

Kyoto Institute of Technology

# Center for Environmental Science

Public relations booklet No.38 (2026)



京都工芸繊維大学  
環境科学センター

広報誌 **環境** No.38







EW \*FH  
#FCFe8FCFFEF2FC  
2FE2FFFCFFCS0FFC00PFFFFCF□  
sFFFE\*FCBFFFEF50F8FCFF□  
GFFC2pFFCFFFR2FC0F□  
GA)FFFC2FFFC8FFFC2FF□  
FFFEFFFC6FFFEh\*FFFC8  
FFFC\*BF7FCFF8FC6F□  
FFFCFFFC8FFFCFFFC8FCFF□  
GFFFCG6FCFF#sFCFC  
FFFCFFFCFFFCFFFCFF□  
2GFFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFF□  
FFFCFFFC0F8FFFC0FFFCG  
FCFFPAS FFFeFFFC&2FC0FFFCFF□  
FFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFF□  
FFFCFFFC2FC0FFFCFFFCFFFC  
FFFC80FFFC2FFFC\*FFFC□  
hFFFCFFFC\*FFFC8FCFFFC  
eFFFC5FFFCFFFCFFFC□  
\*FFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFFFC□  
FFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFFFCFFFC□  
FFFCFFFCFFFCFFFC□

---

## 廃棄物・排水管理

本学では、2016年4月から2025年3月までISO14001:2015に適合する環境安全マネジメントシステム(ESMS)を構築、運用してきた。2025年3月にISO14001の認証を返上し、2025年4月からは、これまでの経験を活かした自律的な環境安全マネジメントシステムを継続して運用している。2025年4月には「環境安全方針」および「環境安全目標」を更新制定した。環境科学センターでは「環境安全目標」に定められた「環境安全に関する教育研究の推進」、「実験廃液、廃棄物の適正処理」及び「排水の適正管理」の目標達成のために各種業務を実施している。「環境安全に関する教育研究の推進」に係る業務については別章での報告とし、本章では「実験廃液、廃棄物の適正処理」及び「排水の適正管理」に係る業務について報告する。

### 1. 廃液処理

#### 1.1 有機廃液処理

本学の有機廃液は外部委託処理を行っている。各回の有機廃液処理において、学内で前処理及び各種試験を行って処理の基準に適合していることを確認した後に、ジャパンウェイスト株式会社へ処理を委託した。

2023年度から、安全性への配慮から研究分野等に保管される廃液の総量を減らす目的で、大量排出研究分野を対象とするB日程の有機廃液処理5回を新設し、従来の全研究分野を対象とするA日程の有機廃液処理4回と合わせて年9回に大幅に増回した。2025年度も同様に年9回の処理を行った。

処理総量は18,332.9Lで、2024年度(処理総量18,283.8L)に比べて49.1Lの微増(約0.2%増)となり、実施回ごとに比較しても、前年度とほぼ同量の排出量となった。前年度の課題となっていた7月(B日程第2回)の廃液処理日程での熱中症対策については、スポットクーラーの導入は叶わなかったが、気温が高くなる時間の作業を避けたり、水分補給用の飲料を用意したりするなどの対策を講じた。

有機廃液の申請期間ごとの廃液分類別内訳を次頁の表1 a)及びb)に、また、学系等の所属別の廃液処理量を図1に、廃液の分類別処理量を図2に示す。

#### 1.2 無機廃液処理

無機廃液処理は、学内の処理装置が2002年9月の更新から20年が経過して老朽化したため、2023年度からジャパンウェイスト株式会社へ運搬・処理業務を委託する外部委託処理に移行した。

2025年度は、前年度と同様、安全性に配慮し研究分野に保管される廃液の総量を減らす目的で、年2回の処理を実施した。

各回の無機廃液処理では、指定した期日に環境科学センターに搬入してもらい、廃液タンクに内容物を示す分類ラベルを貼付した後、外部委託処理を行った。

表1 a) 2025年度 有機廃液処理量の廃液分類別内訳 B日程

【B日程】大量排出研究分野対象	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	合計	
申請締切日	4/18	6/27	10/6	12/10	2/20	-	
搬出日（外部処理委託日）	4/30	7/7	10/15	12/24	3/5	-	
廃液処理量（L）	可燃性有機廃液	440.0	556.0	260.0	457.0	180.0	1,893.0
	可燃性有機廃液（有害物質含有）	310.0	446.0	246.0	536.0	257.5	1,795.5
	不燃性有機廃液	154.0	290.0	169.0	310.0	107.0	1,030.0
	不燃性有機廃液（有害物質含有）	150.0	280.0	142.0	229.0	36.0	837.0
	高ハロゲン系有機廃液	400.0	290.0	184.0	289.0	126.0	1,289.0
	オイル類	30.0	10.0	0.0	54.0	19.0	113.0
	写真廃液	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	混合不可の廃液	14.0	10.0	0.0	29.0	7.0	60.0
合計	1,498.0	1,882.0	1,001.0	1,904.0	732.5	7,017.5	

表1 b) 2025年度 有機廃液処理量の廃液分類別内訳 A日程及び年間合計

【A日程】全研究分野対象	第1回	第2回	第3回	第4回	合計	処理総量	
申請締切日	5/16	9/8	11/4	1/19	-	-	
搬出日（外部処理委託日）	6/3	9/25	11/18	2/5	-	-	
廃液処理量（L）	可燃性有機廃液	530.0	822.0	551.0	863.5	2,766.5	4,659.5
	可燃性有機廃液（有害物質含有）	558.0	688.0	479.0	309.0	2,034.0	3,829.5
	不燃性有機廃液	1,055.0	877.0	1,116.2	867.0	3,915.2	4,945.2
	不燃性有機廃液（有害物質含有）	257.0	370.0	148.2	198.0	973.2	1,810.2
	高ハロゲン系有機廃液	309.0	404.0	254.0	325.0	1,292.0	2,581.0
	オイル類	8.5	34.0	5.0	93.0	140.5	253.5
	写真廃液	10.0	1.5	0.0	8.0	19.5	19.5
	混合不可の廃液	55.5	39.0	21.0	59.0	174.5	234.5
合計	2,783.0	3,235.5	2,574.4	2,722.5	11,315.4	18,332.9	

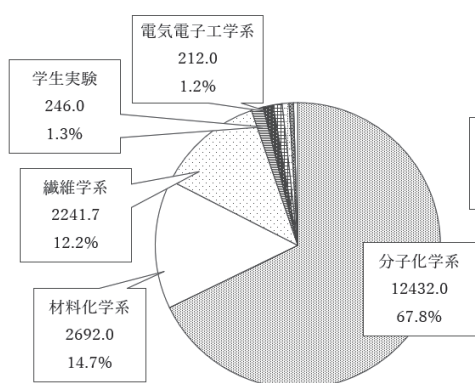


図1 2025年度有機廃液処理学系別容量(L)

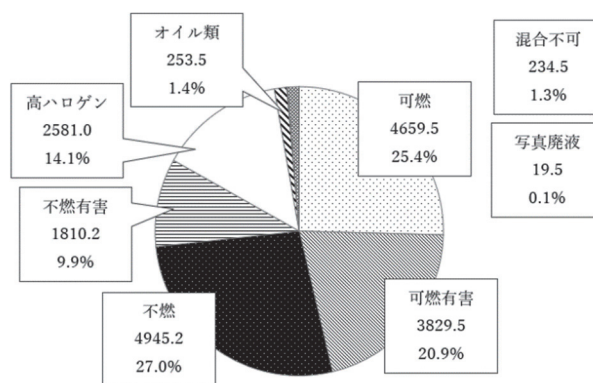


図2 2025年度有機廃液処理廃液分類別容量(L)

2025年度に処理した無機廃液は823.0Lで、2024年度(処理総量1,043.8L)に比べ220.8Lの大幅な減少(約21%減)となった。

無機廃液の申請期間ごとの廃液分類別内訳を表2に、また、学系等の所属別の廃液処理容量を図3に、廃液の分類別の処理容量を図4に示す。

表2 2025年度 無機廃液処理量の廃液分類別内訳

【無機廃液処理】	第1回	第2回	合計	
申請締切日	6/9	12/10	-	
搬出日(外部処理委託日)	6/13	12/24	-	
廃液処理量(L)	有害重金属含有	50.00	22.00	72.00
	一般重金属含有	252.00	332.00	584.00
	無機酸	127.00	40.00	167.00
	無機アルカリ	0.00	0.00	0.00
	シアン含有	0.00	0.00	0.00
	水銀含有	0.00	0.00	0.00
合計	429.00	394.00	823.00	

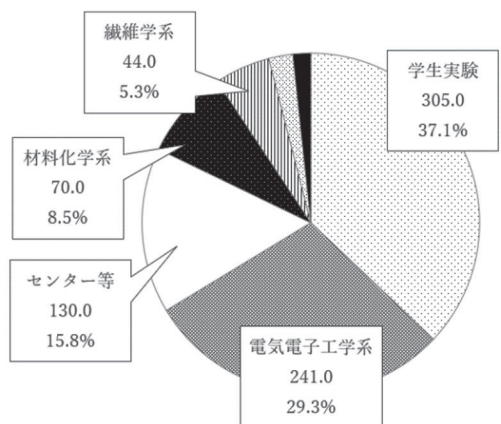


図3 2025年度 無機廃液処理学系別容量(L)

