所 (NIST)、ベルギー標準物質計測研究所 (IRMM) などが取り扱っている。しかし、これらの国際標準物質は非常に高価であり、量も限定的である理由から、測定のたびに使用することは現実的でない。そこで、国際標準物質をもちいて同位体比の値付けを行った二次標準物質が使われるケースが多い。二次標準物質としてはアミノ酸のスタンダードが多く、これは合成および精製が比較的容易であることと、長期間の安定性・保存性が優れていることによる。この場合、測定対象となる試料と物性や同位体比値ができるだけ近いものを選ぶと良い。未知試料と二次標準物質との間で物性が異なると、後述する自動前処理装置において、物性の違いによる系統誤差が生じるリスクがある。また、未知試料とスタンダードとの間で同位体比値が大幅に乖離している場合には、補正を行った際にスケール誤差が生じる可能性がある。また、実験操作などにおいて、同位体比値が同じ程度の有機物が偶発的にコンタミネーションすると、測定データへ影響を及ぼす可能性がある。検証を可能にするために、同位体比値の異なる2種類以上の標準物質を用意しておくといよい。

さらに低コストな手法としては、市販の高純度ガスボンベ (N₂, CO₂ など) をシステムに接続し、標準物質をもちいて値付けを実施して活用する方法も推奨できる。高圧ガスボンベは、各装置メーカーから提供されているユニバーサルインターフェースを介してシステムに接続可能である。この場合、ガスボンベが持つ同位体比値を定期的に確認することと、配管にリークがないことを注意深く確認するとよい。リークがあると軽い同位体分子が優先的に散逸してしまい、標準となるべき値にズレが生じる可能性がある。市販のスヌープ剤などにより、

リーク箇所を特定することが可能である。

3.4 高精度な同位体比測定を行うために

3.4.1 マスキャリブレーション

すでに2.3項で述べたように、磁場型質量分析計におけるイオンの軌道半径は m/z に応じて一意に定まる。しかし実際には磁場強度の読み値などにおいてわずかな変動が生じ、これによって実際の m/z とのずれが生じる可能性がある。

マスキャリブレーションでは、加速電圧を固定したまま、磁場へ印加する電流値を変化させて磁場強度を変化させ、イオンビームを検出器に入射させる。最も信号強度が高くなり、かつ検出器においてフラットトップピークが取得できる印加電流値をソフトウェア上に記憶させる。フラットトップピークが取得できていない場合、計測値やバックグラウンドの経時的変動によって高精度な同位体比測定が実現できなくなる。実際のマスキャリブレーションの画面について、一例を図7と図8に示す。

Gas-IRMS のマスキャリブレーションにおいては CO_2

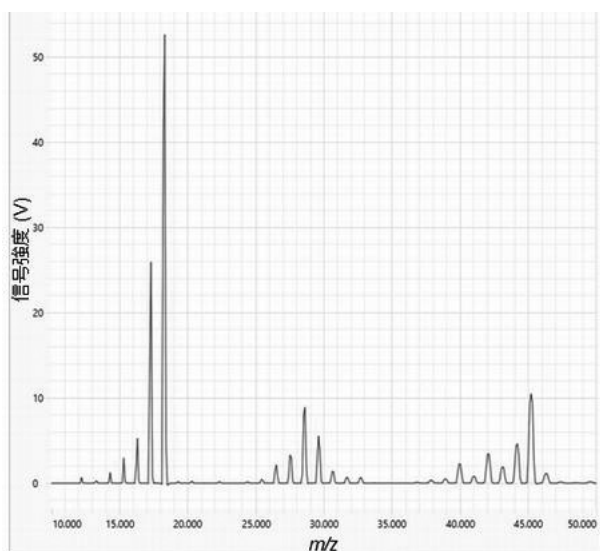


図7 マスキャリブレーション後のマススペクトルの一例

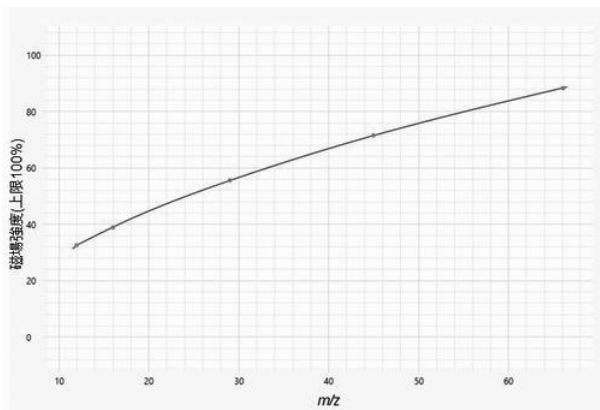


図8 質量校正曲線

横軸が m/z 、縦軸が磁場強度。なぜこのような曲線になるか考えてみてほしい

ガスが用いられる。ただし2.4で既に述べたように、実際にはファラデー検出器の幅が広く設定されている理由もあり、近年の装置では m/z 軸がずれることはほとんどない。そのため、新規納入時のテストのみとされているところが多いが、高精度測定を行う上では把握すべきポイントの一つである。

3.4.2 信号直線性のチェック

あらゆる質量分析計においても、真空系内の電荷密度に応じた電氣的反発が生じる。これを一般的に空間電荷効果といい、イオンビームを構成する荷電粒子が互いの運動に及ぼしあう影響のことを指す。一般的には重イオンの方が軽イオンよりも優先的に検出されやすい傾向にあり、この傾向は信号強度と直線的な関係にある。

そこで、ガス量を段階的に変化させながら CO_2 の m/z 44, 45, 46 を計測し、同位体比の変化率と信号強度の相関関係をチェックする。これにより直線性が担保される範囲、すなわち適切な信号強度のレンジ内で測定を行うことが望ましい。しかし、現実的にはリニアリティチェックを実際に行っている研究機関もそれほど多くはなく、二次標準物質を測定の合間に挟むなどの工夫で対処しているところが多い。

3.4.3 H_3^+ ファクターの補正

天然において、水素の同位体比はおおむね +200 %程度から -800 %程度まで幅広いバリエーションを持つ。これは、水素原子 (^1H) と重水素原子 (^2H) を比べたときの質量比が大きく、同位体分別を起こしやすいことが主な理由として挙げられる。そのため、分別が大きい水素の同位体比を測定する際には、機器的同位体分別においても細心の注意を払う必要がある。

水素同位体比の測定を行う際には H_3^+ ファクターの補正が必須である。 H_2 ガスをイオン化したときに生じる H_3^+ には量依存性があり、試料となる気体分子の量が多いほど H_3^+ が生じる傾向にある。この H_3^+ は、水素同位体比測定において検出する HD^+ に対して同重体干渉を起こす。そのため、リニアリティ補正と同様に、水素ガスの量（すなわち、信号強度）に応じた H_3^+ ファクターをあらかじめ算出し、ソフトウェア上からの自動計算により補正を行う。補正のやり方は各社装置のマニュアルを参照すると良い。実際の H_3^+ ファクター補正の画面を図9に示した。

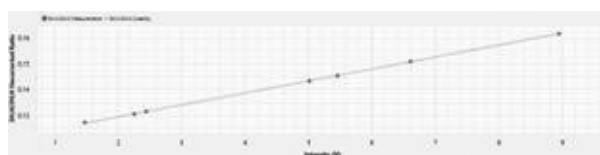


図9 H_3^+ ファクターの補正画面

横軸に信号強度、縦軸に水素同位体比のズレをプロットしている。

4 各種自動前処理装置

ここからは、ヘリウムをキャリアガスとして用いる連続フロー法をもちいる各種前処理装置について解説する。なお、装置メーカーによっては自社製品の機能や特徴についての解説記事も存在するため、本稿においては一般的な説明に留めつつ、ユーザーとして注意すべきポイントについて触れる。

4.1 元素分析計前処理装置-IRMS システム (EA-IRMS)

主に固体試料を燃焼・還元・熱分解によりガス化し、試料ガスを元素ごとに分離したのち、質量分析計へ導入するシステムである。概念図を図 10 に示した。試料の例としては、植物の根・葉・茎・実などの有機物試料や堆積物を含む土壌試料のほか、食品の産地判別などでは牛肉・ウナギといった生体試料も適用される。

固体試料は凍結乾燥によって出来る限り水分を除去し、ミル等により粉末化する。粉末化の際、サンプリング誤差を小さくするために、試料はできる限り均一にするのがよい。粉末化された試料はスズ箔製のサンプルカプセル (図 11) に封入して丸める。サンプルカプセルは径 5 mm × 高さ 8 mm 程度のものが標準的であるが、装置メーカーによって幾つかの取り揃えがある場合がある。スズ箔製のサンプルカプセルは製造過程でコークスが使用されるため、事前に有機溶媒 (例：特級メタノー

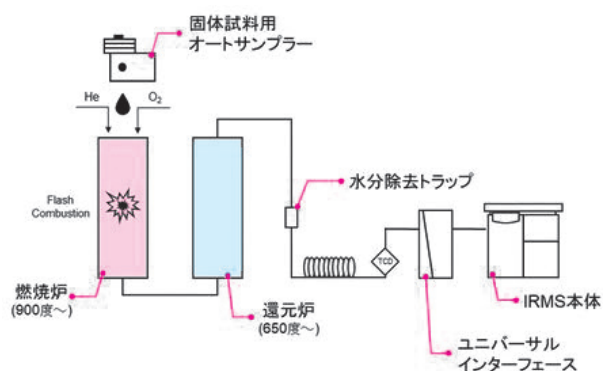


図 10 EA-IRMS の概念図



図 11 EA-IRMS で使用するスズカプセル

ル/特級ジクロロメタン 1:1 混合溶媒) によって洗浄、乾燥させたものを使うのがよい。

炭素・窒素・硫黄の同位体比測定においては、試料はヘリウムキャリアガスおよび酸素ガスと同時に燃焼炉 (酸化炉) へ導入される。それぞれの元素は閃光燃焼によって CO_2 、 N_2 、 SO_2 に変換されるが、この中でも窒素は窒素酸化物 (NO_x) に変化しやすい。したがって、次の還元炉に還元銅などを充填して N_2 態に還元させる必要がある。

試料に含まれるハロゲンは測定に影響を与えることがあるため、炉の後部に酸化銀コバルト試薬 ($\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Ag}$) を充填し除去する。わずかに生成される H_2O も分析を阻害する可能性があるため、過塩素酸マグネシウム試薬 ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$) によって除去される。EA-IRMS においては多くの消耗品を使用するため、ランニングコストについても事前に把握しておくのがよい。

酸素および水素の同位体比測定においては、試料はヘリウムキャリアガスとともに熱分解炉へ導入される。熱分解炉は一般的に 1400°C 以上にも達し、コーティングされた炭素質の顆粒 (カーボングラニュール) が充填されているため、酸素は C と結合して CO となる。水素は H_2 として生成する。

生成したこれらのガスは元素ごとに分離され、ユニバーサルインターフェースを介して質量分析計に導入される。各元素の分離方式は装置メーカーによって幾つかのタイプがあるが、大まかに吸脱着方式か、クロマトグラム方式の 2 タイプに分けられる。前者はガスを一旦トラップさせ、熱によって脱離させることができるため、測定を任意のタイミングで行うことができる点がメリットである。後者は従来ながらの元素分離カラム (パックドカラム) を用いた方式で、分離はカラム温度に依存する。しかしながら、カラム上において試料ガスを相対的に濃縮する手法や、炉の石英リアクターの径を細くすることで、通常の EA-IRMS と比べて 20~1000 倍にも達する感度で同位体比測定を行う「nano-EA/IRMS」も浸透しつつある⁷⁾。

1 回の測定において使用する有機物試料は 0.1~1 mg であるが、厳密には試料に含まれる元素の量による。たとえば、堆積物や土壌などの試料ではケイ素成分などが多く、相対的に炭素・窒素濃度は低い傾向にある。炭素の量に換算したときに $30\ \mu\text{gC}$ 、窒素の場合に $80\ \mu\text{gN}$ 程度が測定の目安である。

4.1.1 EA 前処理装置において注意すべきポイント

EA 前処理装置は本稿において最も汎用的な前処理装置であるが、ユーザーにとって注意すべきポイントがいくつか存在する。

試料前処理においては、特に凍結乾燥における水分の除去が重要である。水分が残ったままの試料を燃焼炉に

投入すると、水蒸気となり体積が爆発的に増加する。これによって、試薬を充填した石英管が割れてしまうおそれがある。

また、石英管に入れる試薬はできるだけ均一になるよう、密に充填する必要がある。不十分な場合には測定の不均質化を招くリスクがある。慣れればそれほど難しくないが、慣れないうちは経験者からレクチャーしてもらうか、あらかじめ試薬が充填されたリアクターが装置メーカーから提供できる場合があるため、それを参考にするのが良い。

前処理装置の維持管理にあたって、クロマトグラム方式を採用している場合には、定期的に焼き出し（カラムベーキング）を実施すると良い。基本的には無機ガス分離であるため、カラムへの吸着はほとんど発生しないものの、吸着が完全にゼロというわけではない。焼き出しの際には測定を停止のうえ、カラム温度を100~120度に昇温して一晩静置する。焼き出しの際、ヘリウムガス流量を10 mL/min程度で流しておくが良い。翌朝に焼き出しを停止し、その日は測定を行わず、休日の間に降温させてカラム温度を安定化させる。

4.2 ガスクロマトグラフ前処理装置-IRMS システム (GC-IRMS)

揮発性があり、熱に対して安定な有機化合物に対して化合物単位での同位体比測定が可能である。たとえばアルカン混合物試料ではメタン・エタン・プロパンといったように、炭素数ごとの化合物単位での同位体比測定が可能である。このような分析は Compound Specific Isotope Analysis と呼ばれ、日本語では化合物レベル同位体比分析または分子レベル同位体比分析とも呼ばれる。

GC-IRMS の概念図を図12に示す。GC-IRMS は液体試料または気体試料に適用される。液体試料の場合にはマイクロシリンジ・気体試料の場合には主にガスタイトシリンジにより試料注入口から導入される。導入された試料はキャピラリー GC カラムにおいて化合物ごとに分離され、炭素・窒素成分は燃焼還元炉によって CO_2 と N_2 に、酸素と水素成分は熱分解炉によって CO と H_2 に無機ガス化され、IRMS により計測される。

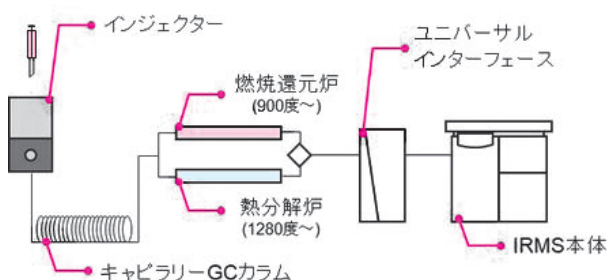


図12 GC-IRMS の概念図

標準ガスを導入するタイミングは EA-IRMS と異なる。上述のとおり、GC-IRMS ではキャピラリーカラムによって化合物分離をおこなうため、化合物の種類や量によっては1試料あたりの測定が30分を超える場合もある。後述するように、スタンダード測定を未知試料の測定間を実施し、結果に外挿することも良い。

なお、GC-IRMS については試料注入法、キャピラリーカラムの選択性、オプション等の選択肢が多岐に渡るため、本稿では全般的な解説にのみ留める。

4.2.1 GC 前処理装置において注意すべきポイント

GC によって試料成分を分離する際にカラムを昇温する場合には、昇温に伴って溶脱する微量成分の影響でベースラインが大きく上昇し、測定精度に影響するため、カラムのエージングが必要になる場合がある。

また炭素、窒素の同位体比の測定の場合には、カラムにおいて分離した試料の各成分を燃焼させる際に、セラミックチューブに Ni, Cu などの金属ワイヤーが充填されている燃焼還元炉を使用する。この炉はあらかじめ酸素を流してワイヤーを酸化させておく必要がある。分析を重ねていくと試料の燃焼によって酸素が徐々に消費されていくため、炉の再酸化が必要になる。測定される試料や測定方法によって酸素の消費量は変わるため、再酸化を実施する頻度について事前に検討する必要がある。

同様に、熱分解炉によって酸素、水素の同位体比を測定する場合、熱分解炉には中空のセラミックチューブを用いる。試料の測定を重ねていくと、試料中に含まれていた炭素などが炉の内部に蓄積していく。セラミックチューブの内部に炭素のコーティングが出来ることで、安定した熱分解が可能になる。そのため新しい炉を取り付けた場合などに、炉の内部の炭素コーティングの状態を整えるためにコンディショニングが必要になる。炭素の蓄積によりキャリアガスが流れにくくなった場合には、熱分解炉のセラミックチューブの交換が必要になる。

また、GC-IRMS での同位体比測定においては、リファレンスガスとの単なる比較を行うだけでなく、測定間に国際標準試料を挟む等の工夫すると良い。これは、注入口条件やカラム温度、燃焼還元・熱分解温度などの様々なパラメータによって同位体比のズレが生じ得ることが主な理由である。分析装置の状態を反映した「値の確からしさ」を担保するための工夫である。

4.3 汎用前処理装置-IRMS システム

ループインジェクション機構、3軸制御型ロボティクスオートサンプラー、セプタム付きサンプルバイアル、サンプルトレイから構成される、自由度の高い前処理装置である。主要なアプリケーションは複数あるが、本稿ではユーザー数が比較的多いと思われる二つの分析用途