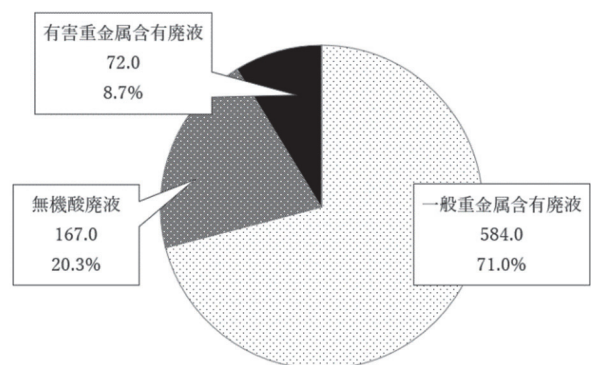


図4 2025年度 無機廃液処理廃液別容量(L)

### 1.3 設備保全状況

有機廃液の分析の際に塩素および硫黄の含有率測定に用いるエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置は、前年度から不具合により廃液の分析に支障をきたすことが多々あったが、株式会社堀場テクノサービスによるメンテナンスを前年度末に実施し、現在は問題なく動作している。しかしながら、導入から15年以上が経過しており、再び不具合が発生しかねないため、早急な更新が必要である。

## 1.4 廃液処理時の事故の発生と事後の対応について

有機廃液処理において、前処理・分析後から搬出までの一時保管中にタンクが破損して廃液が漏出した事故は今年度 2 件発生し、原因としてタンクの長期継続使用による劣化が疑われた。また、退職者の研究室から排出された廃液や排出頻度の少ない研究分野の廃液では、著しいタンクの変形や廃液に含まれる素材による生成物および沈降物などがあつた。該当研究分野にはタンクが満量になるまでの長期間保管は避け、今後は都度排出をしてもらうよう促した。

今年度は各研究分野から劣化または破損した空タンクが 190 個と、積極的に廃棄された結果、前年度に比べ、床面を破損するほどの規模の漏洩は減少した。廃液タンクは使用開始から 3 年を目安に廃棄、更新していくことが望ましい。保管および輸送中のタンクの破損、廃液の漏洩は重大事故につながる恐れもあることから、今後も劣化タンクの使用については厳しく監視し、廃棄、更新を促していく。

## 2. 特別管理産業廃棄物の処理

### 2.1 特別管理産業廃棄物

環境科学センターで管理している有害物を含む固形廃棄物は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)」に従い特別管理産業廃棄物として他の産業廃棄物より厳しい管理を義務付けられている。

2025 年度は、6 月 26 日に固形廃棄物の回収を行い、7 月 10 日に無機汚泥(廃シリカゲル等) 1,147.34kg、一般金属含有廃棄物 11.20 kg、有害金属含有廃棄物 25.85kg、有害有機物含有廃棄物 72.32 kg 及び水銀系廃棄物 11.92 kg の計 1,268.63 kg(ドラム缶 13 本)を搬出した。2024 年度の廃棄量 1,945.68kg(ドラム缶 19 本)から 677.05kg の減少(約 37.8%減)となった。

減少の主な要因として、前年度は 2022 年度に運用を停止した無機廃液処理設備の無害化洗浄(特別廃棄物分離作業)の際に排出された、活性炭や水銀キレート樹脂などの廃棄物を処分したことが考えられる。

学系等の所属別の廃棄物重量を図 5 に、固形廃棄物の分類別廃棄物重量を図 6 に示す。

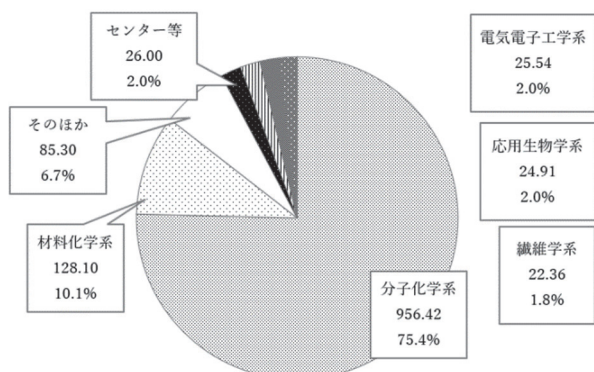


図5 2025年度特別管理産業廃棄物  
学系別固形廃棄物重量 (kg)

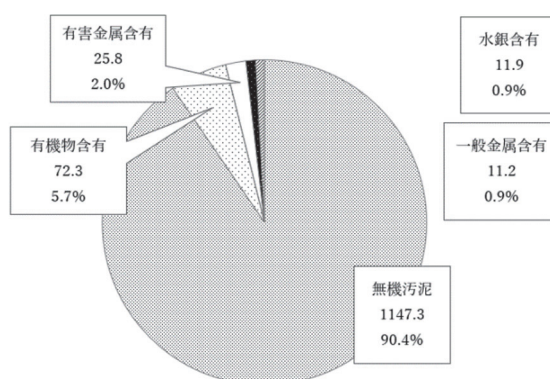


図6 2025年度特別管理産業廃棄物  
分類別固形廃棄物重量 (kg)

これら廃棄物の運搬は旭興産業株式会社に委託し、処理は北海道の野村興産株式会社イトムカ鉱業所で適正に行われた。

### 3. 構内排水の水質管理

本学は下水道法に定められた特定施設のある事業所として、構内排水の水質が同法で規制されている。排水の下水道への排除基準は、事業所の前年度の排水量により決定される。2023年度は201～1,000m<sup>3</sup>/日の区分であったが、2024～2025年度は50～200m<sup>3</sup>/日の区分となり、2019～2022年度(50～200m<sup>3</sup>/日)と同等の基準値となって一部項目の基準が緩和された。

水質の分析は、最終排水口である松ヶ崎キャンパス東西2地点及び嵯峨キャンパス1地点の計3地点で毎月2回(年24回)排水を採取し、約40の測定項目について行っている。そのうちの年5回は学内での分析の信頼性を担保するために、株式会社GSユアサ環境科学研究所に水質分析を外注している。章末に2025年度の排水水質分析結果表を掲載する。分析結果は毎月京都市上下水道局に報告している。

また、松ヶ崎キャンパス西地点と嵯峨キャンパスにおいては水温とpHの連続測定を行っている。西地点でpH9を超えると、環境科学センター排水監視システムに警報が届くようになっている。嵯峨キャンパスの警報は嵯峨キャンパス管理室に届く。連続測定機器の設置されていない松ヶ崎キャンパス東地点では、毎週1回排水を採取し、環境科学センターで水温とpHを測定している。

#### 3.1 排水の水質異常値について

2026年2月10日に採取した松ヶ崎キャンパス西地点最終放流口の排水のノルマルヘキサン抽出物質濃度が35.6 mg/Lとなり、基準値の30 mg/Lを超えていた。その後は、2/24は10.6 mg/L、3/10は22.0 mg/Lであり、基準値以下で検出された。ノルマルヘキサン抽出物質とは、動植物性油や鉱物油などのノルマルヘキサンに抽出される不揮発性油分等であり、排水中に含まれる油分の指標となっている。高濃度の傾向は継続しなかったが、西構内は厨房排水由来の油分の影響が大きいため、引き続き注視を続けていく。

2026年1月7日に京都市下水道局による松ヶ崎キャンパス西地点の排水モニタリング調査が実施された。排水は1時間ごとに採取され、分析の結果、基準値超過の項目は無かった。

2025年12月中頃から3月中頃の平日17時～19時頃にかけて、松ヶ崎キャンパス西地点の排水モニタリング装置で検出されるpHが9.0～9.4となる事象が多発した。これは、夕方に大学の活動が低下して排水量が減少し、生活系排水の割合が増えることによりpHが上昇していると考えられる。本学の排水量が増加して排水に対する規制が強化された場合、pH9以上は基準値超過ともなりうることから、異常があった場合は都度学内に警告メールを送信するとともに、pHの推移を注視している。

採水場所		京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス<東地点>											
排除基準	日時	April		May		June		July		August		September	
		4/8	4/22	5/13	5/27	6/10	6/24	7/8	7/22	8/5	8/19	9/2	9/16
測定項目		9:52	10:25	9:40	11:15	10:10	10:25	9:46	11:15	9:50	10:40	9:50	9:56
温度	45	14.6	19.2	18.7	20.7	21.1	24.1	26.9	27.8	27.6	28.6	29.7	28.1
pH	5~	8.84	8.69	8.72	8.86	8.62	8.58	8.42	8.66	8.44	8.00	8.20	7.89
BOD	3000	/	/	/	/	/	/	100	/	/	/	/	190
COD	-	122	137	219	131	229	137	/	132	72	168	18	/
SS	3000	121	162	477	177	468	418	120	286	70	503	94	140
n-ヘキサン抽出物質	30	6.1	5.7	19.8	7.5	15.0	6.3	2.3	6.3	3.3	6.9	1.4	12.0
ヨウ素消費量	220	/	/	/	/	/	/	14	/	/	/	/	27
フェノール	1	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
銅	3	0.017	0.013	0.043	0.014	0.017	0.004	-	0.009	0.030	0.015	0.011	-
亜鉛	2	0.181	0.118	0.726	0.128	0.208	0.090	0.15	0.083	0.513	0.093	0.101	0.23
溶解性鉄	10	0.286	0.087	1.030	0.182	0.199	0.156	0.02	0.128	0.511	0.170	0.062	0.09
総クロム	2	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	-	-	-	0.001	-	0.003	-
溶解性マンガ	10	0.023	0.019	0.105	0.027	0.054	0.020	0.01	0.019	0.015	0.016	0.004	0.02
フッ素	8	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ニッケル	2	0.004	0.003	0.006	0.003	0.004	0.002	-	-	0.003	0.003	0.002	-
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
有機リン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
鉛	0.1	0.001	-	0.003	0.002	0.003	0.002	-	-	0.003	0.002	0.001	-
六価クロム**	0.2	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ヒ素	0.1	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	-	0.001	0.001	-	-	-
ホウ素	10	/	/	/	/	/	/	0.02	/	/	/	/	0.02
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,1-ジクロロエチレン	1	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
クロロホルム	0.6*	0.002	0.002	0.001	-	-	-	0.0019	-	-	0.001	-	0.0017
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
p-ジクロロベンゼン	2*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
ベンゼン	0.1	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
セレン	0.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トルエン	6*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
キシレン	4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,4-ジオキサン	0.5	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