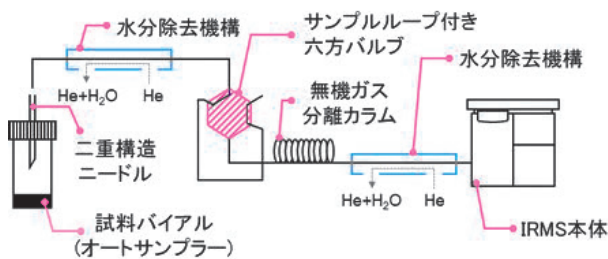


図 13 汎用型前処理装置-IRMS の概念図

に絞って解説する。装置外観および概念図を図 13 に示した。

4.3.1 炭酸塩試料の炭素・酸素同位体比測定

炭酸塩を含む粉末試料などをセプタム付きのガラスバイアルに封入し、一定温度に保たれた恒温型サンプルトレイにバイアルをセットする。トレイは 70 度に設定されることが一般的である。温度が変化してしまうと、試料ごとに CO_2 の生成状態が異なり、同位体比の値に系統誤差が生じてしまうことがある。二重針構造のニードルによりバイアル内部の空気を高純度ヘリウムに置換したのち、濃リン酸 (>95%) を注入して試料を酸分解する。生じた試料由来の CO_2 ガスは高純度ヘリウムでのフラッシュによってバイアルから採取され、ニードルとキャピラリーを通じて本体に導入される。酸分解において生じた水分は分析値に影響を与えるため、前処理装置本体内で除去されることが多い。その後、サンプルループから複数回にわたってパルス状にガスが切り出され、無機ガス分離カラムにおいて CO_2 が分離・精製されたのち、IRMS へ導入される。 m/z 44, 45, 46 の信号強度比から、炭素および酸素同位体比が測定される。

4.3.2 平衡法による水の酸素・水素同位体比測定

バイアルをセプタム付きキャップで封じたのち、内部の空気を $\text{He}-\text{CO}_2$ 混合ガス (99~1%) でパージし、シリンジで水試料 500 μL を注入してから静置する。この間、混合ガスの CO_2 と水試料の H_2O との間で酸素原子の同位体交換が発生し、一定時間後に同位体平衡となる。それ以降は気相と水試料いずれも同位体比が変化しない状態となる。その後、気相成分にある CO_2 を測定することで、水試料の H_2O がもともと持っていた酸素同位体比を計算によって求めることができる。水素の同位体比測定を行う際には混合ガスを $\text{He}-\text{H}_2$ (98~2%) とし、水試料の量も 200 μL に変更する。同位体平衡に要する時間は、酸素同位体比測定において約 20 時間、水素同位体比測定において約 1 時間以内である。本手法は、たとえば海水試料や地下水の試料などで微粒子や有機物が含まれていたとしても、同位体交換反応を示す H_2O 成分のみの酸素・水素同位体比測定ができる点が

ユニークな特徴である。

4.3.3 汎用前処理装置において注意すべきポイント

炭酸塩試料分析においては、濃リン酸が固化してしまい、リン酸注入用のニードルが詰まってしまうことがあるため、定期的なメンテナンスが必要である。もしくは、濃リン酸の注入だけ使い捨てのシリンジで実施することも可能である。ほか、サンプルトレイの嵩上げを行い、メーカー標準のバイアル (基本的に 12 mL) よりも小さなバイアルで実施し、相対的に CO_2 濃度を高くして分析を行っている研究機関もある。

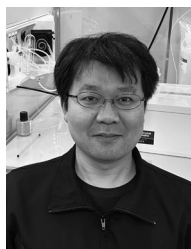
水試料の水素同位体比分析に関しては、平衡を促進するための白金触媒が不可欠であるが、昨今の世界情勢によって輸出入に規制が掛かっている場合がある。基本的には半永久消耗品であるため、交換頻度はそれほど高くないものであるが、最新情報については各装置メーカーへ問い合わせるのがよい。

5 おわりに

安定同位体比質量分析装置は、他の汎用装置と比べるとやや敷居が高くなっていることは事実である。たとえば昔の装置ではイオンビームが「見えない」ことで頭を抱えることも良くあり、マニュアルでの調整によって、ようやく検出器へイオンを入れられることもあった。しかしながら、近年の装置においては利便性が格段に向上し、ある程度の慣れと経験を積めば誰しもが活用できるものになっている。本稿によって興味を持っていただければ幸いである。

文 献

- 1) 中野考教：ぶんせき (*Bunseki*), **2016**, 2.
- 2) 佐々木聡, 金澤延行：ぶんせき (*Bunseki*), **2016**, 46.
- 3) 日高洋, 赤木右：ぶんせき (*Bunseki*), **2002**, 2.
- 4) 早川滋雄： *Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **57**, 345 (2009).
- 5) P. Burnard, L. Zimmermann, Y. Sano: "The Noble Gases as Geochemical Tracers", Edited by P. Burnard, p.6 (2013), (Springer-Verlag, Berlin).
- 6) H. Craig: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **12**, 133 (1957).
- 7) N. O. Ogawa, T. Nagata, H. Kitazato, N. Ohkouchi: "Earth, Life, and Isotopes", Edited by N. Ohkouchi, I. Tayasu, K. Koba, p.339 (2010), (Kyoto University Press).



原 拓治 (HARA Takuya)

サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社 (〒221-0022 神奈川県横浜市神奈川区守屋町 3-9).

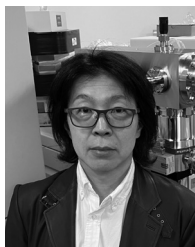
E-mail: takuya.hara@thermofisher.com



大堀 基己 (OHORI Motoki)
サーモフィッシャーサイエンティフィック
株式会社 (〒221-0022 神奈川県横浜市神
奈川区守屋町 3-9).



曾根 由実 (SONE Yumi)
サーモフィッシャーサイエンティフィック
株式会社 (〒221-0022 神奈川県横浜市神
奈川区守屋町 3-9).



川西 伸明 (KAWANISHI Nobuaki)
サーモフィッシャーサイエンティフィック
株式会社 (〒221-0022 神奈川県横浜市神
奈川区守屋町 3-9).



奥村 輔 (OKUMURA Tasuku)
サーモフィッシャーサイエンティフィック
株式会社 (〒221-0022 神奈川県横浜市神
奈川区守屋町 3-9).



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]

キャピラリー電気泳動に関連する略号

1 はじめに

キャピラリー電気泳動 (CE) は高性能液相分離分析法として利用されている。分離系の特徴や分離機構に基づき次のような各種分離モード、(1) キャピラリーゾーン電気泳動 (capillary zone electrophoresis, CZE), (2) 動電クロマトグラフィー (electrokinetic chromatography, EKC), (3) キャピラリーゲル電気泳動 (capillary gel electrophoresis, CGE), (4) キャピラリー等電点電気泳動 (capillary isoelectric focusing, CIEF), (5) キャピラリー等速電気泳動 (capillary isotachopheresis, CITP), に分類される場合が多い。

2 CE の化学現象解析機能

高速液体クロマトグラフィー (HPLC) とは異なり、多くの場合 CE の分離場であるキャピラリー内には分離剤等は存在しない。しかし、CE ではキャピラリー内における様々な化学現象 (化学反応や物質移動現象等) を利用して分離機能の発現や分離効率の向上を図っている。そのため CE 系の分離挙動はキャピラリー内における化学現象の特徴を反映している。このことは逆に、CE 系の分離挙動を解析することにより、キャピラリー内における化学現象に関する化学的情報が取得できる可能性を示唆している。CE は高性能分離分析法として利用されているが、化学現象解析に関する優れた分析能力をも有している。CE の原理から最新技術に亘る様々な各種情報に関する詳細な解説記事が既に本誌に掲載されている¹⁾。そこで本拙稿では、CE の化学現象解析機能に焦点を絞り、関連情報について概説する。

3 ACE

Affinity capillary electrophoresis (ACE) は試料成分との親和性を有する物質を泳動液中に存在させ、その物質との反応性の差に基づき試料成分を分離する CZE の一様式である。ACE は分子間相互作用の平衡定数測定法としても既に広く利用されている。分子間相互作用の解析には表面プラズモン共鳴法や蛍光相互相関分光法等が利用されているが、これらの方法では実験データ測定の際に分子の固定化や蛍光標識化が必要であり、分子間相互作用の解析結果に対するこれらの影響が強く懸念される。一方、ACE 系では実験データ測定の際に分子の固定化や蛍光標識化が不要であり、分子間相互作用をより正確に解析できる。分子間相互作用の速度論的解析も可

能な解析法が開発されている。

3・1 KCE

Kinetic capillary electrophoresis (KCE) は均一系における分子間相互作用の速度論的解析法を開発する上での概念的な基盤技術として提案された²⁾³⁾。実験データを測定するための様々な実験操作法、Nonequilibrium capillary electrophoresis of equilibrium mixtures (NECEEM) 等が考案されているが、これらの各種実験法により観測される CE 挙動はすべて同一の基礎式で表わされ、初期条件や境界条件だけが実験操作ごとに異なる。KCE では各種の実験操作・条件の下で測定された実測溶出曲線と計算溶出曲線が一致するように curve-fitting 法により会合・解離の平衡定数や速度定数を決定する。

3・2 MASKE

Macroscopic approach to studying kinetics at equilibrium (MASKE) は化学平衡状態における親和性複合体の会合・解離速度定数の測定法として提案された⁴⁾⁵⁾。一般的には、平衡状態にある ACE 系に摂動を加えて非平衡状態を作り出し、この摂動に対する実測応答曲線が計算曲線と一致するように curve-fitting 法により会合・解離速度定数を決定する。遅い平衡到達を仮定して物質移動に関する基礎式を解くことにより、分子間相互作用の平衡到達速度が遅い ACE 系に対して curve-fitting を必要としない近似的解析法も提案されている⁶⁾。

3・3 ACE - モーメント解析法

CE 分離挙動の解析には HPLC 系の解析理論の考え方が多々準用される。モーメント理論による分離挙動の解析結果は HPLC 系の既往の解析理論に基づく解析情報に比べ、種類や数量および定量性の点でより優れている。特に、既往の解析理論では不可能であった分離系内における化学反応や物質移動現象の速度論的解析の実施にモーメント理論は有効であり、CE 実験データからの拡散係数、物質移動係数や反応速度定数等の定量的な導出がその適用により初めて可能になる。

ボロン酸による cis-diol 構造を有する糖認識反応の解析に「ACE - モーメント解析法」が適用され、会合平衡定数や会合・解離速度定数が決定された⁷⁾。また、モーメント理論を適用して既往論文中の ACE データを解析した結果、論文発表時には求められていなかった会合・解離速度定数を決定することが可能であった。この結果は過去に集積された膨大な数量の ACE データを速

度論的解析のデータベースとして活用できる可能性を示している。また、Complete filling ACE だけではなく Partial filling ACE データを解析するためのモーメント式も開発され、解析理論基盤が構築されている⁸⁾。

4 EKC

EKC は界面活性剤ミセルやリボソーム等の分子集合体を擬似固定相として使用する CE 分離モードである。擬似固定相への分配平衡の差に基づき各試料成分を分離する方法であり、分離機構は HPLC に類似している。

4.1 ミセル動電クロマトグラフィー (MEKC)

Micellar electrokinetic chromatography (MEKC) では陰イオン性のドデシル硫酸ナトリウム (SDS) ミセルが最も頻繁に使用される。その他に陽イオン性・両イオン性・非イオン性界面活性剤のミセルやマイクロエマルジョン等も使用される。主に電氣的に中性の試料成分がミセルへの分配平衡の差に基づき分離される。

SDS ミセルを使用する MEKC 系の分離挙動がモーメント理論に基づき解析され、SDS ミセル界面における物質透過現象が平衡論的および速度論的観点から研究された⁹⁾。バルク泳動液とミセルとの間での溶質の分配平衡定数だけではなく、ミセル界面における溶質のミセルへの出入り両方向の透過速度定数の測定が可能になった。さらに、Partial filling MEKC による実験データの解析に必要なモーメント理論基盤が構築され、この方法も SDS ミセルの界面物質透過現象の解析に適用された¹⁰⁾。Partial filling MEKC による界面物質透過現象の解析結果は通常の Complete filling MEKC による解析結果⁹⁾と一致し、その有用性が実証された。

4.2 リボソーム動電クロマトグラフィー (LEKC)

Liposome electrokinetic chromatography (LEKC) 系の分離挙動をモーメント解析することにより、リボソームの脂質二分子膜における溶質の透過現象に関する平衡論的・速度論的情報を得ることが可能になった。物質の膜透過性はこれまで並行人工膜透過性試験等により解析されているが、LEKC では人工膜ではなくリボソームそのものを擬似固定相として使用し、実際の脂質二分子膜を観測場とする。また、リボソームはリン脂質が弱い力に基づき自己集合した構造体である。そのため、リボソームには化学的・物理的作用をできる限り加えず、また固定化や蛍光標識化を施すことなく、リボソームが本来あるべき状態で実験データを測定する必要がある。リボソームを擬似固定相として使用する LEKC はこれらの要請に応える実験法である。

アシル基の構造特性 (炭素数や二重結合数) が異なるリン脂質を用いて調製した数種類のリボソーム各々を擬似固定相として使用する LEKC 系の分離挙動がモーメ

ント理論に基づき解析され、リボソームの脂質二分子膜における溶質の透過現象が平衡論的・速度論的に解析された¹¹⁾¹²⁾。本法では膜透過両方向の速度定数の測定が可能であり、脂質二分子膜の流動性やリン脂質の構造特性等との関連性を踏まえた膜透過の動特性に関する研究の展開への本解析法の寄与が期待される。

5 おわりに

CE はその分離挙動にかかわる化学現象を解析する上で原理的に優れた数多くの長を有する。すなわち、ACE 系では化学反応、一方 EKC 系では分子集合体への分配現象が自動的にかつ無数に繰り返されるため、関連化学情報を積算・増幅して検出することが可能である。また化学種の固定化や蛍光標識化が不要であり、高額な専用機器の使用や特殊実験技術の習得も不要である。このため ACE 系は分子間相互作用、EKC 系は物質移動現象の優れた解析システムと見なすことができる。それらの溶出曲線の解析にモーメント理論を適用することにより、分子間相互作用や分配現象に関する平衡定数だけではなく、化学反応や界面物質透過の速度定数を解析的に決定することが可能である。CE はこれまで主に高性能分離分析法として利用されてきたが、CE は化学現象解析法としての優れた特性と高い解析能力をも原理的に有する。CE 技術は各方面へと展開しているが¹⁾、化学現象解析機能の開発もまた CE の分析法としての総合力向上の一つの方向性を示している。

文 献

- 1) 齋藤伸吾：ぶんせき (Bunseki), **2023**, 390.
- 2) A. Petrov, V. Okhonin, M. Berezovski, S. N. Krylov : *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 10174 (2005).
- 3) S. N. Krylov : *Electrophoresis*, **28**, 69 (2007).
- 4) V. Okhonin, M. V. Berezovski, S. N. Krylov : *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 7062 (2010).
- 5) M. Kanoatov, L. T. Cherney, S. N. Krylov : *Anal. Chem.*, **86**, 1298 (2014).
- 6) L. T. Cherney, S. N. Krylov : *Anal. Chem.*, **83**, 1381 (2011).
- 7) K. Miyabe, M. Oya, M. Imaizumi : *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **97**, uoae104 (2024).
- 8) K. Miyabe : *J. Chromatogr. A*, **1684**, 463557 (2022).
- 9) K. Miyabe, S. Senoo, N. Okayasu : *Electrophoresis*, **40**, 2962 (2019).
- 10) K. Miyabe, M. Nakajima : *Electrophoresis*, **42**, 2528 (2021).
- 11) K. Miyabe, S. Inaba, M. Umeda : *J. Chromatogr. A*, **1687**, 463691 (2023).
- 12) K. Miyabe, M. Sakai, S. Inaba : *Electrophoresis*, **45**, 1885 (2024).