採水場所		京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス<東地点>											
排除基準 測定項目	日時	October		November		December		January		February		March	
		10/7	10/21	11/4	11/18	12/2	12/16	1/6	1/20	2/10	2/24	3/10	3/24
		10:25	10:25	10:32	10:02	9:56	10:16	9:43	9:49	9:50	10:05	9:48	9:54
温度	45	25.0	20.8	18.8	15.8	16.2	13.0	11.7	11.7	10.8	11.7	10.0	13.3
pH	5~	8.56	8.66	8.19	8.32	8.68	8.83	8.70	8.36	8.17	8.50	8.25	8.42
BOD	3000	/	450	/	340	/	/	/	370	/	/	/	/
COD	-	130	/	1290	/	137	137	252	/	88	88	151	95
SS	3000	318	580	916	470	271	320	752	330	229	191	219	170
n-ヘキサン抽出物質	30	5.3	18	24.0	7	5.8	4.4	6.7	6.9	8.6	1.8	21.7	5.8
ヨウ素消費量	220	/	41	/	17	/	/	/	46	/	/	/	/
フェノール	1	/	0.29	/	-	/	/	/	0.07	/	/	/	/
銅	3	0.016	-	0.014	-	0.009	0.017	0.023	-	0.010	0.019	0.028	0.017
亜鉛	2	0.165	0.37	0.189	0.08	0.107	0.115	0.207	0.16	0.074	0.224	1.062	0.302
溶解性鉄	10	0.177	0.10	0.268	0.04	0.143	0.127	0.244	0.05	0.071	0.519	1.931	0.471
総クロム	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.003
溶解性マンガ	10	0.024	0.02	0.069	0.01	0.027	0.022	0.042	0.02	0.016	0.018	0.035	0.019
フッ素	8	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ニッケル	2	0.004	-	0.009	-	0.001	0.002	0.003	-	0.002	0.006	0.008	0.005
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
有機リン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
鉛	0.1	0.004	0.01	0.001	-	0.003	0.006	0.015	-	-	0.002	0.080	0.008
六価クロム**	0.2	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ヒ素	0.1	0.002	-	0.009	-	0.001	-	0.001	-	-	0.001	-	0.001
ホウ素	10	/	0.02	/	0.02	/	/	/	0.02	/	/	/	/
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,1-ジクロロエチレン	1	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
クロホルム	0.6*	-	0.0031	-	0.0035	-	0.001	-	0.0033	0.001	-	-	-
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
p-ジクロロベンゼン	2*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
ベンゼン	0.1	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
セレン	0.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トルエン	6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
キシレン	4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	0.5	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

採水場所		京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス<西地点>											
排除基準 測定項目	日時	April		May		June		July		August		September	
		4/8	4/22	5/13	5/27	6/10	6/24	7/8	7/22	8/5	8/19	9/2	9/16
		10:03	10:35	9:53	11:30	10:50	10:30	9:55	11:34	10:02	10:50	10:06	10:06
温度	45	15.4	19.8	21.3	22.6	21.3	25.7	27.9	29.4	28.6	28.4	27.2	27.6
pH	5~	8.42	8.51	7.68	8.59	7.83	8.44	7.58	8.40	7.55	8.13	8.07	7.60
BOD	3000	/	/	/	/	/	/	140	/	/	/	/	96
COD	-	157	243	120	154	43	195	/	111	216	171	94	/
SS	3000	316	423	232	171	113	517	130	325	712	393	167	160
n-ヘキサン抽出物質	30	11.7	19.7	20.5	14.4	4.9	20.4	21.0	16.2	28.5	16.5	7.2	4.7
ヨウ素消費量	220	/	/	/	/	/	/	22	/	/	/	/	3
フェノール	1	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
銅	3	0.036	0.045	0.018	0.020	0.018	0.039	0.05	0.049	0.030	0.042	0.023	0.05
亜鉛	2	0.193	0.251	0.086	0.099	0.188	0.273	0.32	0.173	0.153	0.139	0.068	0.19
溶解性鉄	10	0.484	0.482	0.320	0.307	0.754	0.511	0.11	0.675	0.386	0.382	0.207	0.09
総クロム	2	0.002	0.003	-	0.001	0.002	-	-	-	-	0.019	-	-
溶解性マンガン	10	0.038	0.051	0.022	0.021	0.015	0.037	0.01	0.033	0.036	0.040	0.018	-
フッ素	8	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ニッケル	2	0.003	0.004	0.001	0.002	0.002	0.004	-	-	0.003	0.004	0.002	-
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
有機リン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
鉛	0.1	0.006	0.006	-	0.001	0.003	0.004	-	-	0.001	0.003	0.001	-
六価クロム**	0.2	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ヒ素	0.1	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	-	0.002	0.001	0.002	0.002	-
ホウ素	10	/	/	/	/	/	/	0.02	/	/	/	/	0.02
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	-	-	-	-	-	0.0002	-	-	-	-	-
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1-ジクロロエチレン	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
クロロホルム	0.6*	-	0.001	0.001	-	0.003	0.001	0.0016	-	0.003	0.001	-	0.0002
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
p-ジクロロベンゼン	2*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
ベンゼン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
セレン	0.1	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
トルエン	6*	-	-	0.002	-	-	-	/	-	-	-	-	/
キシレン	4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,4-ジオキサン	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

採水場所		京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス<西地点>											
排除基準 測定項目	日時	October		November		December		January		February		March	
		10/7	10/21	11/4	11/18	12/2	12/16	1/6	1/20	2/10	2/24	3/10	3/24
		10:35	10:15	10:42	10:15	10:03	10:25	9:53	9:58	10:01	10:20	10:00	9:54
温度	45	25.7	23.0	19.5	17.9	17.8	15.5	11.6	13.0	12.2	13.5	12.8	14.4
pH	5~	8.20	8.50	8.51	8.43	8.28	8.67	8.64	7.93	7.50	8.16	8.39	8.52
BOD	3000	/	270	/	170	/	/	/	290	/	/	/	/
COD	-	236	/	184	/	163	245	72	/	185	184	185	237
SS	3000	439	270	333	200	241	640	127	250	364	388	478	442
n-ヘキサン抽出物質	30	21.5	16	13.8	8.7	11.1	11.0	1.4	14	<b>35.6</b>	10.6	22.0	16.3
ヨウ素消費量	220	/	22	/	19	/	/	/	20	/	/	/	/
フェノール	1	/	0.04	/	-	/	/	/	0.04	/	/	/	/
銅	3	0.026	-	0.043	-	0.013	0.025	0.023	-	0.021	0.028	0.044	0.044
亜鉛	2	0.178	0.17	0.177	0.09	0.081	0.182	0.090	0.11	0.144	0.141	0.254	0.366
溶解性鉄	10	0.384	0.11	0.422	0.08	0.198	0.318	0.132	0.09	0.409	0.403	0.448	0.484
総クロム	2	0.001	-	0.002	-	0.002	-	-	-	-	-	-	0.004
溶解性マンガ	10	0.036	0.01	0.034	-	0.024	0.044	0.016	0.02	0.039	0.037	0.045	0.057
フッ素	8	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ニッケル	2	0.005	-	0.003	-	0.003	0.003	0.001	-	0.002	0.004	-	0.006
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
有機リン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
鉛	0.1	0.004	-	0.004	-	-	0.001	-	-	-	-	0.002	0.003
六価クロム**	0.2	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ヒ素	0.1	0.002	-	0.002	-	0.001	0.001	0.002	-	-	0.001	0.002	0.002
ホウ素	10	/	0.03	/	0.02	/	/	/	0.02	/	/	/	/
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1-ジクロロエチレン	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
クロホルム	0.6*	-	0.0011	-	0.0014	-	-	-	0.0018	-	0.002	-	0.006
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
p-ジクロロベンゼン	2*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
ベンゼン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
セレン	0.1	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
トルエン	6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
キシレン	4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