[立教大学理学部化学科 宮部 寛志]

植物細胞の蛍光イメージング



山田 幸司

1 植物細胞の可視化技術の開発

1.1 植物細胞の蛍光染色の問題点

蛍光顕微鏡を用いた分析法は、その高い感度や空間分解能、非侵襲的に細胞を生きたまま観察できること、波長の異なるプローブを用いることで複数の対象を同時に観察できることなどの利点から、生命科学や医学などの分野で広く用いられている。観測対象の多くは蛍光特性を持たないため、遺伝子工学的に細胞内部で発現させる蛍光タンパクか、外部から導入できる有機分子や量子ドットなどの蛍光物質を用いる必要があるが、波長や応答性の異なる数多い候補の中から最適な蛍光プローブを選択することで動物細胞のさまざまな機能が明らかになってきた。一方、植物細胞の蛍光顕微鏡分析の事例は、動物細胞に比べて少ない。その理由として、(1) クロロフィルなどの植物内の色素が強い自家蛍光を放ち蛍光プローブからのシグナル検出を妨害すること、(2) 厚い細胞壁が蛍光物質の浸透を防ぎ染色ムラが生じることなどが挙げられる。そのため、動物細胞に比べて蛍光タンパクを用いた研究事例が多いが、依然として(1)の問題が存在する。

1.2 ClearSee を用いた植物細胞の透明化

(1)の問題の具体的な解決法として、名古屋大学の東山哲也教授らの研究グループが開発した植物組織透明化技術「ClearSee (クリアシー)」が挙げられる¹⁾。この技術は、パラホルムアルデヒド溶液を用いて植物サンプルを固定化し、減圧状態でPBSを使ってサンプルを洗浄し、キシリトールとデオキシコール酸ナトリウムと尿素からなるClearSee溶液を使って植物を傷つけることなくクロロフィルを取り除いて植物全体を透明化する技術である。植物種によっては、酸化反応によって茶色に変色するものもあるが、還元剤として亜硫酸ナトリウムを

添加したClearSeeAlphaによって透明化することができる²⁾。ClearSee処理によって得られた蛍光顕微鏡像は、未処理のものに比べてクロロフィルによるノイズが大幅に低減され、植物細胞の内部まで鮮明な蛍光顕微鏡像が得られるようになった。これらの試薬は、富士フィルムと光純薬(株)から市販されているので我々も分析ツールとして使うことができる。ただし、固定化した時点で、非侵襲的に細胞を生きたまま観察できるという蛍光顕微鏡分析の利点を失うことになる。

2 シロイヌナズナへの応用

2.1 モデル植物としてのシロイヌナズナ

2000年に植物として初めて全ゲノムが解読されたシロイヌナズナは、モデル植物として多くの研究に用いられている。1986年にT-DNAを介した形質転換が報告され、アグロバクテリウムという土壌細菌の感染力を利用して、外来遺伝子である蛍光タンパク遺伝子配列などを導入することが可能になった。また、世代交代が約6週間と短く、小型で栽培が容易なのでスクリーニング研究には最適な植物種である。特にシロイヌナズナの根は、クロロフィルがほとんど含まれず、細く・無色透明で、ClearSeeで処理しなくても蛍光を深部まで観察できる。また、シロイヌナズナは透明な寒天培地上で育てることができるため生きたまま根を観察することもできる。そのため主に蛍光タンパクをプローブとして用いた研究が続けられている。

2.2 酸成長説の解明

植物細胞の研究で大きなテーマの一つが細胞伸長である。固い細胞壁を突き破って方向性を持って根や茎が伸びていく機能には関心が寄せられてきた。その機構の有力な仮説が酸成長説である。インドール-3-酢酸(IAA)やフェニル酢酸(PAA)に代表されるオーキシンと呼ばれる植物ホルモンが、オーキシン活性因子(ARF)と呼ばれるタンパクを生成し、細胞膜上のプロトンポンプ(H^+ -ATPase)を活性化し、細胞壁に H^+ を供給することでセルロース間の強固な水素結合が緩み、細胞内の浸透圧によって方向性を持って伸長するという仮説である(図1)。そのため、1-ナフトレン酢酸(NAA)や2,4-ジクロロフェノキシ酢酸(2,4-D)などの類縁体が人工オーキシンとして除草剤などに使われている。一方、シロイヌナズナでは、2005年にTIR1と呼ばれるタンパクがオーキシンの受容体であることが判明し、オーキシンシグナル伝達経路が解明された。例えば、DR5::GFPは、オーキシンに応答して生成された遺伝子によって活性化され(DR5)、末端の緑色蛍光タンパク(GFP)に生合成によって蛍光として間接的にオーキシンを可視化する研究ツールである。しかし、蛍光タンパクはサイズも大きく、遺伝子の発現量は細胞の部位によってまちま

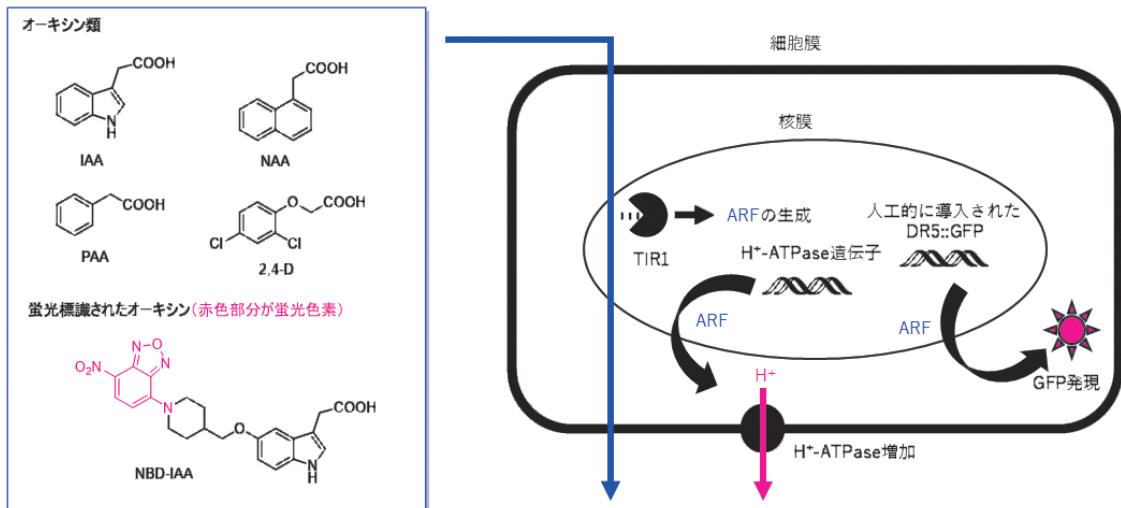


図1 オーキシン類の化学構造と植物細胞内での機構

ちなので、定量性に乏しいという難点があった。そこで、オーキシン自体に蛍光有機分子をラベル化し、オーキシンを直接定量したり、オーキシン輸送のプロセスを観察したりする研究も行われている。

その蛍光プローブとして、オーキシンの活性を阻害しない位置に、分子サイズの小さい蛍光色素であるニトロベンゾオキサジアゾール (NBD) をラベル化したオーキシン類縁体 NBD-IAA が設計・合成された³⁾。NBD-IAA は、細胞壁を透過し、オーキシン活性は弱いものの蛍光ラベルされていない IAA と同様に輸送されると考えられる。この蛍光プローブを用いることで、オーキシンの取り込みと輸送の観察やオーキシン輸送阻害剤の効果の検証ができるようになった⁴⁾。興味深いことに、蛍光色素の種類やオーキシンと蛍光色素の間のリンカーの構造の違いによって蛍光染色される部位が異なる。また、一部の色素はオーキシン活性が強く出たが、細胞内でオーキシンと蛍光色素の間のリンカーが分解された可能性も高い。最近では、小分子の割に蛍光性能の高いボロンジピロメテン (BODIPY) を用いたプローブも開発されている⁵⁾。

オーキシンによって細胞壁に放出された H^+ は、実際に 8-ヒドロキシピレン-3,6,8-三スルホン酸三ナトリウム塩 (HPTS) などの pH 応答性蛍光色素を用いることによって、細胞伸長部分の細胞壁の pH が 5~6 とやや酸性になっているのが確認されている。

3 今後求められる分析法

動物細胞よりも制約の多い植物細胞でも、蛍光プローブを工夫することでその機能が徐々に明らかになってきた。シロイヌナズナで得られた知見は、同じ被子植物であるイネ・トウモロコシなどと共通する代謝経路を持っていると考えられるため、作物研究に応用できる可能性

が高い。一方、形質転換が難しい植物種では、そのまま蛍光タンパクをプローブとして用いることは難しい。外部から導入する蛍光色素を長波長化して、自家蛍光のノイズの少ない領域で観測すればより鮮明なイメージを得られる可能性がある。また、現在のプローブでは、オーキシンまたはその受容体の存在位置がわかるのみで、両者間の相互作用を直接観測することはできない。複数のプローブを用いて共鳴エネルギー移動を制御したり、周辺の環境にตอบสนองしたりして発光波長が変化するよりインテリジェントな蛍光プローブが望まれる。

文 献

- 1) D. Kurihara, Y. Mizuta, Y. Sato, T. Higashiyama : *Development*, **142**, 4168 (2015).
- 2) D. Kurihara, Y. Mizuta, S. Nagahara, T. Higashiyama : *Plant Cell Physiol.*, **62**, 1302 (2021).
- 3) K. Hayashi, S. Nakamura, S. Fukunaga, T. Nishimura, M. K. Jenness, A. S. Murphy, H. Motose, H. Nozaki, M. Furutani, T. Aoyama : *PNAS*, **111**, 11557 (2014)
- 4) X. Huang, J. Maisch, K. Hayashi, P. Nick : *Int. J. Mol. Sci.*, **23**, 8593 (2022).
- 5) T. Aoyama, M. Nambo, J. X. Yap, A. Nakagawa, M. Hayashi, Y. Ukai, M. Ohtsuka, K. Hayashi, Y. Sato, Y. Tsuchiya : *bioRxiv*, <https://doi.org/10.1101/2024.09.11.612572> (2024).



山田 幸司 (YAMADA Koji)

北海道大学大学院地球環境科学研究院物質機能科学部門、北海道大学大学院環境科学院環境物質科学・環境起学(兼任)専攻(〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西5丁目)。大阪大学大学院工学研究科分子化学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》環境によって蛍光色が変わる色素の開発とセンサーデバイス応用。《主な著書》“環境修復の科学と技術”。(北海道大学出版会)。《趣味》名所・旧跡巡り。

E-mail : yamada@ees.hokudai.ac.jp

基礎からわかるふるい分けと粒子径分布測定

二宮 苗央, 佐藤 浩二

1 はじめに

砕石、木質ペレットの様なバルク材から小麦粉、顔料の様な微粉末に至るまで、試料の大きさ（粒子サイズ）は cm サイズから nm サイズの広範囲の領域に渡る。粒子サイズは溶解性、流動性、強度、表面反応性など試料の物理的または化学的な材料特性に多岐に渡る影響を与える。したがって、粒子を一定範囲の粒子径で整える「分級」、並びに粒状試料や微粉試料がどのような状態で分布するかを把握する「粒子径分布測定」は工業製品の受入検査、製造工程の管理、品質管理や商品開発に必要不可欠である。

粒子径・粒度分布を測定する手法としては、試験ふるいを用いたふるい分け法、粒子径測定装置を用いたレーザ回折・散乱法、動的光散乱法、動的画像解析法、及び光学・電子顕微鏡、のぎす測定などが挙げられる。どの測定法を用いるかは対象試料の粒子径、及び測定目的（粒子径分布測定、形状測定などに）に応じて適切な方法を選択する事が懸念である。本稿ではふるい分け法と粒子径測定装置を用いた分析法に焦点を絞り、分析技術の概要を説明し、信頼性の高い結果を得るための必要な手順を説明する。

2 ふるい分け分析とは

適宜に積み重ねた試験ふるい（網ふるい、板ふるい）に手で、又は機械的に振動を与えて試料を分級し、試験ふるいを通過した試料（ふるい下）、及び残った試料（ふるい上）の重さの百分率から粒子径分布を算出する方法がある。手動によるふるい分けは、電力供給が利用できない場合や迅速な抜き取り検査において、規格外サイズ（過大・過小）の有無を確認する場合などで用いられる。おおよそどの程度の粒子径であるかの予測を立てる際などには手動によるふるい分けは簡便で適しているが、作業者による差異が生じる問題を伴うので再現性を重んじるふるい分析は機械的ふるい振とう機を用いて行われる。

ふるい分けは乾式と湿式の二つの方法を選択できる。ほとんどのふるい分け工程は乾燥材料で行われる。しか

し、試験対象物質が既に懸濁液として存在する場合や、凝集しやすい極微細な試料をふるい分けしなければならない場合などには湿式法を用いる。振とうと最上段ふるい上部に設置されたノズルからの水の連続に噴霧により、試料の分級を促す。ふるい分け液がふるい最下段の排出口から流出する際に固体粒子による濁りがなくなるまで続ける。

乾式によるふるい分けは一般的に 40 μm から 125 μm の粒子に適している。湿式によるふるい分けは 20 μm まで測定範囲が広がる。湿式分級が行えない場合は、気流式のふるい機を用いる事で 10 μm までの分級が可能になる。しかしふるい分け効率は凝集性、密度、静電気など試料の特性により大きく左右されることを認識する必要がある。

ふるい分け分析の利点には操作の容易さ、大きなコストがかからない、正確で再現性のある結果が比較的短時間で得られる、スケールアップが可能、および粒子を分級できるなどのメリットが挙げられる。一方、物理的に試験ふるいを積み上げて粒子径分を測定するため、分画数には最大 20 程度と制限がある。より緻密な粒子径分布を主目的とする場合は粒子径測定装置も候補として考える余地がある。

ふるい分け分析で高い再現性と信頼性を確保するためには、必要に応じた適切な前処理（乾燥・縮分など）、適切なふるい機を選択、並びにふるい機、試験ふるい、秤量する天秤ひょうりょうの校正てんびんが必須となる。

以下、前処理方法と適切なふるい機を選択、及びふるい分けの手順について解説する。

3 前処理（縮分）

混合試料はもちろん、単一試料であっても試料は不均質であることが多い。これは粒度、比重、形状等、物性の違いにより偏析してしまう場合があるからである（図 1）。

縮分とは元の試料から化学分析に使用する代表性のある試料を分取することである¹⁾。再現性のあるふるい分析における最も重要な要件は、試験対象となるバルク材料全体から代表的な部分試料を採取することである。

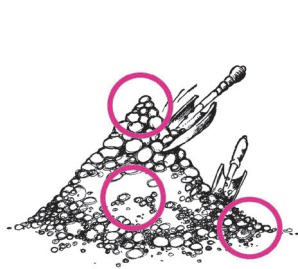


図1 試料の偏析

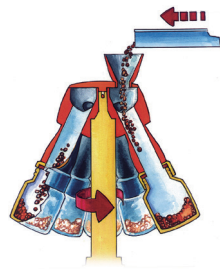
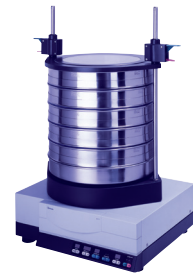


図2 回転分割式縮分法



図4 水平回転式ふるいの原理 写真2 水平回転式ふるい



「代表性」とは、部分試料の特性（この場合粒度分布）が、採取対象となるバルク材料全体の特性と同一でなければならないことを意味する。分析の第一歩は正確な縮分から始まる。代表的な縮分法には二分除法や貴金属の分析など標準偏差の少ない精度の高い縮分が求められる場合は、回転分割式縮分法（図2）などがある。適度な流動性と付着性のある試料に対してはインクリメント縮分法などがある。

4 ふるい分けの方式

4.1 振動ふるい（写真1）

試料は振動により上方向に放り投げられ、ふるい網上に落下する。振動の強弱は、ふるい底面を基準とした垂直方向の上下幅を示す振幅の調整により行われる。振動ふるい（電磁式ふるい振とう機）の場合、試料は縦、横、ねじれの3次元で動く（図3）。これにより、試料はふるい網を上下、円方向に均等に動きまわり、ふるい分けが促進される。再現性を求める場合は、振幅と時間をデジタル設定でき、校正対応な機種を選定する事が懸命である。また、湿式によるふるい分けも可能である。



図3 振動ふるいの原理 写真1 電磁式ふるい振とう機



4.2 水平回転ふるい（写真1）

水平回転運動ふるいは平面上で水平方向に円回転する（図4）。縦方向の動きがないので、ほとんどの粒子は上下移動することなく、水平面に移動する。特に針状試料、扁平状試料、長尺試料や繊維試料などの分級に適している。

4.3 タップ式ふるい（写真3）

タップ式ふるい振とう機は水平方向の円運動と垂直方向からのタッピング（連打の相互作用）により、手ふるいの原理が再現される（図5）。タップ式ふるい振とう機はDIN、JIS、ASTMなど国内外の粒度測定に関するいくつかの規格で使用が規定されている。振動ふるいと比較すると粒子とふるい目開きの接触数を少ないので、その分ふるい分け時間が長くなる傾向がある。（タップ式=毎秒2.5回、振動式=毎秒50回）一方ではタッピングの動きにより、試料をふるい目から効率良く通過させる力もある。しかし、低密度の試料の場合はふるい分け効率に劣る場合もある。



図5 タップ式ふるいの原理 写真3 タップ式ふるい



4.4 エアジェット式ふるい（写真4）

エアジェットシーブはふるいを1枚だけ載せて、ふるい分けを行う分級試験機である。外部機器として接続された産業用掃除機で機器内部を吸気しながら、試験ふるい下の回転式ノズルからジェット気流を発生させる。ノズルの狭いスリットから噴き出された強いジェット気流によりふるい上の試料（ふるい面全体）は分散される（図6）。さらに、気流により舞い上げた試料がふるいカバーにあたると、気流は向きを変えるので凝集物は解砕される。また、ふるい目を通じた試料は掃除機に吸引されるので、サイクロンを併用することで試料の回収も可能である。



図6 エアジェット式ふるいの原理 写真4 エアジェット式ふるいの原理

5 ふるい分け分析の流れ

ふるい機を選択した後、実際のふるい分けを開始する。

1. 試験ふるいと受け器を選択する。
2. 試験ふるいと受け器の風袋を秤量する。
3. 試料の重さを秤量し、ふるいの最上段に装入する。
4. 目開きの細かい順にふるいを積み上げる。
5. 試料を秤量し、一番上のふるいに投入する。
6. 振幅、回転数、時間などの条件を設定する。
7. 機器を作動させ、ふるい分けを開始する。
8. 終了後、受け器と各試験ふるいの重さを量る。

風袋を差し引き受け器、及び各ふるい上の試料の重量を割り出す。

9. 上記を元に粒度分布比率を計算し、評価。

(*上記、写真5と表1を参照。)



写真5 ふるいを多段積みした状態

表1 ふるい分析の結果

目開き [μm]	ふるい 正味重量 [g]	ふるい分 けの重量 [g]	差異 [g]	比率 P _s [%]	累積分類 Q _s [%]
受け皿	501	505.5	4.5	3	3
45	253	259	6	4	7
63	268	283	15	10	17
125	298	328	30	20	37
250	325	373	48	32	69
500	362	384.5	22.5	15	84
1,000	386	401	15	10	94
2,000	406	412	6	4	98
4,000	425	428	3	2	100
			= 150 g	= 100 %	

質量分率はヒストグラムでグラフ表示する (図7)。

最も大きい分画は250 μm から500 μm の範囲に32%の割合で存在していることが読み取れる。それぞれの分画と測定ポイントの補間を足していくことで、累積分布曲線が得られる (図8)。

粒子径分布の中央値を表すメディアン径 (D50=積算の頻度が50%) を調べるには、対応する粒子サイズ (330 μm) をx軸から読み取る。対応する粒子サイズが330 μm ということはサンプルの50%が330 μm 以下、50%が330 μm 以上であるということを表す (図9)。

重要：もし粒子が球形ではなく、例えば細長い形状の場合、振とう中にふるいのメッシュに当たる方向によっては縦方向にふるい目を通してしまふ。このため、250 μm と500 μm の間の分画であっても、500 μm よりも大きい (長い) 粒子が入っていることが生じる。

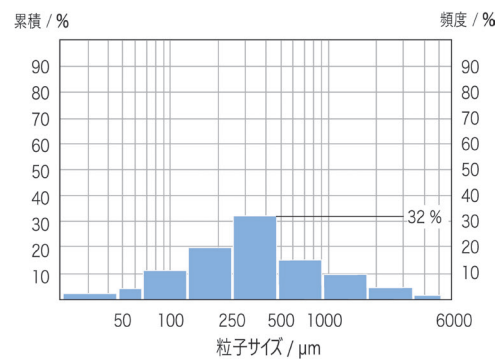


図7 各分画のヒストグラム

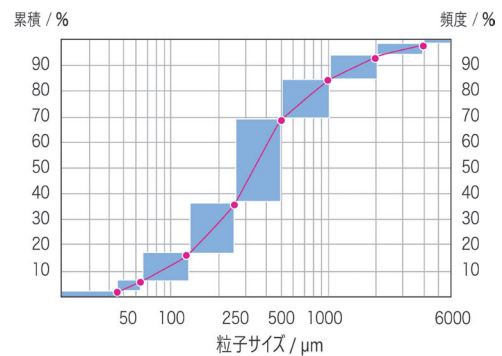


図8 累積分布曲線のヒストグラム

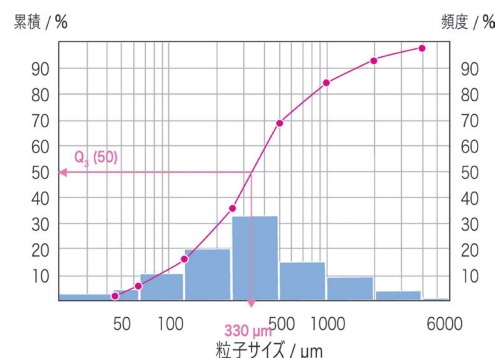


図9 累積分布曲線のヒストグラムとパーセンテージ

このような細長いサンプルの場合には縦方向の動きがない水平回転式のふるい振とう機が有用である。

6 粒子径分布測定装置

粒子径分布を測定する方法には、前述のふるい分け以外に、レーザ回折・散乱法、動的画像解析法、沈降法、電気的検知法、動的光散乱法、遮光法、超音波減衰法など多くの方法がある。ここでは、アカデミック及び産業界の研究開発から品質管理まで一般的に使用されている、レーザ回折・散乱法と動的画像解析法について解説する。

6.1 レーザ回折・散乱法

レーザ回折・散乱法は、少量の試料で測定が可能であり、測定が簡単で精度が高く、そして、再現性の高い測定データが得られることで知られている。但し、測定する試料にサンプリングエラーが無いこと、湿式でも乾式でも前処理の試料分散が適切であることは他の測定方法と同様に最適な測定結果を得る前提となる。

図 10 にレーザ回折・散乱法の代表的な光学系を示す。レーザ発光部、サンプルセル（試料供給部）、散乱光の受光部から構成される。装置メーカーにより様々である

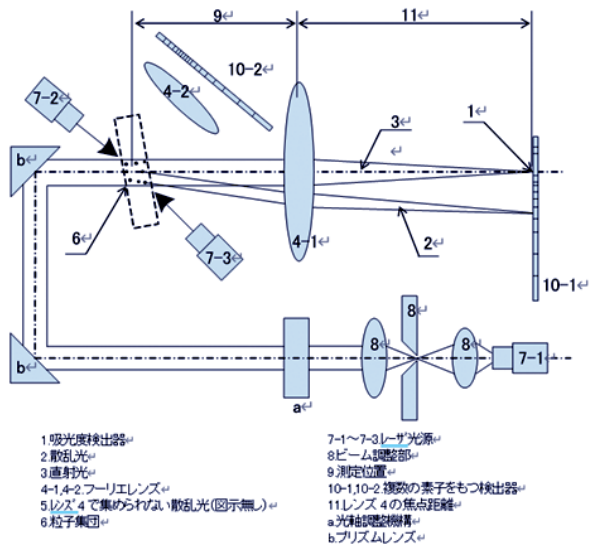


図 10-1 レーザ回折・散乱法の光学系概要①

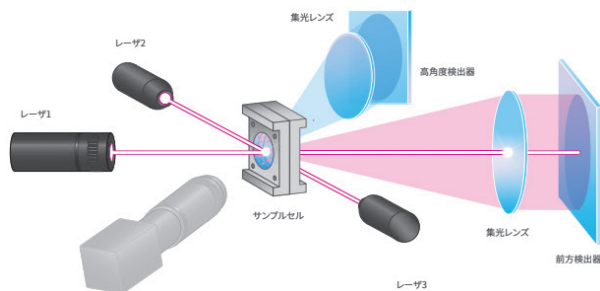


図 10-2 レーザ回折・散乱法の光学系概要②

が、この光学系ではレーザ光源を 3 本搭載し、前方と側方の 2 か所に受光部を持つことで、可能な限り粒子の全周方向からの散乱光を検出する工夫が為されている。

図 11 に粒子径に応じたレーザ光散乱パターンの一例を示す。大粒子からの散乱光は前方に強く、散乱角度は狭いパターンとなり、小粒子からは全周方向に弱い散乱パターンとなる。受光部で検出する散乱光は、大小粒子からの散乱光が合成されている。この散乱光パターンから粒子径分布を得るアルゴリズムは、装置メーカー各社各様であり、製造メーカーが変わるとその測定データが一致しないことはユーザの悩みの種となっている。

図 12 にレーザ回折・散乱法による測定結果の一例を示す。

粉粒体加工プロセスにおける粒子径分布評価には、プ

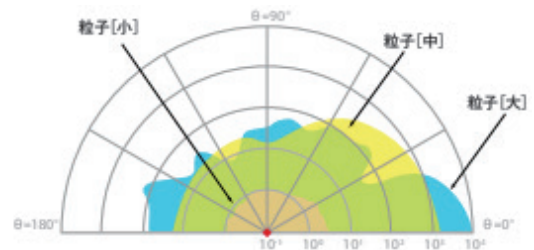


図 11 粒子径と散乱光パターン (イメージ)

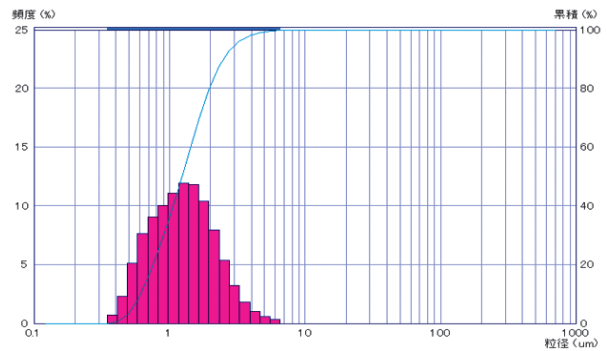
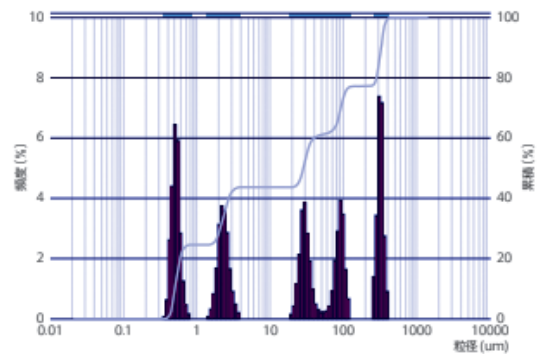


図 12 粒子径分布 (サンプル: 石英粒子)



測定サンプル: シーホスター0.5μm, シーホスター2.5μm, ガラスビーズ20μm, ガラスビーズ100μm, ガラスビーズ400μm

図 13 高分解能 粒子径分布測定

レイクダウン、ビルドアップの双方において、サブミクロンから数百マイクロメートルまでの幅広い測定範囲で高い性能（分解能、再現精度など）が要求されている。図 13 に粒子径の異なる 5 種類の粒子を混合した試料の測定結果を示す。粒子径の異なる五つのピークを分解能高く分離出力している。

近年の粒子形状評価に対するニーズの高まりを受けて、レーザ回折・散乱法に加えて動的画像解析法をも兼ね備えた装置が開発されている。CCD カメラの解像度は次章で述べる動的画像解析法専用装置に及ばないが、粒子径分布に加えて、円形度、アスペクト比のような形状指数が同時に得られる便利な装置である。図 14 に光学系イメージ、図 15 に粒子画像と形状評価散布図を示す。

球形粒子や棒状・円柱状・針状のような形状に特長のある粒子の測定では、想定外の形状をした粒子がどの程度の割合で含まれているかなど画像解析ならではの粒子特性評価が可能である。

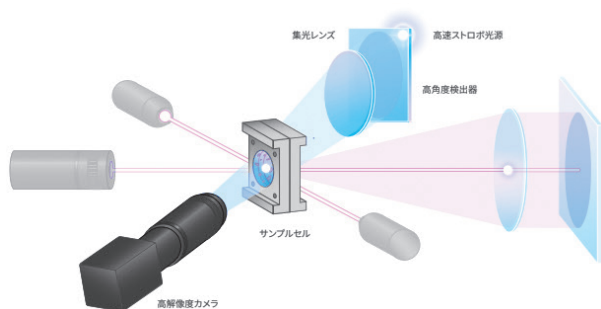


図 14 動的画像解析法の光学系イメージ

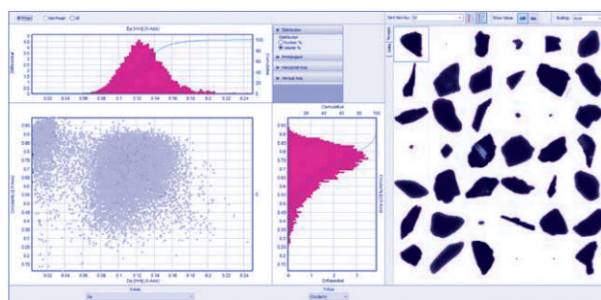


図 15 粒子画像と粒子形状指数の散布図

6.2 動的画像解析法

光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡に代表される静的画像解析法は数 μm 以下の微粒子観察においては有効であるが、数 μm 以上の粉粒体測定には以下の理由により不向きである。

- ・プレパラート上の粒子を上（1 方向）から撮像するため、限られた方向性の測定となる
- ・統計的に意味のある個数（例えば 1 万個）の撮像

に長時間を要する

一方、数 μm 以上の粒子評価において、動的画像解析法は次の利点がある。

- ・粒子の様々な方向から解析できる（全体を代表）
- ・乾式、湿式と試料の特性に合わせた前処理と測定方法の選択が可能である
- ・数分間の短時間で数十万～数百万個の粒子解析が可能である
- ・特に乾式測定では、多量の試料を測定することでサンプリングエラーの影響を受け難い

本稿では、上記の特長から特にモノづくりにおいて有効な動的画像解析法について解説する。

図 16 に動的画像解析法による光学系の例を示す。粉粒体を動的に検出部（CCD カメラ）の前を通過させる方法には三つの方法がある。乾式自由落下、乾式空気圧分散、そして、湿式循環方式である。それぞれの概略を図 17 に示す。

動的画像解析法では、一度の測定で粒子径分布と粒子

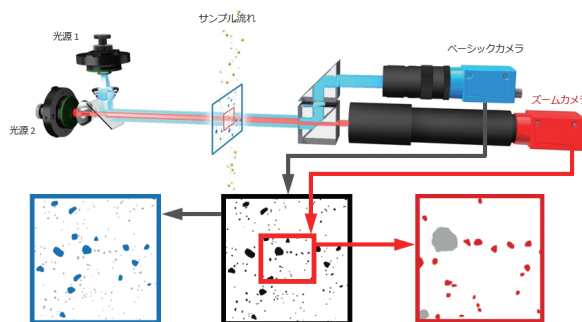


図 16 動的画像解析法 光学系イメージ

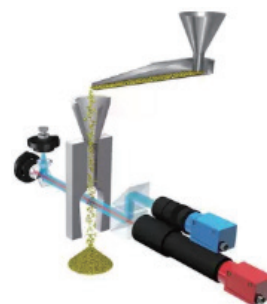


図 17-1 乾式測定 自然落下



図 17-2 乾式測定 圧縮空気により凝集粒子を分散

形状の測定が可能である。更に粒子径分布は図 18 に示す通り、短径・円面積相当径・長径の切り口でデータの表現が可能であり、粒子形状も図 19 の通りアスペクト比・円形度・対称度・凸度・コンパクト度など様々な切り口で評価することができる。

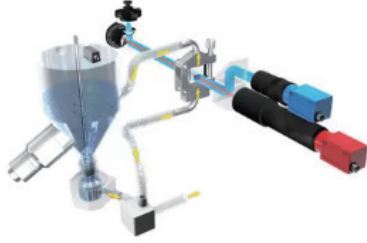


図 17-3 湿式測定

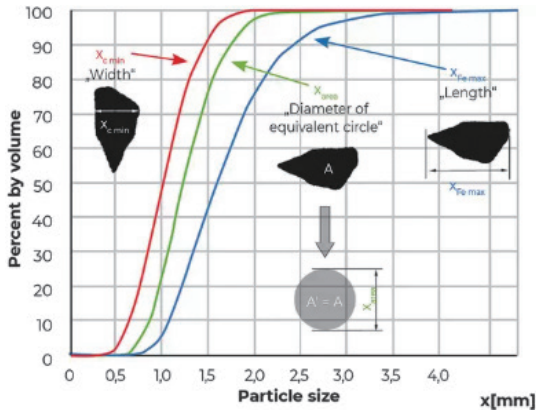


図 18 短径，円面積相当径，長径の粒子径分布

り口で評価することができる。

図 20 に粉末冶金で使用される金属粉 10 種類の測定結果を示す。短径の粒子径分布とアスペクト比による形状評価を実施している。例えば金属粉を用いた 3D プリンターでは、金属粉の流動性や緻密性が求められることから、粒子径分布に加えて球形度を評価することは重要である。

6.3 まとめ

表 2 にふり分け，レーザ回折・散乱法，動的画像解析法について，代表径（相当径），分布基準，測定物

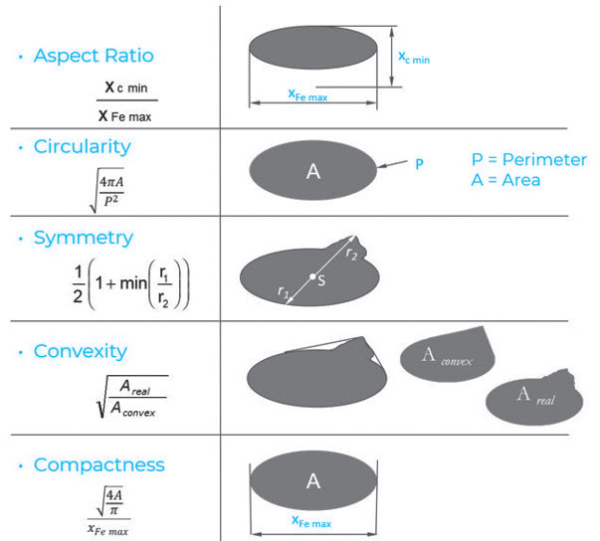


図 19 様々な形状指数

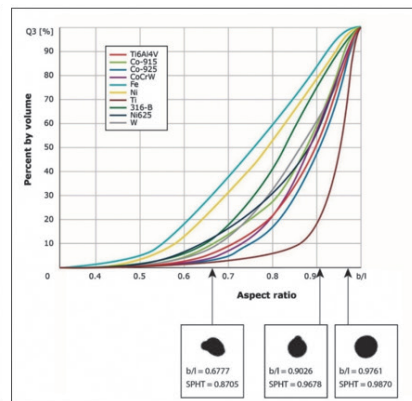
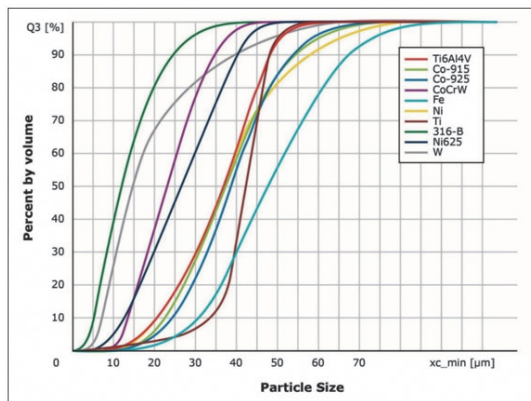


図 20 粉末冶金に用いられる金属粉の粒子径分布と粒子形状

表 2 各測定原理とその概要

測定原理	代表径（相当径）	分布基準	測定物理量	分解能	粒子径分布の分解能
動的画像解析式	幾何学径	個数	粒子画像	◎	粒子画像を取得後、瞬時に行われる個々の粒子解析結果を積算することで粒子径分布を得る
レーザ回折・散乱式	光散乱相当径	体積	散乱光パターン	○	粒子径に応じた散乱光パターンを基に、得られた粒子全体の散乱光から粒子径分布を演算で求める
ふるい分け	ふるい目相当径	体積（重量）	粒子重量	△	ふるい分画による