採水場所		京都工芸繊維大学 嵯峨キャンパス											
排除基準	日時	April		May		June		July		August		September	
		4/8	4/22	5/13	5/27	6/10	6/24	7/8	7/22	8/5	8/19	9/2	9/16
測定項目		9:27	9:18	9:22	10:15	9:20	9:15	9:20	9:45	9:34	9:25	9:20	9:26
温度	45	15.4	20.3	19.0	22.3	21.4	24.3	26.9	28.9	28.2	28.6	28.1	28.0
pH	5~	7.45	7.61	7.31	6.72	7.06	6.88	7.28	6.85	7.65	7.70	7.50	7.16
BOD	3000	/	/	/	/	/	/	13	/	/	/	/	41
COD	-	49	171	83	22	17	7	/	33	45	51	62	/
SS	3000	56	256	90	23	28	6	9	37	47	89	83	41
n-ヘキサン抽出物質	30	2.2	16.9	7.0	1.7	0.9	1.1	-	2.2	2.2	5.4	4.7	1.3
ヨウ素消費量	220	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
フェノール	1	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
銅	3	0.006	0.018	0.007	0.002	-	-	-	0.008	0.007	0.011	0.011	-
亜鉛	2	0.061	0.173	0.069	0.022	0.023	0.016	0.05	0.066	0.068	0.111	0.099	0.13
溶解性鉄	10	0.217	0.711	0.323	0.232	0.502	0.168	0.09	1.001	0.414	0.564	0.402	0.08
総クロム	2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.014	-	0.002	-
溶解性マンガン	10	0.019	0.046	0.024	0.009	0.008	0.008	-	0.016	0.018	0.040	0.034	0.01
フッ素	8	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ニッケル	2	0.002	0.003	0.002	-	-	-	-	-	0.007	0.002	0.003	-
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
有機リン	0.5	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
鉛	0.1	-	0.002	0.002	-	-	-	-	-	0.001	0.002	0.001	-
六価クロム**	0.2	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
ヒ素	0.1	0.001	0.001	0.001	-	0.001	0.001	-	-	-	0.001	-	-
ホウ素	10	/	/	/	/	/	/	0.01	/	/	/	/	0.02
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1-ジクロロエチレン	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
クロホルム	0.6*	-	-	-	-	-	-	0.0002	-	-	-	-	-
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
p-ジクロロベンゼン	2*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
ベンゼン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
セレン	0.1	/	/	/	/	/	/	-	/	/	/	/	-
トルエン	6*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
キシレン	4*	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	-	/
1,4-ジオキサン	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

採水場所		京都工芸繊維大学 嵯峨キャンパス											
測定項目	日時	October		November		December		January		February		March	
		10/7	10/21	11/4	11/18	12/2	12/16	1/6	1/20	2/10	2/24	3/10	3/24
		9:32	9:00	9:26	9:55	9:22	9:10	9:30	9:17	9:38	9:35	9:15	9:38
温度	45	26.2	22.1	18.9	19.6	17.4	14.8	12.4	12.1	11.1	13.1	12.3	15.7
pH	5~	7.27	7.39	7.04	7.09	7.63	7.78	7.95	7.39	7.17	7.50	6.94	7.10
BOD	3000	/	130	/	80	/	/	/	50	/	/	/	/
COD	-	36	/	135	/	20	113	78	/	139	103	27	98
SS	3000	21	180	192	47	22	384	107	53	138	173	26	173
n-ヘキサン抽出物質	30	2.1	2.8	14.6	1.2	1.2	3.4	10.2	-	10.9	6.9	3.2	5.5
ヨウ素消費量	220	/	11	/	8	/	/	/	-	/	/	/	/
フェノール	1	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
銅	3	0.001	-	0.026	-	-	0.021	0.011	-	0.048	0.042	0.008	0.018
亜鉛	2	0.074	0.19	0.253	0.20	0.025	0.222	0.114	0.11	0.202	0.225	0.045	0.123
溶解性鉄	10	0.398	0.19	0.911	0.10	0.218	0.799	0.367	0.09	0.611	0.479	0.137	0.315
総クロム	2	-	-	-	-	-	0.003	-	-	0.002	-	-	-
溶解性マンガン	10	0.021	0.02	0.048	0.01	0.014	0.030	0.034	0.01	0.034	0.035	0.015	0.033
フッ素	8	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ニッケル	2	0.001	-	0.003	-	-	0.002	0.003	-	0.003	0.004	-	0.003
カドミウム	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シアン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
有機リン	0.5	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
鉛	0.1	-	-	0.003	-	-	0.003	0.001	-	0.002	0.003	-	0.001
六価クロム**	0.2	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
ヒ素	0.1	0.001	-	0.001	-	-	-	-	-	0.001	0.001	-	-
ホウ素	10	/	0.02	/	0.02	/	/	/	0.02	/	/	/	/
総水銀	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アルキル水銀***	****	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
トリクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
テトラクロロエチレン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ジクロロメタン	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
四塩化炭素	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロエタン	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1-ジクロロエチレン	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-トリクロロエタン	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-ジクロロプロペン	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
クロホルム	0.6*	-	0.0005	-	0.0024	-	-	-	0.0011	0.002	-	-	-
トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,2-ジクロロプロパン	0.6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
p-ジクロロベンゼン	2*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
ベンゼン	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
セレン	0.1	/	-	/	-	/	/	/	-	/	/	/	/
トルエン	6*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
キシレン	4*	-	/	-	/	-	-	/	-	-	-	-	-
1,4-ジオキサン	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* 管理目標値  
 \*\* 総クロムが検出された水質について分析  
 \*\*\* 総水銀が検出された水質について分析  
 \*\*\*\* 検出されないこと

の日は外注分析  
 BOD以下の単位はmg/L  
 斜線 (/) は測定しない  
 ハイフン (-) は検出限界以下であることを示す

### 1. 研究トピック

#### ヘリウム枯渇問題に対応する GC-MS 用窒素キャリアガスへのエチレン添加による 感度回復技術の開発

環境科学センター 准教授 布施 泰朗  
助教 初 雪

##### 【研究背景】

ガスクロマトグラフィー質量分析法(GC-MS)は、環境中の有害物質の検出や食品の安全性確認、臨床診断など、私たちの生活を支える幅広い分野で欠かせない分析技術である。世界中で 5 万台以上の GC-MS 装置が稼働しており、残留農薬や有害化学物質のモニタリングなどに日々活用されている。

GC-MS においては、試料を気化しカラム分離する際のキャリアガスとしてヘリウムを用いることが標準的である。ヘリウムは軽量かつ化学的に不活性であり、高い分離性能と検出感度を両立できることから、理想的なキャリアガスとして広く利用されてきた。

一方で、近年は世界的なヘリウム供給不安が深刻化している。2024 年 6 月の米国連邦備蓄ヘリウムの Messer 社への売却は供給網の混乱を招き、ヘリウム価格は従来の 1 L あたり 5~10 ドル程度から 50~100 ドル以上へと急騰した。この影響により、ヘリウムを確保できず分析業務を停止せざるを得ない施設も報告されている。さらに 2026 年 2 月には、アメリカ軍の介入を伴うイスラエル・イラン紛争の影響で、世界生産量の約 3 分の 1 を占めるクエートのガス田施設が破壊されたとされ、供給不安は一段と深刻化した。報道では、通常運転への復旧には少なくとも 5 年を要するとされており、GC-MS 分析におけるヘリウム依存の脆弱性が改めて浮き彫りとなっている。

窒素ガスは大気中に豊富に存在し、約 0.1 ドル/L と安価で、事実上無尽蔵に利用できるため、ヘリウムの代替候補として有望である。しかし、窒素をキャリアガスとして用いると、質量分析部の検出感度がヘリウム使用時のわずか 1~5%にまで低下してしまう。これはイオン源内で生成される窒素イオン(N<sub>2</sub><sup>+</sup>)が極めて短寿命(約 1 ナノ秒=10 億分の 1 秒)であり、速やかに解離してしまうためである。この根本的な感度低下のために、窒素キャリアガスでは微量分析が困難とされてきた。

本研究では、窒素キャリアガスに微量のエチレンガスを添加するという簡単な操作により、この感度低下を大幅に改善し、ヘリウムに匹敵する検出性能を回復させることに成功した。しかも、既存のスペクトルライブラリとの互換性を完全に維持できることを実証した。

## 【実験方法】

実験には、Agilent 8890 GC および 5977C MS を使用した。窒素キャリアガス(流量 1.0 mL/min) にエチレンガスを精密に導入するため、GC カラムとイオン源の間に Y 字型接続部を設置し、エチレン流量を 0.05~0.20 mL/min の範囲で制御した(図 1)。イオン源は標準的な電子イオン化(EI)条件(電子エネルギー 70 eV、温度 280°C)のまま変更せず運転した。

検証用試料として、フタル酸エステル類 (PAEs, 8 化合物) および多環芳香族炭化水素類 (PAHs, 9 化合物) を選定した。これらは環境規制の対象となる代表的な有害物質であり、分子量 152~391 Da の幅広い範囲をカバーする。各試料について、ヘリウムキャリアガス、窒素キャリアガス単独、および窒素+エチレンの 3 条件で、2.4 pg のオンカラム注入量における信号対雑音比 (S/N 比) を比較した。

さらに、流量やカラム口径の変更によりイオン源近傍の局所的なガス密度(クヌーセン数)を系統的に操作し、衝突頻度と感度向上の関係を調べた。再現性の検証のため、Shimadzu GCMS-Q P2010 Ultra でも同様の実験を行った。