理量、及び、粒子径分布の分解能比較を示す。

使用者にとって何れの測定原理が適しているのかは、本表には記載のない事項（装置価格、操作性、再現性、業界内での納入実績等）も考慮して判断する必要がある。何れの原理も ISO/JIS 規格であり、様々な業界、アプリケーションの特性評価に活躍している。歴史的には、ふるい分け⇒レーザ回折・散乱法⇒動的画像解析法の順番であるが、新しい動的画像解析法が必ずしも最適とは限らない。粒子径分布に高い分解能を求めたり、粒子径分布に加えて粒子形状も評価したりするニーズがあるのであれば、迷わず動的画像解析法が適している。粉碎・分級・造粒・乳化・晶析などの粉粒体加工機メーカーは、レーザ回折・散乱法装置を使用していることが多く、粉粒体加工機ユーザは、そのデータ継続性、互換性を重視する場合もあろう。また、手軽、堅牢、安価なふるい分けは、あらゆる分野・業界でこれからも重宝されると思われる。連名の筆者が所属するヴァーダー・サイエンティフィック株式会社とマイクロトラック・ベル株式会社はグループ会社である。ヴァーダー・サイエンティフィックグループは、ふるい分け、レーザ回折・散乱法、動的画像解析法の全ての装置について、多くの取扱経験と納入実績を持っている稀有な存在である。粉

粒体の粒子径分布測定にどの装置が適しているか悩まれている読者がおられたら、気軽に相談頂ければ幸いです。

文 献

- 1) 粉体工学会編：“粉体工学用語辞典”，第2版，p.147（2000），（日刊工業新聞社）。



二宮 苗央 (NINOMIYA Nao)
ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社 (レツチェ) アプリケーションリーダー (〒151-0061 東京都渋谷区初台1丁目46番3号)。《趣味》水泳、落語。
E-mail: ninomiya@verder-scientific.co.jp



佐藤 浩二 (SATOU Koji)
マイクロトラック・ベル株式会社 (〒151-0061 東京都渋谷区初台1丁目46番3号)。《趣味》ゴルフ。
E-mail: k.satou@microtrac-bel.com

会社ホームページ URL： ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社 (レツチェ)
<https://www.retsch.jp/>

会社ホームページ URL： マイクロトラック・ベル株式会社
<https://www.microtrac.com/jp/>

トピックス

● 極微量の水質計測法：

水素イオン濃度 (pH) と太陽系物質科学

いまから約 100 年前、デンマークの化学者 S. セーレンセン (Søren Peter Lauritz Sørensen : 1868–1939) は、水質の酸性度を示す指標として、水素イオン濃度 (pH) の概念を導入した¹⁾。pH (ピーエイチと発音：日本工業規格による正式呼称) は、溶液中で溶媒和した水素イオンの相対活量の常用対数で示すものと定義され、環境や水質評価で重要な指標の一つである²⁾。pH 測定の方法論は、評価目的や計測上の制約に応じて、高精度なガラス電極法 (電気化学測定法) (図 1)、特殊な蛍光や吸収スペクトルを利用する光学式分光法、そして、比較的簡易な比色法 (指示薬法) などが用いられる²⁾。校正には、既知の pH 値を示す標準緩衝液を用いる。

いまから約 50 年前は、酸性雨の現象や人為起源の硫酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x) による環境影響評価の社会的関心が高まった時期であった。それを合理的に説明した化学指標の一つが、水循環における雨水の pH 観測値であった³⁾。現在では、全球的な海洋酸性化の評価と予測に関心が移行している³⁾。地球の水圏におけるサンプルの場合、通常の使用量は、mL (ミリリットル) スケールで扱うことが多い。ここでは、 μL (マイクロリットル) スケールといった極微量スケールの水素イオン濃度 (pH) 計測法にハイライトしてみたい。

近年の小惑星探査プロジェクトでは、炭素質小惑星リュウグウ (Ryugu) および小惑星ベヌー (Bennu) から地球帰還したサンプルを用いて、軽元素の存在度や各同位体組成、可溶性有機物の基礎記載等を行った⁵⁾⁶⁾。

これらの二つの小惑星は、太陽系の外縁部を起源とする共通性を有するが、各々異なる小惑星史の中で「水-鉱物-有機物相互作用」に起因する化学進化が起きていた事実が判明している。その可溶性有機物を対象とした初期分析では、サンプルからの水抽出液を用いて、極微量スケールの pH 計測を報告している⁷⁾⁸⁾。これらの水質の情報は、炭素質小惑星の母岩が経験した水質変成作用の最終段階の水の性状を色濃く反映していると考え



図 1 国産初ガラス電極式 pH メータの実物 (提供：HORIBA グループ)。

詳しくは、既報¹⁾を参照。(筆者撮影)。



図 2 米航空宇宙局 NASA による炭素質小惑星ベヌーからのサンプルリターンの現場の様子。

(写真・上) 探査機オシリス・レックス (OSIRIS-REx : Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer の略称) が撮影した小惑星ベヌー (Bennu) (©NASA), (写真・中) NASA Johnson Space Center でのキュレーションの様子 (© NASA/James Blair), (写真・下) 地球帰還したサンプル (©NASA/Erika Blumenfeld & Joseph Aebersold). 詳しくは、既報⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾を参照。

られる。

小惑星リュウグウ由来の水抽出液は、サンプリングサイト 1 で $\text{pH}=3.95 \pm 0.01$ 、サイト 2 で $\text{pH}=4.19 \pm 0.01$ であり、いずれも弱酸性を示した⁷⁾。一方、同一計測法で評価した小惑星ベヌーでは、弱アルカリ性 ($\text{pH}=8.23 \pm 0.02$) を示した⁸⁾。さらに、小惑星ベヌーはアンモニアなどを含む窒素成分に富んでいた⁶⁾。弱アルカリ性の水環境は、アルデヒド類のホルモース型反応による糖類生成を促進する潜在的因子となり、分子進化および有機物の多様性に影響を与えた可能性がある⁸⁾。

ここで用いられた極微量スケール水質計測法の要素技術は、将来の探査プロジェクトへの応用⁹⁾を含め、太陽系物質科学へのさらなる応用展開を期待される方法論である。

- 1) H. Kragh : S.P.L. Sørensen : *Foundations of Chemistry*, **27**, 237 (2025). 解説は、清水 栄 : *HORIBA Technical Report*, **3**, 60 (1991).
- 2) “理化学辞典”, 第 5 版 (岩波書店) (1998) ; 日本分析化学会編 : “環境分析ガイドブック”, (丸善) (2011).
- 3) e.g., GE Likens, FH Bormann : *Science*, **184**, 1176 (1974).
- 4) e.g., RA Feely, et al. : *Oceanography*, **22**, 36 (2009).
- 5) H Naraoka, et al. : *Science*, **379**, eabn9033 (2023).
- 6) DP Glavin, et al. : *Nature Astron.*, **9**, 199 (2025).
- 7) T Yoshimura, et al. : *Nature Commun.*, **14**, 5284 (2023).
- 8) Y Furukawa, et al. : *Nature Geosci.*, **19**, 19 (2026).
- 9) Y Oba, et al. : *Nature Commun.*, **14**, 3107 (2023).
- 10) DS Lauretta, et al. : *Meteorit & Planet Sci.*, **59**, 2453 (2024).

[海洋研究開発機構 高野 淑識]



ふたたび人生の転機をむかえて

鳥根大学の菅原庄吾先生からバトンをいただきました。東京大学の佐藤宗太と申します。菅原先生とは、今年、愛媛で開催された討論会で仲良くさせていただき、深夜にシジミラーメンを食べながら宍道湖のシジミのご研究について興味深いお話を伺ったことを思い出します。学会に赴いて対面でお会いできたからこそこの出会い、大切にしたいと思っています。

半年が過ぎた今、愛媛では想像もしなかった人生の転機をむかえ、明日から職種を変えるタイミングで筆をとっており、研究者人生を振り返っています。

思い返せば、中学の理科・高校の化学の恩師に研究の楽しさに気づかせてもらい、大学教員として化学の研究の道に入りました。有機/錯体合成化学に携わる中で、化学にとどまらず、生物・物理・数学・地球科学・薬学そして分析化学、と幅広い大学研究者との共同研究にのめり込み、異分野融合の重要性と楽しさを実感し、たくさんの共著論文を発表させていただきました。

10年ほど前、自分にしかできない研究を、という強い思いから、不安定ではあるけれど大規模な国家プロジェクトに携われる特任教員として、構造有機化学の分野に飛び移りました。分子構造解析を武器として、材料科学と分子科学をがっちりつなぐ研究を展開できました。今まで知らなかった学会に参加し、多くの初めて知る研究者と出会い、異分野・異文化の楽しさを感じることができました。

コロナ禍が始まった頃、もっと異質な分野との連携に魅力を感じ、東京大学社会連携講座「統合分子構造解析講座」の特任教授（今日までが現職）として、二十社におよぶ企業との産学連携活動に飛び移りました。大学とはだいぶ異なる企業の文化、しかも各社ごとに異なる文化との出会いは衝撃的でした。各社の研究に対する思惑はバラバラで、綿密に連絡をとり合う企業側研究者が百数十人にもものほり、各社に赴いて皆様に対面でお会いすることで、はじめて信頼関係を深め、仲良くなれたと感じています。講座参画企業のうち数社はJASIS（分析機器・科学機器総合展）に出展しており、分析化学との親和性が高まった中、ありがたいつながりを持たせていただき、本誌2023年12月号「こんにち」欄にて当講座をご紹介いただき、日本分析化学会にも入会させていただくことになりました。

研究面では、講座参画全社と進める非競争領域の研究、複数社と複数大学との共同研究、1対1の競争領域の研究を同時進行させながら、法務や知財戦略にも携わ

り、社会実装の成果が得られた際には積極的に広報することができた、充実した活動でした。教育面では、産学連携の成果を「産学連携で」アウトリーチ活動し、すぐ先の次世代を担う中高生が、リアルな研究の楽しさに触れる機会を設けられたと思っています。特に、昨年の名古屋工業大学で開催された年会でポスター発表したSSH（スーパーサイエンスハイスクール）校の生徒たちとは、彼らの探求学習を最先端の分析機器・解析知見でサポートする活動へと発展し、数多くの受賞に至ったこと、わが生徒のように嬉しかったです。対面でお会いできる学会の重要性を実感しました。

東京大学での特任教員としての雇用が通算10年に迫る中、無期転換できるポジションは無いために次の職について考えました。この制度が日本の科学技術・イノベーション創出にどれほどの貢献/損失をもたらしているか、不安定な有期で雇われながら嵐レベルの逆風の中をノーブレイクで駆け抜けることに心を決めた特任教員としては構ってられないので、ふたたびむかえた人生の転機にあたり、自分がどうあるべきか、に焦点をあてて悩みました。もちろん、ありきたりに大学や国研の研究職にも応募しましたし、そもそも採用されるか大きな不安もありました。自分にしかできない研究を中核に、大規模な産学連携や異分野の研究者・人とのつながりの醸成の実績、教育活動を活かすことが幸せな人生に大事な要素なのかな？ と思い定めました。

今日までは、産業界に一番近いアカデミアのポジションにいました。明日からは、アカデミアに一番近い産業界のポジションに、ふたたび飛び移ることにいたしました。人生で何度目かの異分野・異文化、人生初の異業種のお仕事ですが、ありがたいつながりを通じ、私にベストフィットした特殊なポジションと一緒に練って、超豪速でお認めいただきました。明日からも逆風の中、ちょっと怖い気持ちもあるけれど、楽しくパワフルに、日本の、ひいては世界の明るい分析化学の未来にむかい、まっしぐらに駆け抜けます！

今回は、株式会社プレッパーズの高橋 豊様をお願いいたしました。元日本電子株式会社のメンバーでもあり、これまでに楽しいたくさんつながりを持たせてもらいました。パワフルな生き方をとても尊敬しています！

〔東京大学、2025年12月より日本電子株式会社

佐藤 宗太〕

談 話 室

2025 年度のノーベル化学賞によせて

2025 年度のノーベル化学賞は業績「金属有機構造体 (MOF, Metal Organic Frameworks) の開発」を行った北川進氏ら 3 名に与えられた。スウェーデン王立科学アカデミーの発表によれば、MOF は気候変動対策での CO₂ の回収、プラスチック汚染の削減など、地球規模の課題の解決につながるという。すなわち、現代社会が希求する持続可能な社会の実現に貢献し得るという評価である。MOF は、今日まで広く使用されてきたゼオライトの性能・実績を凌駕するとの判断だった。したがって、今回のノーベル化学賞には、現代の世界が抱えた課題の解決への期待と希求が込められていた。

さて、北川氏の講演によれば、MOF は合成した当初 (1990 年代) はあまり注目されなかったという。

一方、ノーベル化学賞の共同受賞者 3 名中のメルボルン大学のロブソン教授は 1989 年に MOF を発表して、イオンの交換ができることや触媒化学に应用されることを実証し、カリフォルニア大のヤギー教授は MOF の実用性と産業への応用への可能性を提示した。

インターネットには、MOF の用途として『砂漠で水蒸気を捉えて、飲料水に使える』をも挙げられている。

ここで、IUPAC 中の PAC (=Pure and Applied Chemistry) とノーベル賞の選考基準との関係について考えてみたい。結論を先に書けば、『化学は本質的に純粋・基礎と応用のチームワーク』である。

今までのノーベル化学賞の日本人の受賞者である福井謙一 (1981)、白川英樹 (2000)、野依良治 (2001)、田中耕一 (2002)、下村脩 (2008)、鈴木章・根岸英一 (2010)、吉野彰 (2019)、北川進 (2025) の諸氏であるが、その大半が工学博士である。

日本の大学には理学部に化学科があり、工学部には応用化学科がある。前者は IUPAC の P (=純粋・基礎) に当たり、後者は A (=応用) に当たる。そして前者には「役に立たない化学 (=Pure Chemistry)」を誇示する伝統・常識さえある。そのことが上記の日本のノーベル化学賞者の種類に表われている感がある。

閑話休題：筆者のドイツ留学時 (1974~75)、研究室での雑

談中に「日本の大学には応用化学という学科があるようだが、『応用化学』はおかしい！」といわれたことがある。そのとき「IUPAC 中に P (純粋) と A (応用) があるではないか」と反論したが、ドイツ人の指摘は正しかった。すなわち、化学は帰納論的な学問であり、現象 (または化合物) の分析が基礎 (または純粋) 化学に当たるが、それは常に応用を前提にしている。日本の大学の「化学」は基礎・純粋 (=理学) と応用・実学 (=社会科学・環境科学など) に区別されているが、応用・実学は一体化して存在し、農・工の学部には農芸化学や応用化学などの学科名がある。そして、日本には農、工、薬などの博士号を持つ化学者が多くいる。この実態からは、上記のノーベル化学賞者 9 名中に農学博士や薬学博士などの化学者が皆無な方がむしろ奇異な感もする。なお、インターネットによれば、上記中の下村氏と鈴木氏は理学博士、根岸氏は Ph.D (ペンシルバニア大学) で、他の 6 名は工学博士または博士 (工学) である。

結語として：MOF には多孔性配位高分子 (PCP, Porus Coordination Polymer) の別名もある。MOF は錯体 (Complex) または配位化合物 (Coordination compound) のような構造体の化合物という意味を含めた名称・用語である。MOF 分子中の金属イオン (Metal ion) と有機化合物 (Organic compound) の組み合わせをかえれば、さまざまな機能を創出することが期待される。錯体または配位結合化合物は A. Werner (1913 年にノーベル化学賞受賞者) によって提唱された遷移金属化合物である。その錯体は当初から機能が期待されていた化合物であった。

さて、北川進氏は若年時からの錯体化学者であり、1990 年代の錯体化学会の科研費グループ研究 (特定領域研究) 「集積型金属錯体」の一員でもあった。MOF はその集積型金属錯体の研究領域の北川グループの課題から発したと考えられる。ノーベル賞の選考にはその時代の課題を提示・啓蒙する意図もあるようだが、2025 年度のノーベル化学賞からは、機能性の錯体化学 (Complex Chemistry) のパラダイムシフトが強く感じた。これをきっかけに、MOF とその関連化学の一層の飛躍・発展を切に願いたい。

〔奈良女子大学・奈良学園大学名誉教授 木村 優〕

インフォメーション

理事会だより (2025 年度第 5 回)

今年度より理事会参加を拝命し、慣れない環境に戸惑いながらも学会の最新情報を知ることができ、とても新鮮に活動させていただいていますので、それを少しでも皆さんに正確にお知らせできるよう下記のようにまとめましたので、少しのお時間をいただき、お付き合いいただきたいと思います。

2025 年度第 5 回理事会は 2025 年 12 月 22 日 (月) に対面およびオンラインのハイブリットで開催されました。

前回の議事録の確認を行った後、【本部活動、組織運営】、

【学術振興】、【学術会合】、【社会活動】、【会員・広報】、【その他】の議題にそって進行されました。

事務局より、11月末のキャッシュフローは先月より好転し、昨年・一昨年より預金残高は多いが、若干少なめなので万全を期して国際交流基金より3百万円を取崩すことが、異議なく承認されたとの報告がありました。

福井常務理事より、組織機構図を現在の運営に合わせるべく修正案の説明がありました。理事会・企画戦略会議の位置変更・会計監査会の削除のほか、協議会の名称を残すか、分析イノベーション交流会やダイバーシティ推進委員会の位置づけ等を決める必要があり、継続検討することとなりました。

事務局より、会費値上げ効果・会員数見込み・本部行事など予算作成前提の説明がありました。今期収支見込みの精度が不確かなこともあり試算が遅れているが、次回理事会には報告があるとのことでした。

会員の方に対する項目としてホームページについて事務広報担当より説明があり、ホームページの改善（全体の建付け作り直し、会員特典の紹介・学生向けPRなどに取組むことなど）、学会案内パンフレット改訂、及び学会ロゴ策定など取組事項が報告されました。主要行事は将来のものを早めに情報を欲しい、支部活動ヘリンク設定して情報を取り易くするべき、携帯端末の表示を改善すべきなど、他学会と比較して不十分な点の指摘があり、今後も広く意見を求めながら改善を進めていくこととなりました。

学術会合としては、まず、第86回分析化学討論会（2026年5/30-31 @久留米シティプラザ）の準備状況、実行委員会名簿、予算について井上理事より説明がありました。久留米市からの補助金を受ける予定で、久留米市内に宿泊する参加者が多いほど支援を受けやすいとのことなので、ご協力をお願いしたいと思います。

次に第75年会（2026年9/15-17 @東北大 新青葉山キャンパス）について珠玖理事から概要説明があり、異議なく了承されました。

来年度の第87回分析化学討論会（2027年5/20-21 @沖縄県市町村自治会館）についても説明があり、津越副会長の実行委員長選任が決定され、実行委員会メンバーと概要の説明がありました。室数の制限から会場が数か所になり、やや移動に時間を要する可能性があるが、可能な範囲との説明がありました。

以上、ホームページの改善、今後の討論会、年会の予定など報告いたしました。今後の皆様の研究、お仕事に少しでもお役に立てれば幸いです。

〔関東支部担当理事 敷野 修（パーキンエルマー合同会社）〕



第61回 X線分析討論会

2025年10月30日、31日の2日間、茨城県水戸市の水戸市民会館で第61回 X線分析討論会を開催した。本討論会は（公社）日本分析化学会 X線分析研究懇談会が毎年の秋主催している会議であり、茨城県での開催は初となった。一昨年度は東日本（東京）、昨年度は西日本開催（高知）にて開催され、本

年度は東日本開催の順にて実施した。（公社）日本化学会、（公社）応用物理学会ほか全24学協会による協賛と、X線分析研究と装置・機器周辺に関わる全15企業・団体と水戸観光コンベンション協会による協賛をいただき、プログラム集、要旨集への広告出稿や会場内での展示紹介により賑わいを加えていただいた。計167名の参加者を得て盛会裏に終えることができた。まずは、参加者の皆さま、関係者の皆さまに深くお礼申し上げます。

本年の討論会では次の6つの討論主題を設けて講演募集を行った。

1. X線、中性子、電子線等の様々な量子線による分析
2. X線分析と各種分析技術の融合による先端科学への応用
3. X線要素機器の開発とX線分析への展開
4. X線イメージングおよび顕微解析
5. X線吸収分光と電子分光（XAFS, EELS）
6. 表面分析（XPS, TXRF等）、その他

討論主題の1は討論会毎に変えているが、今回は茨城県開催であり、大強度陽子加速器施設J-PARCの地元ということで中性子をテーマに加えた量子線分析とした。さまざまな物質や材料の分析、科学的計測にX線や中性子が活用され、状態分析・構造解析や画像による情報表現や観察が威力を発揮し、先端的科学研究に役立てられていることが伺える。一方で、実験室系での精緻な装置開発やオンサイト分析、要素技術の開発、表面分析にも複数のグループが取り組んでおり、いかに高度なX線分析を実行するか、次元の異なる詳細なデータ、価値のある情報を取得するかといった工夫・開発が随所に見られ、この討論会の特徴があらわれている。

発表件数は、口頭発表19件（うち学生による発表10件）、ポスター発表51件（同25件）であり、これらに特別講演1件、依頼講演2件および浅田賞受賞講演（授与式を含む）1件を加え、2日間の合計で74件の研究報告がなされた。特別講演1は、国内の放射光軟X線分光の先駆けである兵庫県立大学の村松康司先生に講演いただいた。村松先生による放射光軟X線開拓の歴史とともに、さまざまな実用材料への展開について紹介いただいた。依頼講演1は茨城大学の大山研司先生に、中性子ホログラフィーに関する講演をしていただいた。X線では見えにくいボロンに対し、中性子をプローブとすることで結晶内のボロンの位置を可視化した研究を紹介いただいた。依頼講演2は、CROSS中性子産業利用推進センターの池田一貴先生から、中性子全散乱法による水素貯蔵材料の局所構造解析について講演いただいた。Rietveld解析では解析困難な“乱れた結晶構造”に対し、全散乱法からのアプローチが紹介された。

X線分析研究懇談会ではX線分析分野で優秀な業績をあげた若手に「浅田榮一賞」を授与している。本年は第19回となり、岡山理科大学の川本大祐先生に、討論会の場を借りて賞状と盾が授与された。受賞タイトルは「X線吸収分光法による固体表面に吸着した化学種の状態分析」であり、浅田賞受賞講演として、さまざまな固体（酸化物や炭酸塩）表面に対する溶存化学種の吸着現象をX線吸収分光法から解明した研究事例が詳細に説明された。

討論会恒例のミキサーは今年も1日目の講演終了後に同会場にて開催された。協賛企業からの広告料金によって多くを賄

えたことが大きく、改めて感謝申し上げたい。討論後のお疲れの時間に、学生を含む研究者や出展企業からも多く参加してくださり、交流が深まる様子が拝見できた。

ミキサーの企画として、学生奨励賞の受賞者発表を行った。学生奨励賞は口頭発表に2名、ポスター発表に3名に対し授与した。また、今年度は、最も優れた口頭発表とポスター発表それぞれに対し最優秀賞として表彰した。研究発表が目標となり研究のモチベーションアップにつながっていると思われ、よく勉強し、熱意をもって取り組んでいる学生が多い。

この夏の異常な暑さは10月に入ってから衰えなかったが、ようやく気温が下がってきたところで、結果的によい時期に開催できた。なお、次回(第62回)のX線分析討論会は島根で開催される予定である。

[第61回X線分析討論会実行委員長]

茨城大学大学院理工学研究科 佐藤 成男]

執筆者のプロフィール

(とびら)

木村-須田 廣美 (KIMURA-SUDA Hiromi)
公立千歳科学技術大学 (〒066-8655 北海道千歳市美々 758 番地 65)。東京水産大学大学院水産学研究科食品生産学専攻博士後期課程修了。博士(水産学)。《現在の研究テーマ》赤外分光法・ラマン分光法によるミネラル代謝評価法の開発。《趣味》インドアからアウトドアまで(写生・手芸・園芸・工作などのものづくり、金魚飼育、運動など)。
E-mail: kimurasu@photon.chitose.ac.jp

(ミニファイル)

宮部 寛志 (MIYABE Kanji)
立教大学理学部化学科(特別専任教授) (〒171-8501 東京都豊島区西池袋 3-34-1)。富山大学大学院理学研究科化学専攻修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》モーメント理論に基づく高性能液相分離系の化学現象解析機能開発。《主な著書》“キャピラリー電気

泳動法・イオンクロマトグラフィーの分析テクニック「第10節モーメント理論に基づくキャピラリー電気泳動の分離挙動解析」。(技術情報協会)。(2023年12月)。(ISBN: 978-4-86798-067-5 (第二版))。

E-mail: kmiyabe@rikkyo.ac.jp

(トビックス)

高野 淑識 (TAKANO Yoshinori)
国立研究開発法人海洋研究開発機構 (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15)。筑波大学第一学群自然科学類化学専攻。横浜国立大学大学院工学研究科物質工学専攻博士課程修了。博士(工学)。《現在の研究テーマ》自然界の有機物を分子レベルで観る新しい分析法開発と応用。《主な著書》“地球と宇宙の化学事典”, (分担執筆), (日本地球化学会編), (朝倉書店)。

(リレーエッセイ)

佐藤 宗太 (SATO Sota)
日本電子株式会社ソリューション開発セン

ター・シニアスペシャリスト; 分子科学研究所・客員教授(併任) (〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-6-2 三井リンクラボ柏の葉 1 6F FS CREATION)。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士(理学)。甲種危険物取扱者, 甲種防火管理者。《現在の研究テーマ》産学連携による分子構造解析手法の開発と社会実装。《趣味》ザリガニとか拾ってきた生き物を飼うこと。

E-mail: satosota@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

(ロータリー・談話室)

木村 優 (KIMURA Masaru)
奈良女子大学・奈良学園大学名誉教授。東北大学大学院博士課程修了。理学博士。《現在の研究テーマ》溶液内の化学反応機構。《主な著書》“分析化学の基礎”, (裳華房)。《趣味》散歩と旅行。

E-mail: mkiimu.1936@docomo.ne.jp

特集：持続可能な社会に貢献するガスクロマトグラフィーとGC誕生70年のあゆみ

目次

「持続可能な社会に貢献するガスクロマトグラフィーとGC誕生70年のあゆみ」の 刊行にあたって	植田郁生	89
総合論文		
ビールの香りを構成する閾値以下成分と、ビール／魚介乾物間の 香味相性に影響する微量成分	岸本 徹	91
揮発性有機化合物抽出用 SPE 型捕集デバイス	植田郁生・中神光喜・齊戸美弘	103
シリコンマイクロバルブを用いる新たなキャピラリー GC 用流路切換えシステム	芝本繁明・佐藤彩夏・盧 文剣	109
報 文		
メタボロミクスのための水素ガスを移動相とする GC/MS の最適化とデータベースの作成	宮川浩美・宿里ひとみ・安藤 晶・古野正浩・福崎英一郎	119
触媒マイクロリアクター及び複合炭化水素中の元素選択的検出技術のグリーントランス フォーメーションへの応用	高倉誠人・石本実里・宮林花道・鈴木崇真・服部由季	127
ノート		
ポストカラム反応 GC を用いる有機混合標準ガスの濃度値付け範囲の拡張	佐々木智啓・芳村智孝・鳴上翔士・渡邊卓朗	135
GC-TOF-MS での一斉分析における機械学習を用いた定性解析法の開発	久保 歩・窪田 梓・生方正章	141
アナリティカルレポート		
SPME を用いる炊飯米揮発成分の抽出及び GC/MS による 2023 年産米の測定 ... 浮田匡章・榊原賢人・山口陽丈・宇野葉月・宮越優奈・山田美空・小林麻子・内村智博		149
簡易熱抽出-GC/TCD 法を用いる純正プリンターインクと互換インクの判別	中村貞夫・加賀美智史	155
キャピラリー・フロー・テクノロジーを活用した香気・異臭成分の GC/MS 分析	姉川 彩・中村貞夫	159
「分析化学」特集“イオンクロマトグラフィーの技術進展と新規開発”の論文募集		167
「分析化学」年間特集“波”論文募集		168
“第 25 回初執筆論文特集”募集のお知らせ		170
テンプレートによる投稿要領		171
「分析化学」に投稿される皆様へ		172

「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。

- ◇今号の「とびら」は、北海道支部副支部長の木村-須田廣美先生にご執筆いただきました。昨今は生成 AI が世の中を席卷しており、分析化学においてもデータ解析などに導入されつつあります。使い方によっては大変便利ではありますが、もはや必要不可欠とも言えるかもしれません。一方で、データを前にして頭を悩ませたり、試料調製のために試行錯誤したり…そこに宿る時間こそが、分析化学の基盤であり、楽しさでもあるのではないかと改めて考えさせられました。
- ◇「リレーエッセイ」では、佐藤宗太先生が「ふたたび人生の転機をむかえて」と題し、これまでの研究領域や所属の変化、そしてこれからの異分野への挑戦につきまして率直に綴っていただきました。分野や立場を越えて歩みを進める姿は、年度の節目を迎える三月にあたって、多くの示唆を与えてくれるように感じます。
- ◇三月は、終わりの時期であると同時に、新たな挑戦への準備の時期でもあります。この「ぶんせき」誌が、みなさまの新たな挑戦のきっかけとなれば幸いです。

(O.S.)

〈とびら〉

万博の熱気を支部の力に
— 地方から分析化学の芽を育てる — …… 森内 隆代

〈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
CE-MS のメタボローム測定への使用事例 …… 平山 明由

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

〈話 題〉
武力紛争時に生じる環境汚染の計測と除染方法 …… 梅津 茜

〈創案と開発〉
化学者にもできるレシオメトリック蛍光イメージング
…………… 仁子 陽輔

◇ 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
ニウム 国 産 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 3 号 (通巻 615)

2026 年 3 月 1 日印刷

2026 年 3 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。

お知らせ

会員各位

会員各位からの投票に基づき、下記の方々を2026~2027年度代議員として選任いたしました。「公益社団法人日本分析化学会 代議員選挙規則」第10条に基づき公告します(代議員選挙規則 第10条 会長は、選任した代議員を、すみやかに本会会誌に公告しなければならない)。

会長 山本博之

青木 寛(産 総 研)	旭井 由紀(富士フィルム和光純薬)	浅岡 聡(広島大院統合生命科学)
浅川 樹子(島津製作所)	壹岐 伸彦(東北大院環境)	井倉 則之(九大院農)
石田 康行(中部大応用生物)	石濱 泰(京大院薬)	板橋 大輔(日本製鉄)
稲川 有徳(宇都宮大工)	植田 郁生(山梨大工)	上野 貢生(北大院理)
内村 智博(福井大工)	梅木 辰也(佐賀大理工)	梅村 知也(東薬大生命科学)
江坂 幸宏(岐阜薬大薬)	江藤真由美(大分大理工)	遠藤 昌敏(山形大院理工)
岡村 浩之(原子力機構)	岡本 力(日本製鉄)	小熊 幸一((元)千葉大工)
越智 一志(住友金属鉱山)	恩田 健(九大院理)	加賀谷重浩(富山大工)
勝又 啓一(製品評価技術基盤機構)	金澤 秀子(慶應義塾大)	金子 聡(三重大工)
川崎 英也(関西大化学生命工)	神崎 亮(鹿児島大院理工)	岸川 直哉(長崎大院医歯薬学総合)
北川 文彦(弘前大院理工)	吉川ひとみ(科 警 研)	木村-須田廣美(千歳科技大)
紀本 岳志(紀本電子)	金 継業(信州大理工)	熊谷 礼子(DOWAテクノリサーチ)
倉光 英樹(富山大理工)	桑原 直子(新潟薬大)	小谷 明(大阪医薬大薬)
齋藤凜太郎(ジエールサイエンス)	坂入 正敏(北大院工)	坂元 秀之(日立ハイテクアナリシス)
座古 保(愛媛大院理工)	佐藤 久(北大院工)	澤津橋徹哉(三菱重工業)
椎木 弘(阪公大院工)	四宮 一総(日大生産工)	渋谷 雅美(埼玉大院理工)
白井 理(京大院農)	末吉 健志(北里大理工)	鈴木 哲也(日鉄テクノロジ)
諏訪 雅頼(阪大院理)	宗林 由樹(京大化研)	高橋 秀明(東レリサーチセンター)
高橋由紀子(長岡技科大)	高橋 豊(フレッパス/EMSソリューションズ)	武居 尚英(三菱ケミカル)
田中 佑樹(千葉大院薬)	田村 耕平(日本分光)	辻 幸一(阪公大院工)
角田 欣一((元)群馬大理工)	壺井 基裕(関学大生命環境)	坪井 泰之(阪公大理工)
津村 徹(トクヤマ)	轟木堅一郎(静岡県大薬)	豊田 太郎(東大総合文化)
永井 秀典(産 総 研)	仲川 清隆(東北大院農)	永嶋 仁(JFEテクノリサーチ)
永谷 広久(金沢大理工)	中村 圭介(産 総 研)	中村 洋(東理大)
中山 紀行(レゾナック)	西 直哉(京大院工)	西 博行(安田女子大薬)
西尾 友志(堀場アドバンスドテクノ)	西垣 敦子(東邦大理工)	西澤 精一(東北大院理)
西村 一彦(北海道立衛生研)	西山 徹男(アジレント・テクノロジー)	丹羽 修(埼玉工大名誉教授)
丹羽 啓誌(東海技術センター)	沼子 千弥(千葉大院理)	萩森 政頼(武庫川女子大薬)
長谷川 浩(金沢大理工)	林 英男(都産技研センター)	巴山 忠(福岡大薬)
半田友衣子(埼玉大院理工)	久本 秀明(阪公大院工)	火原 彰秀(東科大院理)
藤井 健太(山口大院創成科学)	藤浪 真紀(上智大理工)	藤村 務(東北医薬大薬)
古庄 義明(ジエールサイエンス)	堀池 則子(旭化成)	本田 俊哉(日立製作所)
水口 仁志(徳島大院社会産業理工)	南 豪(東大生産技術研)	三原 義広(北海道科大薬)
望月 直樹((元)横浜薬大)	森 健(九大院工)	森田耕太郎(東邦大理工)
森本 稔(鳥取大研究推進機構)	矢嶋 摂子(和歌山大システム工)	安井 孝志(名工大生命・応用化学)
安川 智之(兵庫県大院理)	山田 公美(住友化学)	山本 孝(徳島大院社会産業理工)
山本 雅博(甲南大理工)	由井 宏治(東理大理工)	横山 崇(岡山理大理工)
李 宣和(東北大院薬)	渡辺 壱(フロンティア・ラボ)	渡邊 俊哉(日立ハイテク)

公益社団法人日本分析化学会 第15回定時総会開催のお知らせ

公益社団法人日本分析化学会
会長 山本 博之

公益社団法人日本分析化学会定款第17条に基づき、第15回定時総会を下記のとおり開催いたします。本会は代議員制を採用しており、代議員をもって法律上の社員としておりますので、代議員以外の会員の方々には議決権はありませんが、定時総会に出席して意見を述べるすることができます。今回はWeb会議方式で開催しますので、ご出席くださいますようお願い申し上げます。

なお、ご出席の場合は、e-mailにて、会員氏名、会員番号、連絡先（住所、e-mailアドレス）を明記のうえ、4月3日（金）までに下記問い合わせ先にお送りください。

第15回定時総会

期日 2026年4月24日（金）14時～16時

会場 Web会議（日本分析化学会会議室）

議案

1. 2025年度事業報告および決算報告承認の件
2. 役員の一部辞任および2026～2027年度役員承認の件
3. 定款の一部変更承認の件
4. 永年会員推薦承認の件
5. 2026年度事業計画および収支予算報告の件