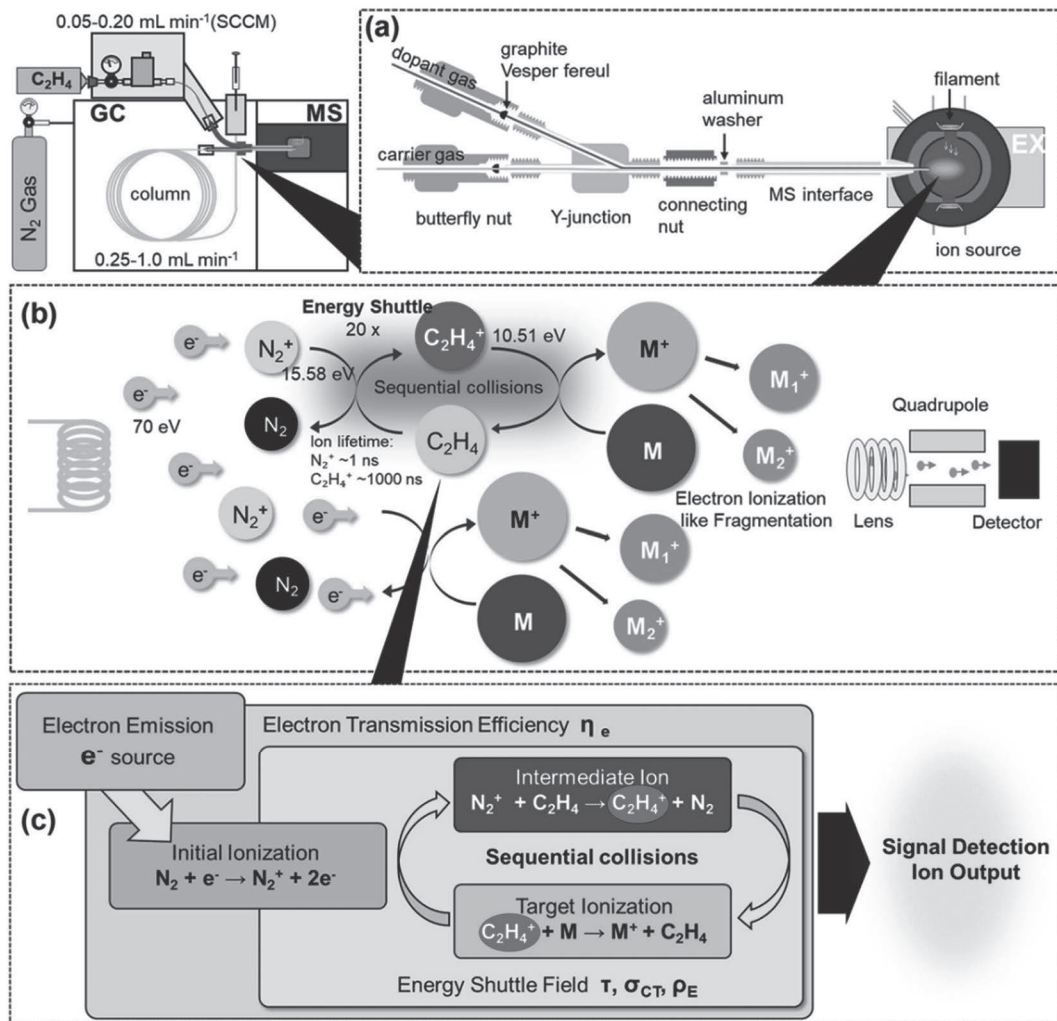


図1 エチレン添加 GC-MS システムの概略図と提案する反応機構 (窒素キャリアガスに Y 字接続部を介してエチレンを導入。  $N_2^+$  から  $C_2H_4^+$  を経由する段階的エネルギー移動により分析対象物のイオン化を促進)

## 【結果と考察】

### エチレン添加濃度の最適化

エチレン添加濃度を0~20% (v/v)の範囲で検討した結果、約9% (9.1±0.5%)で最大の感度向上が得られた。1%未満では効果が現れず、1~7%の範囲では濃度に比例して感度が向上し、8~10%で最大値に達した。12%を超えるとキャリアガスの希釈効果により感度が低下した。この濃度依存性は、衝突に基づく反応機構を示唆するものである。

### 感度の大幅な向上

最適条件下で、フタル酸エステル類では平均 19.6±0.8 倍、多環芳香族炭化水素類では平均 20.2±1.6 倍の感度向上が確認された(図 2)。例えば、フタル酸ジエチルの S/N 比は、窒素単独の 35±4 からエチレン添加により 680±41 へと劇的に改善した。特筆すべきは、分子量や化学構造が大きく異なる 17 種類の化合物すべてにおいて、約 20 倍という一貫した感度向上が得られた点である。このことは、特定の分子構造に依存しない普遍的な物理的メカニズムの存在を示唆している。

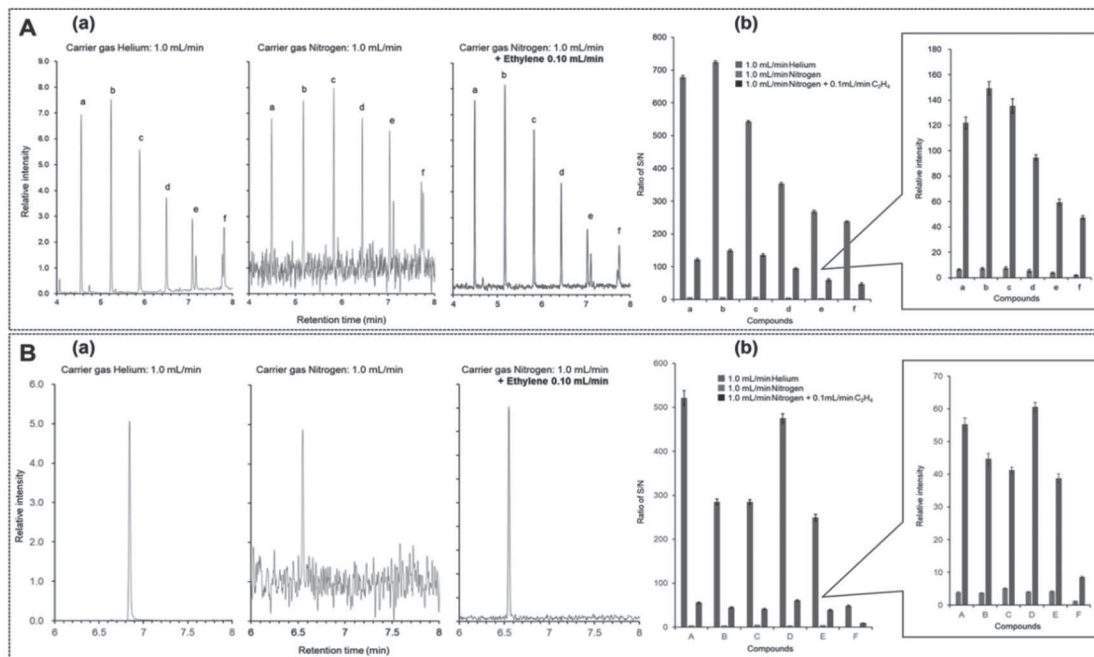


図 2 フタル酸エステル類(A)および PAHs(B)における感度向上の検証 (ヘリウム、窒素単独、窒素+エチレンの3条件でのクロマトグラムと感度向上倍率の比較)

### 質量スペクトルの完全な保持

感度向上と同時に、従来の EI 法で得られるものと同等の質量スペクトル(物質の「指紋」に相当するフラグメンテーションパターン)が完全に保持されることが確認された。NIST 20 データベースとの照合スコアは、エチレン添加条件で 944±11、ヘリウム条件で 949±11 と、1%未満の差であった。プロトン化分子[M+H]<sup>+</sup>やエチレン付加体などの化学イオン化に特徴的な生成物は観察されず、本手法が化学イオン化(CI)とは本質的に異なる、EI 互換の手法であることが明確に示された。これにより、過去 60 年間にわたって蓄積されてきたスペクトルライブラリをそのまま利用でき、既存の分析ワークフローの変更が不要となる。

## 衝突支配領域における効果の確認

流量やカラム口径を変化させ、イオン源近傍の局所的なガス密度を操作した実験により、感度向上のメカニズムに関する重要な知見が得られた。カラム先端付近に高密度のガスジェットが形成される条件(衝突支配領域)では約 20 倍の感度向上が得られたのに対し、ガス密度が低い条件(分子流領域)では効果が消失または逆転した。この可逆的な応答は、分子衝突が感度向上に不可欠であることを示す強力な証拠である。

## 提案するメカニズム

観察された現象に整合する反応メカニズムとして、以下の 3 段階のエネルギーカスケードを提案する。ただし、中間体の直接的な分光学的同定は今後の課題として残されている。

第 1 段階: 70 eV の電子線により窒素分子がイオン化され  $N_2^+$  が生成する(寿命約 1 ナノ秒)。

第 2 段階:  $N_2^+$  (イオン化エネルギー 15.58 eV) からエチレン(イオン化エネルギー 10.51 eV) への電荷移動により、5.07 eV のエネルギーを放出しつつ、より長寿命の  $C_2H_4^+$  中間体が生成する。

第 3 段階: エネルギーを持つ  $C_2H_4^+$  が分析対象分子と衝突し、標準的な EI フラグメンテーションパターンを再現しつつイオン化を促進する。

この「エネルギーシャトル」機構により、短寿命の  $N_2^+$  では達成できなかった効率的なエネルギー伝達が可能となり、結果として約 20 倍の感度回復が実現したと考えられる。なお、2 台の異なるメーカーの GC-MS 装置で統計的に同等の感度向上が確認されており、本現象が装置固有の特性ではなく、普遍的な衝突物理に基づくものであることを支持している。