問合せ先 （公社）日本分析化学会総務課

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

日本分析化学会第75年会

オンライン講演申込

日本分析化学会第75年会は下記のように開催します。本年会では日本分析化学会用にカスタマイズされたオンライン登録システム（Web）を使用します。講演募集記事は本誌5月号の「お知らせ」欄に掲載の予定です。なお、4月号にも簡略版に掲載の予定です。

本年会の講演申込および講演要旨入力はすべてオンライン（Web）上から申込者が行う形式です。講演申込のスケジュールは下記を予定しております。

講演要旨集はWeb上での電子配布といたします。講演要旨は1講演A4版1頁です。詳細は本誌5月号および年会ホームページ（4月中旬に公開予定）でお知らせいたします。

記

期日 2026年9月15日（火）～17日（木）（通常と曜日が異なりますので、ご注意ください）

会場 東北大学青葉山新キャンパス〔仙台市青葉区荒巻字青葉468-1〕

講演申込開始 4月28日（火）予定

講演申込締切 6月3日（水）

要旨本文締切 7月8日（水）

参加登録費 予約：会員12,000円、学生会員4,000円、会員外24,000円、会員外学生9,500円〔当日：会員15,000円、学生会員6,000円、会員外27,000円、会員外学生11,500円〕

懇親会参加費 予約：一般10,000円、学生4,000円〔当日：一般12,000円、学生5,000円〕

日本分析化学会ホームページ <https://www.jsac.jp>

2026年度CERIクロマトグラフィー分析賞 受賞候補者の推薦

液体クロマトグラフィー（LC）研究懇談会（以下、LC懇）は、2026年度のCERIクロマトグラフィー分析賞受賞候補者の推薦を受け付けます。LC懇会員で、標記候補者の推薦を希望される方は、下記の規程（抜粋）を参照のうえ、推薦資料提出先にお申し出ください。受賞者には、LC懇の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」（通巻第13号、2026年12月15日発行予定）への業績投稿とともに、第32回LC&LC/MSテクノプラザ（2027年1月を予定）での受賞講演を行っていただきます。

第1条 本賞は、LCを利用した研究分野で優秀な研究成果を挙げた者を対象に、年1件以内に授与する。

第3条 受賞者の資格に年齢は問わないが、LC懇の会員であることが望ましい。

また、受賞者の研究成果は、既印刷のもので、少なくともその一部が（公社）日本分析化学会の機関誌もしくは学術刊行物に掲載されたものであることを要する。

第7条 賞の授与は、LC&LC/MSテクノプラザにおいて行う。受賞者には、賞牌および賞金（10万円）を授与する。

提出資料 推薦者（会員番号明記）は、A4判サイズに横書きで記入した以下の4種類の資料（各1通）を1ファイルにまとめ、2026年8月末日までに下記提出先に電子メールで送付する。①候補者の生年月日および高校卒業以後の履歴書、②推薦理由書、③研究業績名（40字以内）およびその概要、④研究業績リスト：表題、全著者名（受賞候補者にアンダーライン）、雑誌名、巻数、掲載ページ数、掲載年をこの順に記載したもの、⑤その他、適当と思われる資料（1件）を提出してもよい。

推薦資料提出先 CERIクロマトグラフィー分析賞係

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

2026年液体クロマトグラフィー 科学遺産候補の推薦

LC研究懇談会会員で、LC科学遺産認定候補の推薦を希望される方は、下記の規程（抜粋）およびLC研究懇談会ホームページを参照のうえ、2026年8月末日までに推薦書類を提出先にお送りください。なお、認定が決定されたLC科学遺産については、LC懇の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」通巻第13号（2026年12月15日発行予定）への投稿とともに、第32回LC&LC/MSテクノプラザ（2027年1～2月を予定）において受賞業績の概要発表をしていただきます。

第2条 「液体クロマトグラフィー科学遺産」とは、日本における液体クロマトグラフィー（LC）の発展にとって、歴史的な観点から顕著な貢献があったと認められるものを指す。

2 「液体クロマトグラフィー科学遺産」は、年度ごとに1件以内を認定する。

3 装置・器具類においては、その動作原理が日本初もしくはそれに準じたものであること、またはその性能が従来のものより格段に優れていることを要する。

4 技術・方法においては、従来のものより効率、再現性、操作性などが格段に優れていることを要する。

5 無形遺産については、当該分野の維持・発展におい

て顕著な社会的あるいは歴史的貢献と認定されるもの。

推薦書類 A4判スペースに横書きで記入した以下の書類（各1通）を、1ファイルにまとめたもの。①推薦理由書（LC懇会員番号明記）、②LC科学遺産候補の名称（40字以内）とその概要、③LC科学遺産所有者名、④その他、適当と思われる資料（1件）を提出してもよい。

提出先 LC科学遺産認定委員会
[E-mail: nakamura@jsac.or.jp]

2027年液体クロマトグラフィー 努力賞候補者推薦について

本賞は、液体クロマトグラフィー（LC）研究懇談会（以下、LC懇）が授与する褒賞で、LCに関する研究・技術が独創的であり、将来を期待される研究者・技術者を授賞の対象としております。適当な候補者がおられましたら、下記要領にてご推薦またはご応募ください。受賞者には第32回LC & LC/MSテクノプラザ（2027年1月を予定）における受賞講演、ならびにLC懇の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」（通巻第13号、2026年12月15日発行予定）への業績投稿を行っていただきます。不明な点は下記にお問い合わせください。

受賞資格 LC懇の個人会員（会員番号明記）で、2027年4月1日現在で満50歳程度まで。

提出資料 以下の①～③を1ファイルにまとめ、下記提出先に電子メールで添付。①推薦書または自薦書（A4判1枚に生年月日、履歴、受賞の対象となる研究題目）、②推薦または応募理由書（A4判を縦に使用し、1行45字、40行程度で業績説明と主要論文リストを合わせて3枚以内）、③説明資料1件（任意。特に重要な論文の別刷PDF、その他審査の参考となる資料等）。

推薦・応募締切 2026年8月末日

提出・問合せ先（公社）日本分析化学会・LC懇
[E-mail: nakamura@jsac.or.jp]

2026年 POTY 賞受賞候補者の推薦

液体クロマトグラフィー（LC）研究懇談会（以下、LC懇）は、2026年POTY（Person of The Year）賞受賞候補者の推薦を受け付けます。POTY賞はLC懇の発展に大きく貢献した者に授与しますが（副賞1万円、年度1件以内）、CERIクロマトグラフィー分析賞または液体クロマトグラフィー努力賞を既に受賞した方は授与の対象とはしません。推薦を希望される方は、下記1.と2.に留意され、資料を電子ファイル（1ファイル）で提出してください。なお、受賞者にはLC懇の電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」（通巻第13号、2026年12月15日発行予定）への投稿とともに、第32回LC & LC/MSテクノプラザ（2027年1月を予定）において受賞講演を行っていただきます。

1. 受賞者の年齢は問わないが、LC研究懇談会の会員であることが望ましい。
2. 推薦者（または自薦者）は、LC研究懇談会の個人会員とする。

提出資料 推薦者等は、A4判サイズに横書きで記入した以下の①～③の資料を、2026年8月末日までに下記提出先に電子メールで送付してください。①履歴書（生年月日、現住

所、勤務先と連絡先、高校卒業以後の履歴を含む）、②推薦理由書、③貢献業績名（40字以内）およびその概要。

資料提出先 LC懇 POTY賞係 [E-mail: nakamura@jsac.or.jp]

2026年度啓育指導賞受賞者募集

このたび、液体クロマトグラフィー（LC）研究懇談会では、昨年創設した啓育指導賞の受賞者を2026年度も募集いたします。本賞の性格、受賞者の資格、推薦などは「啓育指導賞授賞規定」（抜粋）により、以下のように定められております。

第2条（本賞の性格）LC研究者の啓育指導とLC研究懇談会の発展に、大きく貢献した者に授与する。

第3条（受賞者の資格）年齢は問わないが、LC研究懇談会の個人会員であることを要する。

第5条（受賞候補者の推薦）推薦者は、LC研究懇談会の個人会員とする。

第7条（賞の授与）LC & LC/MSテクノプラザにおいて行い、受賞者には賞牌および副賞1万円を授与する。

つきましては、受賞候補者の推薦（自薦を含む）を希望される方は、推薦理由および候補者の略歴を含む推薦書（1ファイル）を下記送付先宛てに電子メールでお送りください。なお、受賞者には電子ジャーナル「LCとLC/MSの知恵」通巻第13号（2026年12月15日発行予定）に業績の紹介をお願いいたします。

送付先 LC研究懇談会 [E-mail: nakamura@jsac.or.jp]

応募締切 8月31日（月）17時

2026年度「ぶんせき講習会」（基礎編その1）

「分析における統計手法

～統計の基礎と統計手法の実際について～

主催（公社）日本分析化学会近畿支部、近畿分析技術研究懇話会

協賛（公社）化学工学会関西支部、（一社）近畿化学協会、（公社）日本化学会近畿支部、（公社）有機合成化学協会関西支部、（公社）高分子学会関西支部、（一社）日本鉄鋼協会、（公社）日本金属学会関西支部、関西分析研究会

近年の分析機器は高性能化が進み、その操作は簡便化しています。このため初心者でも測定が容易となった反面、分析機器がブラックボックス化し、コンピュータ処理された数値として測定データが出力されることが多いため、その値が意味あるものかを吟味することや有効数字を考慮することが少なくなったように見受けられます。

そこで本講習会では、主に分析初心者および統計に関して再度学習したい方を対象に、分析化学の基礎である「有効数字、測定データの統計処理」の講義と演習を企画しました。これにより統計に関する基礎を習得できます。

期日 2026年5月15日（金）9.30～16.50

（受付9.00～）

会場 大阪公立大学 I-site なんば+オンライン（Zoom）〔大阪市浪速区敷津東2-1-41

<https://www.omu.ac.jp/isite/access/>〕

講習内容 統計に関する基礎的な演習と講義

対象者 これから分析化学に携わる初心者（新入社員あるいは研究室配属直後の学生）や「有効数字、測定データの統計処理」を学び直したい方

講習プログラム

本講習会の開催にあたって (9.30~9.40)

1. データ取扱いの初歩—計測と有効数字— (9.40~10.30)
(兵庫県大院理) 磯崎勇志
2. 繰り返しデータの統計の基礎—誤差と信頼区間—
(10.45~11.45)
(京大院工) 横山悠子
3. 各種検定の考え方と実際 (13.15~14.45)
(神大院海) 貝野友祐
4. 最小二乗法によるデータ解析 (15.00~16.20)
(高エネ研) 武智英明
5. 終わりの挨拶アンケート回答・回収 (16.20~16.50)

*参加者には事前に電子メールにてPDF資料(当日のテキストと演習問題を含む)のダウンロード方法に関する案内および受講方法の詳細を記したメールを送付します。

*演習問題は、当日に講師が講習にて解答を解説します。

*演習問題では、関数電卓を使用いたしますので、各自でご用意ください。なお、書籍「実験データを正しく扱うために」(化学同人)を参考図書としています。

申込締切 4月24日(金)、定員(現地50名、オンライン100名)。お申込受付は先着順とし、定員になり次第締め切ります。

参加費 主催・協賛団体所属会員6,000円、学生2,500円、会員外10,000円

申込方法 参加を希望される方は、近畿支部HP <http://www.bunkin.org/> から本講習会のページに入ってください、【参加申込フォーム】にてWebからお申し込みください。

*お申込み後、自動返信メールが届きましたら、開催日までに参加費のお支払いをお願いいたします。参加費は銀行口座(りそな銀行御堂筋支店 普通預金 No.2340726、名義:公益社団法人日本分析化学会近畿支部)にお振り込みください。

申込先 〒550-0004 大阪市西区朝本町1-8-4 大阪科学技術センター6階 (公社)日本分析化学会近畿支部 [電話:06-6441-5531, FAX:06-6443-6685, E-mail:mail@bunkin.org, 近畿支部HP:<http://www.bunkin.org/>]

問合せ先 諏訪雅頼 (大阪大学)

[E-mail:msuwa@chem.sci.osaka-u.ac.jp]

第25回生涯分析談話会へのお誘い

主催 生涯分析談話会

協賛 LC研究懇談会

第86回分析化学討論会実行委員会(高椋利幸実行委員長)のご配慮により、標記談話会恒例の講演会を討論会の前日に以下の要領で開催できることとなりました。

日時 2026年5月29日(金)16時~17時

場所 久留米シティプラザ(第86回分析化学討論会の開催場所)4階小会議室

講師 山口政俊先生(福岡大学名誉学長)

講演題目 薬学領域における分析化学の課題(仮)

情報交換会 18時から焼鳥心(こころ)(久留米シティプラザから徒歩2分)にて〔福岡県久留米市六ツ門町22-5〕。

参加費 5,000円(予定)

参加申込締切 5月1日(金)

詳細が分かり次第、LC研究懇談会ホームページ(<https://www.lckon.org/>)に随時掲載しますので、下記の現地世話人または全国幹事宛に奮ってメールでお申し込みください。

生涯分析談話会・会長 中村 洋

参加申込先

(現地世話人) 福岡大学薬学部 吉田秀幸

[電話:092-871-6631(内線)6618, E-mail:hyoshida@fukuoka-u.ac.jp]

(全国幹事) 伊藤一明 [E-mail:itok1481@gmail.com]

2026年度LC/MS分析士
五段認証試験実施のお知らせ

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7月14日(火)14時~15時30分

会場 日本分析化学会会議室〔東京都品川区西五反田1-26-2五反田サンハイツ303号室〕

五段資格のイメージ 「分析士を育成・指導できるレベル(師範)、論文の査読・指導、学位論文の審査、国際会議において存在価値が評価される質疑応答ができる。」

分析士五段認証試験 分析士五段試験では書類選考試験(事前提出)、筆記試験(記述式)および面接試験を総合して合格を決定します。書類選考用資料(体裁は自由)には、①氏名、②生年月日、③現職、④学歴、⑤職歴、⑥LC/MSに関する研究・業務経験、⑦論文発表(適当数)、⑧学位の有無、⑨講習会・講演会における講師等の実績、⑩論文査読の経験、⑪学位論文審査の経験、⑫組織委員・実行委員等の実績、⑬国際会議における座長・依頼講演等の実績、⑭LC/MS分析士四段の登録番号、⑮その他、特記事項、をこの順に記載して1ファイルとし、申込締切日までに下記資料送付先にお送りください(お送りいただいた資料は本認証試験以外の目的には使用しません)。筆記試験には、与えられた課題に対してご自身の考えを問う問題、が出題され45分以内に解答していただきます。面接試験は筆記試験後に30分程度行います。

受験料 11,000円(合格者は登録料7,700円を別途申し受けます)

受験資格 受験できる方はこれまでに行われたLC/MS分析士四段試験に合格、登録された方に限ります。

申込方法 ①受験料を銀行振込後、資料送付先に書類選考用資料をメールに添付して提出ください。

申込締切 6月30日(火)

振込銀行口座 りそな銀行五反田支店 普通預金0802349、名義:(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。なお、一度振込いただいた受験料は返却しません。試験が中止された場合は、次回の受験料を免除します。

資料送付先・問合せ先 (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・分析士認証試験係
[E-mail:nakamura@jsac.or.jp]

2026年度LC/MS分析士
四段認証試験実施のお知らせ

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7月28日(火)14時~15時30分

会場 日本分析化学会会議室〔東京都品川区西五反田1-26-2五反田サンハイツ303号室〕

四段資格のイメージ 「学会発表、投稿を通して、技術的議論が行え、講習会の講師が務まるレベル。また、当該分析・測定技術に関する英語の文献を適切に理解し、博士の学位に相当する学識経験を有する。」

分析士四段認証試験 分析士四段試験では書類選考試験(事前提出)と筆記試験(記述式)とを総合して合格を決定します。書類選考用資料には、①氏名、②生年月日、③現職、④学歴、⑤職歴、⑥LC/MSに関する研究・業務経験、⑦論文

お知らせ

発表（適当数）、⑧口頭発表（適当数）、⑨学位の有無、⑩LC/MS分析士三段の登録番号、その他、特記事項、をこの順に記載して1ファイルとし、申込締切日までに下記資料送付先にお送りください（お送りいただいた資料は本認証試験以外の目的には使用しません）。筆記試験には、1) 英文和訳問題、2) 与えられた課題に対してご自身の考えを問う問題、の2題が出題され90分以内に解答していただきます。受験料 9,900円（合格者は登録料 6,600円を別途申し受けま

す）
受験資格 受験できる方はこれまでに行われたLC/MS分析士三段試験に合格し、登録された方に限ります。

申込方法 ①受験料を銀行振込後、資料送付先に書類選考用資料をメールに添付して提出ください。

申込締切 7月13日（月）

振込銀行口座 りそな銀行五反田支店 普通預金 0802349、名義：（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。なお、一度振込いただいた受験料は返却しません。試験が中止された場合は、次回の受験料を免除します。

資料送付先・問合せ （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・分析士認証試験係
[E-mail: nakamura@jsac.or.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。

電子機器トータルソリューション展 2026

主催 （一社）日本電子回路工業会

期日 2026年6月10日（水）～12日（金）

会場 東京ビッグサイト東展示棟

ホームページ

<https://www.jpccashow.com/show2026/index.html>

連絡先 電子機器トータルソリューション展 2026 運営事務局
[電話：03-6675-6809, E-mail: jpcca@shoei-bijutsu.co.jp]

第38回バイオメディカル分析科学シンポジウム

主催 BMAS 実行委員会

期日 2026年9月3日（木）・4日（金）

会場 山口東京理科大学

ホームページ

<https://sites.google.com/view/bmas2026>

連絡先 〒756-0884 山口県山陽小野田市大学通1-1-1 山口東京理科大学薬学部 生命物理化学分野 宮本和英
[E-mail: bmas2026yamaguchi@gmail.com]