## まとめと今後の展望

本研究により、窒素キャリアガスに約 9% のエチレンを添加するだけで、GC-MS の検出感度をヘリウム使用時に匹敵するレベルまで回復できることが実証された。しかも、既存の EI スペクトラライブラリとの互換性が完全に維持されるため、大規模な方法変更やソフトウェア更新が不要である。この成果は、ヘリウム資源の枯渇という世界的な課題に対して、簡便かつ実用的な解決策を提示するものである。

今後は、時間分解分光法による中間体の直接的な同定、より幅広い化合物クラスへの適用検証、および商用実装に向けた最適化を進める予定である。本研究の成果は、*Communications Chemistry* 誌(Nature Portfolio)に掲載された。

## 【発表論文】

Y. Fuse & X. Chu, "Nitrogen carrier gas enhancement in GC-MS via ethylene dopant improves sensitivity and preserves EI-like spectra," *Communications Chemistry*, **9**, 129 (2026). DOI: 10.1038/s42004-026-01930-x

## 2. 学術論文概要 (2025 年度発表)

### Nitrogen carrier gas enhancement in GC-MS via ethylene dopant improves sensitivity and preserves EI-like spectra

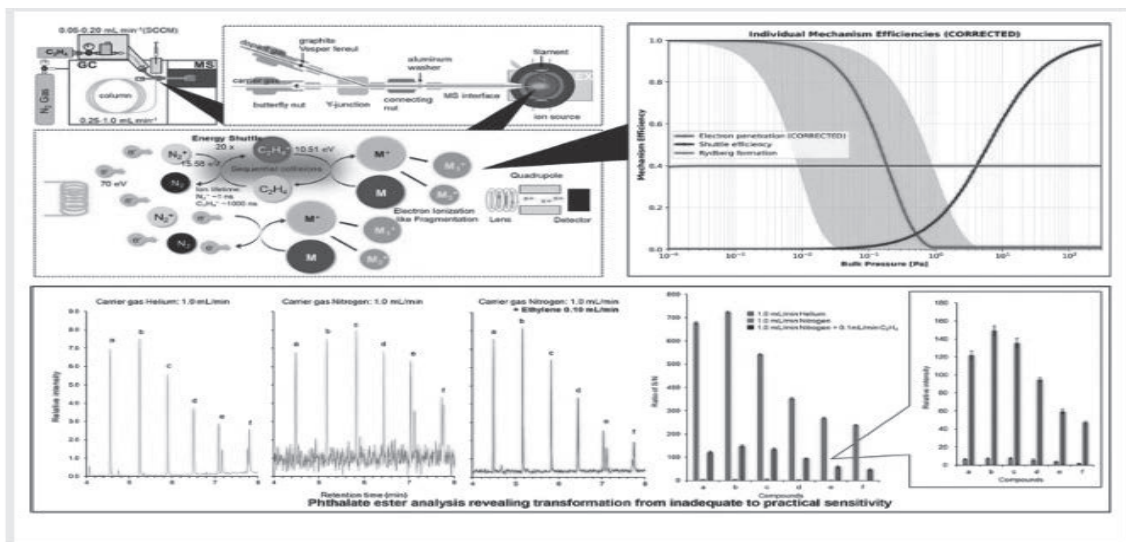
*Communications Chemistry* 9 Article number: 129 (2026)

YASURO FUSE & XUE CHU

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

#### Abstract

Helium constraints motivate renewed use of nitrogen in GC-MS. We show that adding trace ethylene (about 9%) to nitrogen restores sensitivity by up to ~20-fold while preserving canonical 70 eV electron-ionization (EI) library matches for phthalates and polycyclic aromatic hydrocarbons. The gain appears only under collision dominated operation, characterized by a low Knudsen number ( $Kn \leq 0.1$ ), and diminishes or reverses in molecular-flow conditions ( $Kn > 10$ ), providing operational evidence that collisions are essential. A collision assisted lifetime hypothesis is consistent with the data and a phenomenological model; direct spectroscopic identification of intermediates and lifetimes remains a limitation. Cross-instrument checks confirm reproducibility, and chromatographic trade-offs intrinsic to nitrogen are unchanged. We frame the EI-compatible gain as an operational metric rather than a mechanistic claim. Importantly, this is EI—not chemical ionization (CI): all data were acquired at 70 eV under  $N_2$  plus ethylene, and despite large enhancement the spectra remain EI-like, i.e., no softening.



### 3. センターでの研究業績(2024 年度～2025 年度)

#### 1) 学術論文

1. Yasuro Fuse, Xue Chu, “Nitrogen carrier gas enhancement in GC-MS via ethylene dopant improves sensitivity and preserves EI-like spectra”, *Communications Chemistry* 9 (129), 2026 年 3 月
2. Yasuro Fuse, Sho Kanada, Kako Shinohara, Xue Chu, Takashi Kasamatsu, Takashi Nakai, “High-reactivity hydrated lime prevents de novo dioxin formation in the 200-400 ° C flue-gas window via chlorine scavenging and Damköhler-based design”, *Chemosphere* 395 144833-144833, 2026 年 2 月
3. Swapnali Khamaru, Takashi Yumura, Akio Sanpei, Yasuro Fuse, Xue Chu, Yusuke Miyake, Haruhiko Himura, “H-atom-assisted reactions in the non-thermal conversion of CH<sub>4</sub>-H<sub>2</sub> plasma to C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>”, *Chemical Physics Letters* 878 142312-142312, 2025 年 11 月
4. Xue Chu, Naoya Takeda, Nobuhide Fujitake, Shintaro Yanaka, Yasuro Fuse, “Chemical characterization of Scottish peat using evolved gas analysis-mass spectrometry”, *Journal of Chromatography A* 1757 466142-466142, 2025 年 8 月

#### 2) 著書・学術報告・その他

1. 塩田来快・初雪・布施泰朗, “腐植物質を含む土壌改良資材の施用が陸水域を構成する水田土壌からのメタン発生に及ぼす影響—室内モデル実験による予備的検討—”, *陸水研究 (LIMNOLOGICAL STUDY)* 13: 1-4, 2026 年 2 月
2. 永田 修康, 田中 周平, 森岡 たまき, 布施 泰朗, 初雪, 塩野 愛, 渡辺 竜, “タイヤゴムに含まれる 6PPD および 6PPD-Q の定量分析への熱脱着 GC/MS の適用”, *土木学会論文集* 82(2) N/A-N/A, 2026 年 2 月

#### 3) 学内外研究費による研究活動

##### 1. 科学研究費補助金

- ① 基盤研究 B 『貧酸素水塊が生み出すラジカルが未知の物質循環を駆動する』(2025～2027 年度)

研究代表者	環境科学センター 准教授	布施泰朗
研究分担者	環境科学センター 助教	初雪

- ② 基盤研究 B 『細菌由来サブミクロン粒子が生物ポンプを駆動する可能性の探索』(2024～2026 年度)

研究代表者	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 主任研究員	山口保彦
研究分担者	環境科学センター 准教授	布施泰朗
研究分担者	環境科学センター 助教	初雪

- ③ 基盤研究 C 『分子サイズを鍵にして水圏溶存有機物の生分解モデルを刷新する』(2024～2026 年度)

研究代表者	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 総合解析部門長	早川和秀
-------	--------------------------	------

- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究分担者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
| 研究分担者 | 環境科学センター 助教  | 初雪   |
- ④ 基盤研究 A 『湖沼の深水層に卓越する未知の有機物循環系の解明』(2022～2025 年度)
- |       |                  |      |
|-------|------------------|------|
| 研究代表者 | 京大大学生態学研究センター 教授 | 中野伸一 |
| 研究分担者 | 環境科学センター 准教授     | 布施泰朗 |
- ⑤ 基盤研究 B 『地球温暖化により生じた貧酸素水塊における酸素消費システムの解明』(2022～2024 年度)
- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究代表者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
| 研究分担者 | 環境科学センター 助教  | 初雪   |
- ⑥ 基盤研究 C 『ナノ濾過による分子量別分画で開拓する、水圏溶存有機窒素の動態解析の新展開』(2021～2024 年度)
- |       |                          |      |
|-------|--------------------------|------|
| 研究代表者 | 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 総合解析部門長 | 早川和秀 |
| 研究分担者 | 環境科学センター 准教授             | 布施泰朗 |
2. 学術指導:タカラサプライコミュニケーションズ株式会社(2025) (75.9 万円)  
「構造材料、機能材料/無機材料、物性に関する学術指導」
- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究担当者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
|-------|--------------|------|
3. 寄附金:JNC エンジニアリング株式会社(2025) (285 万円) 2022 年から継続  
「排水処理における土壌腐植物質の機能解明」
- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究担当者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
|-------|--------------|------|
4. 受託研究費
- ① 科学技術振興機構 KSAC-GAP ファンド(JST 大学発新産業創出基金事業 スタートアップ・エコシステム共創プログラム スタートアップ創出プログラム(2024～2025 年度)(294 万円)  
「超微量マトリックスガス制御装置による、窒素ガスキャリア条件におけるガスクロマトグラフィー質量分析計の新しいイオン化フィールドの形成」
- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究代表者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
| 研究担当者 | 環境科学センター 助教  | 初雪   |
- ② 科学技術振興機構 可能性検証(2023～2024 年度)(225 万円)  
「現場環境水中で溶存有機物の三次元蛍光特性情報を長期間取得できる小型センサーの開発」
- |       |              |      |
|-------|--------------|------|
| 研究担当者 | 環境科学センター 准教授 | 布施泰朗 |
|-------|--------------|------|
- ③ デンカ株式会社(2023～2024 年度)  
「CH<sub>4</sub>を C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>に転換できる高周波プラズマリアクターの開発に向けた、メカニズム解析を中心とするコンセプトの検証」

研究代表者 京都工芸繊維大学 電気電子工学系 教授  
研究担当者 環境科学センター 准教授

比村治彦  
布施泰朗

## 4. 学会等への参加

### 4.1 大学等環境安全協議会

大学等環境安全協議会(大環協)は、大学等における安全衛生管理・教育等に関する諸情報を交換し、環境安全に携わる教職員が会員相互の資質の向上をはかるとともに、関連研究及び提言等を行うことにより、大学等における環境安全の発展に寄与することを目的としている協議会である。全国の大学等に設置された環境安全担当部署に所属する教職員が中心となり活動している。

2025年7月には、名古屋大学東山キャンパス豊田講堂において第43回総会・研修発表会がオンサイトおよびオンラインのハイブリッドで開催された。環境科学センターからは布施、津田がオンサイト、中崎、秋月、角上がオンラインで参加した。「災害による心の危機への心理社会的支援：支援者のあり方」と題した特別講演、「大学等教育研究機関のサステナビリティー環境安全の視点から」という内容の特別企画、受賞講演、一般発表、プロジェクト報告を聴講した。

10月には、大阪大学豊中キャンパス大阪大会館において第41回技術分科会がハイブリッドで開催された。本学からは布施、初、津田がオンサイト、中崎、秋月、角上がオンラインで参加し、特別講演「環境・食の安心安全に向けた培養肉の研究開発」「能登半島地震から学ぶ、都市型災害に備える。ー今地震が起こったらー」および一般発表を聴講した。実務者連絡会企画「環境安全業務のDX化と今後の課題」では、津田が趣旨説明を行い、実務者連絡会廃棄物部門長として、安全衛生部門長と共にパネルディスカッションの司会を担当した。特別企画「大環協のこれからを考える」には、パネリストの一人として津田が登壇した。



実務者企画 パネルディスカッションの様子

上記総会・技術研修会および技術分科会に合わせて、7月と10月に実務者連絡会集会等がハイブリッドで開催され、津田が現地参加した。安全衛生や廃棄物に関する事例報告などを聴講するとともに他大学の技術職員を中心とする参加者と積極的な意見交換を行った。7月の集会等では、「Microsoft 365 活用による実験廃液処理業務の効率化事例紹介」というテーマの研修会と、石綿講習会の企画および準備を担当した。石綿講習会では、本会のボトムアッププロジェクトである「アスベスト簡易偏光分析法による大学等のバックヤード建材実地調査とセルフチェック人材の育成」を共に進めている先生方2名と津田が講師を担当した。10月の見学会では、大阪広域環境施設組合舞洲工場と中間貯蔵・環境安全事業株式会社(JESCO)大阪PCB処理事業所に伺い、大阪市の一般廃棄物処理場およびPCBの処理施設を見学した。また、2026年3月には琉球大学にて「廃棄物関連の教育方法と運用ルール」というテーマで実務者連絡会技術研修会が開

催され、企画・運営を担当した。各大学の廃棄物の教育や運用ルールについての事例報告や、各自のテキスト類を持ち寄った閲覧会が行われ、積極的な意見交換を行った。

## 4.2 その他の学会での研究発表

2025年度は、7月に第33回環境化学討論会、8月に日本分析化学会近畿支部第19回近畿支部セミナー、9月に日本分析化学会第74年会、日本陸水学会第89回札幌大会、10月に日本腐植物質学会第41回講演会、3月に第60回日本水環境学会年会並びに日本陸水学会近畿支部第37回研究発表会に参加し、下記の研究発表を行った。

### 【日本環境化学会 第33回環境化学討論会(第4回環境化学物質合同大会)】

2025年7月15日(火)～7月18日(金) 山形テルサおよびやまぎん県民ホール(山形市)

#### 窒素キャリア条件におけるGCMS分析感度の改善技術:微量マトリックスガスで形成される新しいイオン化フィールド

○布施 泰朗、初 雪(京都工芸繊維大学)

#### 撥水製品中の潜在FTOHsの簡易分析法:One-pot前処理とHS-GC/MSによる実用的アプローチの開発

○初 雪、布施 泰朗(京都工芸繊維大学)

### 【日本分析化学会 第19回近畿支部夏季セミナー】

2025年8月4日(月)～5日(火) 堀場製作所朽木研修センター(滋賀県高島市)

#### 熱分解GC/MSによる琵琶湖沈降粒子の化学特性解析

○中川 雄仁<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中村 航<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京工織大院・工芸科学研究科、<sup>2</sup>京工織大・分子化学、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

#### 腐植物質はプラスチックの劣化を促進する?—琵琶湖流入河川での実態調査による影響評価—

○原 夏風<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京工織大院・工芸科学研究科、<sup>2</sup>京工織大・分子化学)

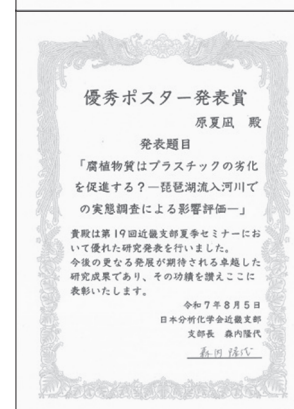
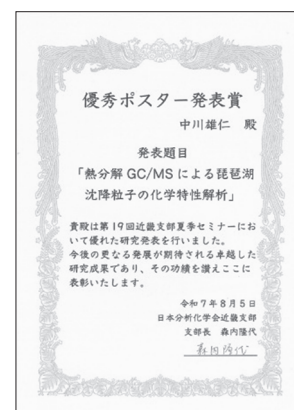
※これらの発表は日本分析化学会近畿支部優秀ポスター発表賞を受賞した。

### 【日本分析化学会第74年会】

2025年9月24日(水)～27日(土) 北海道大学

#### 熱分解-GC/MSおよび化学物質データベース解析による琵琶湖底質中有機化合物の包括的抽出と湖内環境指標との相関評価

○奥田 浩子<sup>1</sup>、木村 元幹<sup>1</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中野 伸一<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>4</sup>、山口 保彦<sup>4</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大院 工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大 分子化学、<sup>3</sup>京都大 生態学研セ、



4 滋賀県 琵琶湖環科研セ)

#### 窒素キャリアガス GC-MS における添加ガスによるイオン化効率向上機構の検討

○布施 泰朗<sup>1</sup>、初 雪<sup>1</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学)

#### 琵琶湖流入河川由来プラスチックに対する腐植物質の吸着動態

○原 夏風<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学 分子化学系)

#### 琵琶湖北湖における湖水サブミクロン粒子の化学特性解析と起源解析

○中家 伶捺<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学 分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

#### 琵琶湖北湖における沈降粒子の化学特性および起源の解析

○中川 雄仁<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中村 航<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

#### 琵琶湖北湖における熱分解 GC/MS を用いた溶存有機物の起源解析

○植松 大輝<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>4</sup>、早川和秀<sup>4</sup>、中野 伸一<sup>3</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院・工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学・分子化学系、<sup>3</sup>京都大学・生態学研究センター、<sup>4</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

#### 小型コアを用いた底泥酸素消費速度測定法の最適化

○木村 元幹<sup>1</sup>、奥田 浩子<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院・工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学・分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

#### 窒素充填バイアルを用いたメタンガスのヘッドスペース GC/MS 分析法

○塩田 来快<sup>1</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>、初 雪<sup>2</sup>、比村治彦<sup>3</sup>、三瓶 明希夫<sup>3</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学分子化学系、<sup>3</sup>京都工芸繊維大学電気電子工学系)

#### 【日本陸水学会 第 89 回札幌大会】

2025 年 9 月 25 日 (木) ~ 9 月 28 日 (日) 北海道大学 クラーク会館

#### 琵琶湖北湖における底泥酸素消費特性の化学量論評価

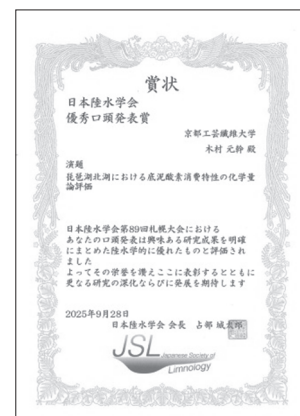
○木村 元幹<sup>1</sup>、奥田 浩子<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>京工織大院・工芸科学、<sup>2</sup>京工織大・分子化学、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖研セ、<sup>4</sup>京大・生態研セ)

※この発表は日本陸水学会 優秀口頭発表賞を受賞した。

#### 深水層を有する琵琶湖北湖における溶存有機物の化学特性解析

○植松 大輝<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>3</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京工織大院・工芸科学、<sup>2</sup>京工織大・分子化学、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖研セ、<sup>4</sup>京大・生態研セ)



### 琵琶湖北湖における物質循環フラックスの季節変動と温暖化・貧栄養化の影響

○早川 和秀<sup>1</sup>、永田 貴丸<sup>1</sup>、中村 航<sup>1</sup>、山口 保彦<sup>1</sup>、佐藤 祐一<sup>1</sup>、井上 栄壮<sup>1</sup>、焦 春萌<sup>1</sup>、布施泰朗<sup>2</sup>、初 雪<sup>2</sup>、霜鳥 孝一<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>(<sup>1</sup> 琵琶研セ、<sup>2</sup> 京工織大・分子化学、<sup>3</sup> 国環研、<sup>4</sup> 京大生態研)