「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24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）

「分析化学」の掲載料についてのお知らせ

「分析化学」誌では、2020年4月より論文掲載料を以下の計算式にしたがってお支払いいただき、pdfファイルを進呈することになりました。なお、論文の別刷を希望される場合は、別途別刷頒布料金をお支払いいただくことにより購入することができます。

掲載料金計算式（P：印刷ページ数）（単位：円）

会員の場合：30,000 + 5,000 × (P - 4)（印刷ページ数が14ページ以上は一律80,000円）

会員外の場合：40,000 + 5,000 × (P - 4)（印刷ページ数が14ページ以上は一律90,000円）

*上記に消費税がかかります。

ぶんせき誌「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) 分析に必要となる試薬や水および雰囲気などに関する情報・解説、
 - 5) 前処理や試料の取扱い等に関する情報・解説・注意事項、
 - 6) その他、分析機器の性能を十分に引き出すために有用な情報など
3. 新規性：本記事の内容に関しては、新規性は一切問いません。新規の装置や技術である必要はなく、既存の装置や技術に関わるもので構いません。また、社会的要求が高いテーマや関連技術については、データや知見の追加などにより繰り返し紹介していただいても構いません。
4. お問い合わせ先：日本分析化学会『ぶんせき』編集委員会
[E-mail : bunseki@jsac.or.jp]

初めて書く論文は母語の日本語で！ “第25回初執筆論文特集”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。

【ア行】

ヴァーダー・

サイエンティフィック(株)……表紙 4

(株)エス・ティ・ジャパン……A5

【カ行】

(一社)化学情報協会……表紙 3

【サ行】

(株)島津製作所……表紙 2

西進商事(株)……カレンダー裏

(株)ゼネラルサイエンス

コーポレーション……A2

【タ行】

(株)デジタルデータマネジメント……A6

【ナ行】

日本分光(株)……A3

【ハ行】

ビー・エー・エス(株)……A12

フリッチュ・ジャパン(株)……A7

フロンティア・ラボ(株)……A11

【ラ行】

(株)リガク……A1

製品紹介ガイド……A8~9

分析試料の前処理作成用粉碎機

FRITSCH GERMANY



ドイツ フリッチュ社製

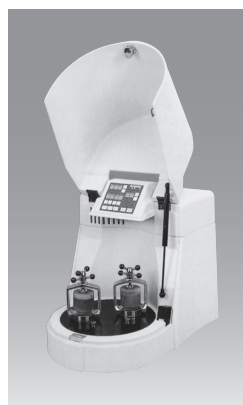
ミニミル P-23



- ナノ粒子を1-2分で作成
- 処理量0.1-5mlの少量試料作製に最適
- 重量7kg、寸法20×30×30cmと極めて小型
- 容器。ボールの材質はジルコニア、ステンレス、プラスチック
- 研究室だけでなく、DCを使って外部での使用も
- 更に、グローブボックス内での使用も可能
- マイクロチューブにも対応。Max 2ml×6個

ドイツ フリッチュ社製

遊星型ボールミル
Classic Line P-7



- Fritsch 伝統の遊星型ボールミルの小型タイプ
- 容器のサイズは45ml、または12ml。2個搭載可能
- 容器、ボールの材質はメノウ、ジルコニア等7種類
- ポット回転数はMax1,600 rpmの強力パワー
- 試料作製だけでなく、本機目的の研究開発用機器としてもご使用いただけます

カタログおよび価格表は弊社にお問い合わせください

フリッチュ・ジャパン株式会社

本社 〒231-0023 横浜市中区山下町252
 大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島7-2-7
 福岡営業所 〒819-0022 福岡市西区福重5-4-2

info@fritsch.co.jp <https://www.fritsch.co.jp>

Tel (045)641-8550 Fax (045)641-8364
 Tel (06)6390-0520 Fax (06)6390-0521
 Tel (092)707-6131 Fax (092)707-6131

原子スペクトル分析
<p>各種水銀測定装置 日本インスツルメンツ(株) 電話075-748-6200 営業グループ https://www.hg-nic.co.jp</p>
分子スペクトル分析
<p>FTIR用アクセサリーの輸入・製造の総合会社 市販品から特注まであらゆるニーズに対応 (株)システムズエンジニアリング https://www.systems-eng.co.jp/ E-mail: info@systems-eng.co.jp</p>
クロマトグラフィー
<p>ナノカラムからセミ分取カラムまで、豊富なサイズ 逆相 HPLC 用カラム L-column シリーズ GC 用大口径中空カラム G-column (一財)化学物質評価研究機構 クロマト技術部 www.cerij.or.jp E-mail: chromat@ceri.jp</p>
<p>ムロマックミニカラム 精度の高いクロマトグラフィー ムロマックガラスカラム イオン交換反応を可視化 室町ケミカル(株) 電話 03-3525-4792 https://www.muro-chem.co.jp/</p>
電気化学分析
<p>電位差自動滴定装置 カールフィッシャー水分計 最大5検体同時測定, FDA Par11対応, DI 対策も安心 メトロームジャパン(株) 電話 03-4571-1743 https://www.metrohm.jp</p>
<p>ポテンショスタット・ガルバナスタット 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) https://www.metrohm.jp</p>
質量分析
<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 https://www.jeol.co.jp/</p>
<p>MALDI-TOF (/TOF), 迅速微生物同定, ESI-QTOF, FT-ICR, LC-MS/MS, GC-MS/MS, SPR 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>

熱分析
<p>反応危険性評価。SYSTAG社 恒温壁熱量計RADEX 熱暴走リスクを短時間でスクリーニング (株)東京インスツルメンツ 電話 03-3686-4711 https://www.tokyoinst.co.jp</p>
分析装置・関連機器
<p>ユニット機器型フローインジェクション分析システム AQLA-700 測定項目やご使用環境にあわせて機器の組合せが可能 (株)アクアラボ 電話 042-548-2878 http://www.aqualab.co.jp</p>
<p>XRF分析用ガラスビードの作製及びICP分析のアルカリ融解処理には、高周波溶融装置ビード&フューズサンプラ (株)アmenaテック https://www.amena.co.jp</p>
<p>英国エレメンタルマイクロアナリシス社製 CHNOS 有機・無機・同位体微量分析用 消耗品・標準物質等 アルファサイエンス(株) http://www.alphascience.jp/ 電話 03-3814-1374 FAX 03-3814-2357 E-mail: alpha@m2.pbc.ne.jp</p>
<p>高性能 HPLC/GPC-FTIR インターフェースシステム 新型 LC-CollectIR (株)エス・ティ・ジャパン 東京 03-3666-2561 大阪 06-6949-8444 https://www.stjapan.co.jp/</p>
<p>モジュール式ラマンシステム RAMAN-QE 高感度の小型ファイバ分光器, 励起用レーザー, 各種ラマンプローブを組み合わせたコンパクトなシステムです。 励起レーザー選択や光学系のカスタマイズもご相談ください。 オーシャンフォトニクス(株) https://www.oceanphotonics.com</p>
<p>電位差自動滴定装置・カールフィッシャー水分計・密度比重計・屈折計・粘度計・水銀測定装置・熱計測機器・大気分析装置・水質分析装置・排ガス分析装置 京都電子工業(株) 東京支店 03-5227-3151 https://www.kem.kyoto/</p>
<p>高品質・高精度・高耐圧 NSプランジャーポンプシリーズ 日本精密科学(株) 電話 03-3964-1198 https://nihon-exa-sci.com</p>
<p>赤外顕微鏡における「観る」「測る」「使う」を再構築 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) https://www.jasco.co.jp</p>
<p>分析試料の前処理作成用粉砕機 (ドイツ フリッチュ社製) フリッチュ・ジャパン(株) 電話045-641-8550 (本社) https://www.fritsch.co.jp</p>
<p>立体8の字 秒速粉砕機 マルチピーズショッカー® ディスプレイで岩石・樹脂・生体等の凍結粉碎も可能。 分析感度UP, 時間短縮, 経費節減に貢献。 安井器械(株) 商品開発部 https://www.yasuikikai.co.jp/</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

＜マグネシウム認証標準物質 7 種類の頒布開始＞

日本分析化学会は、実試料の分析時への妥当性確認などのために高純度マグネシウム認証標準物質として JAC 0141, JSAC 0142 及び JAC 0143 を開発し、汎用マグネシウム合金認証標準物質として JAC 0151, JSAC 0152, JSAC 0153 及び JAC 0154 を開発した。マグネシウム中の成分分析における機器の校正及び分析結果のバリデーションに使用することを目的としたものである。

◇微量元素分析用 高純度マグネシウム認証標準物質◇

[JAC 0141～JAC 0143 (ディスク状 3 種類)]

JIS H 2150 に準拠したインゴットからビレットを作製し、押し出し加工により丸棒にし、ディスク状に切り出した標準物質で 3～6 元素を認証した。

直径 50 mm 厚さ 20 mm のディスク状：表面を平滑に研磨仕上げ

単位 (µg/g)

	Mg 純度(%)	Al, Si, Mn	Ca, Zn, Fe	Cu, Ni, Pb	Li, Ga, Ce
JSAC 0141	99.9	100 ~ 200	10 ~ 100	1 ~ 10	0.1 ~ 1
JSAC 0142	99.95	50 ~ 100	10 ~ 50	0.5 ~ 5	0.1 ~ 1
JSAC 0143	99.99	5 ~ 20	5 ~ 20	0.5 ~ 5	0.1 ~ 1

◇汎用マグネシウム合金認証標準物質◇

[JAC 0151～JAC 0154 (ディスク状 4 種類)]

JIS H 4203 に準拠したマグネシウム合金を連続鋳造で作製したビレットを押し出し加工により丸棒にし、ディスク状に切り出した標準物質で Al, Mn, Zn を主成分に他 3～7 元素を認証した。

直径 50 mm 厚さ 20 mm のディスク状：表面を平滑に研磨仕上げ

	Al (質量分率%)	Mn (質量分率%)	Zn (質量分率%)	Si, Fe, Cu, Ni (µg/g)	Ca, Ga, Pb, La, Ce (µg/g)
JSAC 0151	3	0.5	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0152	6	0.5	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0153	9	0.3	1	10 ~ 100	1 ~ 10
JSAC 0154	6	0.3	0.05	10 ~ 100	1 ~ 10

◇ 頒布方法：真空パックした標準物質(a)をプラスチックケースに入れて頒布します(b)



(a)



(b)

◇ 頒布価格：試料 1 ディスクにつき

本会団体会員：40,000 円, それ以外：60,000 円 (送料込み、消費税別)

7 ディスクセット購入の場合は 10 %引きとします。

見積及び頒布問合せ先 〒105-0012 東京都港区芝大門 2-12-7 (RBM 芝パークビル)

西進商事 (株) 東京支店 [電話：03-3459-7491, FAX：03-3459-7499,

E-mail：info@seishinsyoji.co.jp, URL：http://www.seishinsyoji.co.jp/]

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

(公社) 日本分析化学会 標準物質委員会 事務局 [電話：03-3490-3352, FAX：03-3490-3572,

E-mail：crmpt@ml.jsac.or.jp, URL：https://www.jsac.jp/]

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
ピーク形状を大幅改善！
スマートプレカラム **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と金属キャピラリーカラムの開発・製品化に専念して、洗練された製品をお届けしています

BAS

光学式酸素モニター



FireSting O2-C 酸素モニター(4ch)

接続するセンサータイプを入れ替えることで、基本機能の光学式酸素モニタリング測定の外に光学式温度測定が可能な測定装置です。上位機種[®]のFireSting Proは加えてpH測定も可能です。

- 一台で最大4チャンネル対応。項目の組合せは自由
- 気相および液相での測定に利用できます
- 酸素濃度測定用のセンサーには通常用と低濃度用があります
- 非接触型など様々なタイプのセンサーをラインナップ

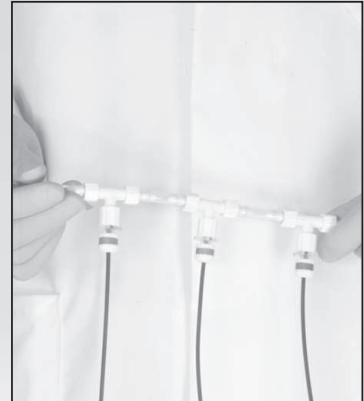
ミニプローブを
溶液中に挿して...



密閉容器内の酸素濃度や
温度の測定に...



フローセルタイプで
流体の測定に...



BAS

分光電気化学システム

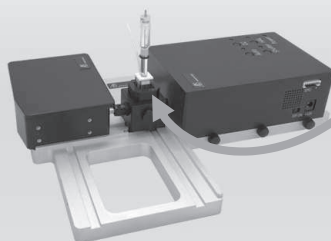


スペクトロメーターシステムがリニューアル!!

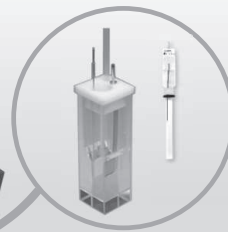
- 従来品より高感度、光源強度も増強



モデル3325
バイポテンシオスタット



【新製品】SEC2120
スペクトロメーターシステム



SEC-CT
石英ガラス製光電気化学
セルキット+参照電極

電気化学的な挙動と
分光スペクトル変化を
同時に測定できる
システムです。

- 製品の外観、仕様は改良のため予告なく変更される場合があります。

BAS ビー・イー・エス株式会社

各種光学式酸素センサーや光ファイバー等のアクセサリはホームページでご確認下さい!!

本社 〒131-0033 東京都墨田区向島 1-28-12
東京営業所 TEL: 03-3624-0331 FAX: 03-3624-3387
大阪営業所 TEL: 06-6308-1867 FAX: 06-6308-6890

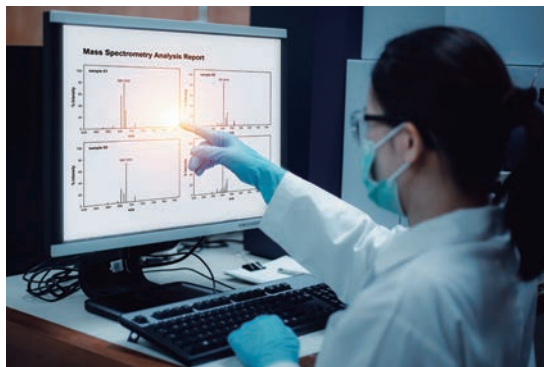
セミナー講演内容などビー・イー・エス株式会社の最新情報はメールニュースで随時配信しております。配信ご希望の方はお気軽にお問合せ下さい ⇒ E-mail: sp2@bas.co.jp

質量スペクトルデータベース

NIST23

NIST/EPA/NIH
Mass Spectral Library

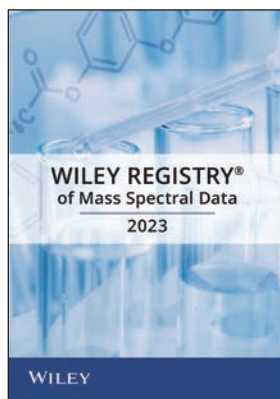
- ・ EI スペクトル 39 万件
- ・ MS/MS スペクトル 240 万件



迅速かつ確実な化合物同定を実現する高品質データ集

Wiley Registry

- ・ EI スペクトル 87 万件
(単独製品の場合)
- ・ 主要機器メーカーの解析
ソフトにインポート可能



単独製品 (GC-MS 専用)



NIST23 との統合版

<各製品共通> 買取製品 (USB) / 旧版からのアップグレード割引もございます。

販売元、お問い合わせ先

JAICI
情報で、科学をひらく

一般社団法人 化学情報協会

科学データ情報室

〒113-0021 東京都文京区本駒込 6-25-4 中居ビル

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

E-mail: crystal@jaici.or.jp





粉碎から分級まであらゆる前処理に！

20mLまで 湿式・乾式・凍結粉碎の標準！

ふるい分け・ひょう量・評価 をこの1台で！

MM 400



多用途に対応する
MM 400の特長

- ・99時間の粉碎時間設定
- ・in situ 分光分析対応
- ・ノイズ低減
- ・タッチディスプレイ搭載

技術の歴史・選ばれる理由 粉碎・分級・熱処理の

AS 200 jet pro / pharma

※AS 200 jet pharma は GMP 準拠モデルです。



天びん内蔵のオールインワン
AS 200 jet pro/pharma の特長

- ・ふるいの移し替え不要
- ・使い易いオールインワン
- ・タッチパネル採用
- ・スマートアシスタント機能搭載
- ・コンパクトサイズ

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社

〒151-0061

東京都渋谷区初台 1-46-3 シモモビル 10 階

東京本社

03 6276 0073

大阪支社

06 6655 0003

<https://verder-scientific.co.jp>

email: info@verder-scientific.co.jp

MICROTRAC

a VERDER company

サブマイクロからミリメートルまで 粒子解析装置はMICROTRAC

粒子画像から粒子径・粒子形状解析
形状情報の提供や異物・異形粒子を検出

粒子径・粒子形状解析装置

CAMSIZER X2+

測定範囲
0.9μm~8mm



レーザ回折・散乱法による 粒子径分布測定
と画像解析による粒子形状解析を両立

粒子径分布・粒子形状測定装置

SYNC

測定範囲
粒子径：0.02~2000μm
画像解析：5~2000μm



マイクロトラック・ベル株式会社

〒559-0031 大阪市住之江区南港東8丁目2番52号 TEL: 06-6655-0360 (代表)

大阪営業所

TEL: 06-6655-0362

東京営業所

TEL: 03-6457-6707

名古屋営業所

TEL: 052-228-0792

<https://www.microtrac.com>

E-mail info@microtrac-bel.com