### Py-GC/MS による琵琶湖沈降粒子の化学特性解析

○中川 雄仁<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中村 航<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup> 京工織大院・工芸科学、<sup>2</sup> 京工織大・分子化学、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶研セ、<sup>4</sup> 京大・生態研セ)

### 琵琶湖北湖における湖水サブミクロン粒子の特性評価

○中家 伶捺<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> 京工織大院・工芸科学、<sup>2</sup> 京工織大・分子化学、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶研セ、<sup>4</sup> 京大・生態研セ)

### 琵琶湖湖底における腐植物質由来活性酸素種の動態解析

○塩田 来快<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> 京工織大院・工芸科学、<sup>2</sup> 京工織大・分子化学、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶研セ、<sup>4</sup> 京大・生態研セ)

### 【日本腐植物質学会 第 41 回講演会】

2025 年 10 月 25 日(土)～10 月 26 日(日) 岡山理科大学 50 周年記念館

### 腐植土壌を添加した活性汚泥からのヒドロキシラジカル生成挙動

○谷津 大気<sup>1,2</sup>、川合 隆博<sup>1</sup>、謝 小毛<sup>1</sup>、並木 伸明<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> JNC エンジニアリング株式会社、<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学 分子化学系)

### 琵琶湖における底質中易分解・難分解成分が及ぼす底層溶存酸素量への影響

○塩田 来快<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学 分子化学系、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶湖環境科学センター、<sup>4</sup> 京都大学 生態学研究センター)

### 熱分解 GC/MS による琵琶湖北湖における沈降粒子の化学特性解析

○中川 雄仁<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中村 航<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学 分子化学系、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup> 京都大学 生態学研究センター)

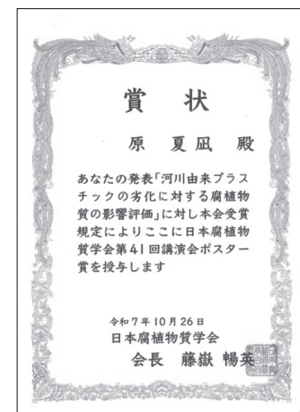
### 琵琶湖北湖における溶存有機物の熱分解 GC/MS 分析による季節及び深度変化とその多様性評価

○植松 大輝<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup> (<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学 分子化学系、<sup>3</sup> 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup> 京都大学生態学研究センター)

### 河川由来プラスチックの劣化に対する腐植物質の影響評価

○原 夏風<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学 大学院 工芸科学研究科、<sup>2</sup> 京都工芸繊維大学 分子化学系)

※この発表は日本腐植物質学会第 41 回講演会ポスター賞を受賞した。



【日本水環境学会第 60 回年会】

2026 年 3 月 9 日(月)～11 日(水) 中央大学多摩キャンパス

**腐植物質が河川由来プラスチックの劣化に及ぼす影響**

○初 雪、布施 泰朗(京工織大分子化学系)

**琵琶湖底質酸素消費の反応速度論的評価**

○布施 泰朗、初 雪(京工織大分子化学系)

**Py-GC/MS による琵琶子沈降粒子の化学特性と季節変動の評価**

○中川 雄仁<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中村 航<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工織大院、<sup>2</sup>京都工織大・分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県・琵琶環研、<sup>4</sup>京大生態学研セ)

**琵琶湖北湖湖底における腐植物質由来のヒドロキシラジカル生成**

○塩田 来快<sup>1</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>(<sup>1</sup>京工織大院工芸科学、<sup>2</sup>京工織大分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県環研、<sup>4</sup>京大生態学研セ)

**琵琶湖北湖におけさブミクロン粒子及びマイクロ粒子の化学特性解析**

○中家 伶捺<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、中野 伸一<sup>3</sup>、山口 保彦<sup>4</sup>、早川 和秀<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工織大院、<sup>2</sup>京都工織大分子化学系、<sup>3</sup>京大生態学研セ、<sup>4</sup>滋賀県・琵琶環研)

【日本陸水学会近畿支部会第 37 回研究発表会】

2026 年 3 月 21 日(土) 兵庫県立大学 姫路環境人間キャンパス

**琵琶湖底質由来腐植様物質のラジカル生成能とその生成メカニズムの解明**

○岡田 壮登<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学工芸科学部、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

**琵琶湖北湖における湖水サブミクロン粒子の化学特性解析**

○堀井 空<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学工芸科学部、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

**琵琶湖北湖湖底の溶存酸素量が及ぼす底質無機元素への影響**

○五十嵐 洋太<sup>1</sup>、初 雪<sup>2</sup>、山口 保彦<sup>3</sup>、早川 和秀<sup>3</sup>、中野 伸一<sup>4</sup>、布施 泰朗<sup>2</sup>(<sup>1</sup>京都工芸繊維大学工芸科学部、<sup>2</sup>京都工芸繊維大学分子化学系、<sup>3</sup>滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、<sup>4</sup>京都大学生態学研究センター)

## 1. 環境安全教育研修の実施

本学では、環境と安全に関する知識の習得を通じて安心安全な研究教育活動を推進することを目的として、毎年度当初に環境安全教育研修を実施している。研修は学習管理システム(Moodle)を用いてオンラインで行い、最後に確認テストを受験して合格し、受講認定を受ける形式となっている。今年度から、「環境安全教育研修」と「高リスク実験実習教育研修」を「環境安全教育研修」に統合し、大学院博士前期課程1回生全員を受講対象に含めた。2025年は4月14日～5月30日に実施された。研修内容を下表に示す。

環境安全教育研修		
(対象: 学部4回生全員、大学院博士前期課程1回生、 全員5回生以上の学部生のうち過年度に本研修を受講していない者、 新規採用教職員)		
	タイトル	講師
1	安全に実験・実習を行うために	堀内 淳一 理事・環境安全保健委員会委員長
2	研究倫理	増田 新 理事・副学長
3	実験廃液と廃棄物処理	津田 瞳 環境科学センター 技術員
4	化学物質等の危険性	本柳 仁 分子化学系 准教授
5	化学物質の人体への影響	牛込 恵美 保健管理センター センター長
6	工作実習の危険性	金尾 伊織 デザイン・建築学系 教授
7	実験実習装置の危険性	射場 大輔 機械工学系 教授
8	確認テスト	—

環境科学センター職員が、「実験廃液と廃棄物処理」の講師を担当した。

### ■ 「環境安全教育テキスト」の作成と配付

環境安全教育研修に先立ち、「環境安全教育テキスト 2025年版」を研究室に配属された学部新4回生と外部から入学した博士前期課程新1回生及び博士後期課程学生に配付した。留学生には併せて英語のダイジェスト版「Environmental Safety Guide; English Digest, 2025」を配付した。



び CSR などについて解説する。2015 年の ISO14001 の規格改定及び 2016 年からの KIT における環境と安全を一元化した環境安全マネジメントシステムについて説明する。集中講義は 2 日間で、2 日目は廃棄物の 3R(reduce, reuse, recycle) など環境に配慮している企業の見学を実施する。

\*本学は2025年3月にISO14001の認証を返上した。

専門基礎科目  
物質・材料科学域

2 年次 **化学基礎実験** (分担)

**「吸光光度法」**

布施 泰朗、初 雪

化学基礎実験は分析化学実験、物理化学実験及び有機化学実験より構成され、基礎的な化学実験法の習得を目的とする。さらに、実験において得られた結果を詳しく考察することによって化学的知識を確実なものとすると共に化学的な思考力を培う。分担する実験テーマ「吸光光度法」では、吸光光度法とランバートーベールの法則(Lambert-Beer law)及び検量線法を理解する。アルミホイルに含まれる鉄を錯形成させて、吸光光度法に基づいて含量を求める。

専門基礎科目  
物質・材料科学域  
デザイン科学域

3 年次 **環境化学**

布施 泰朗、初 雪

化学工業および関連産業の製品には現代生活に欠かせない物が多いが、一方ではこれらの製品や製造工程で生じる産業廃棄物による環境汚染が深刻になっている。最近では地球環境の保護、資源およびエネルギーの確保、人口爆発や食糧確保も重要な社会問題となっている。これらの諸問題について化学の立場から解説し、環境リスク及びリスク評価について講述する。また、環境化学を専門に活躍している外部研究者と企業研究者による特別講演を予定しています。

課程専門科目  
応用化学課程

1 年次 **応用化学序論 I** (分担)

**「環境安全教育(2)」**

布施 泰朗、初 雪

応用化学分野に関する基礎事項を講述するとともに、関連する研究の現状ならびに研究開発の展開などのトピックスを取り上げながら、応用化学の考え方、応用化学に関わる研究の方法とその実際について平易に紹介することで、新入学生が応用化学を学んでゆく方針について理解し、考える端緒を与える。「環境安全教育」に関する 2 回を分担し、安心安全な実験研究環境及び環境安全マネジメントシステムについて説明する。

**「機能物質デザインコース(2)」**

小堀 哲生

我々の生命は、体内に含まれている様々な生体分子が秩序だって働くことで維持されている。また、生体分子の働きの乱れは、癌をはじめとする多くの疾患の発症につながる事がわかっている。本講義では、生体分子の役割を簡単に紹介するとともに、様々な機能を付与した機能性分子を駆使して生体分子の機能解明・制御を実現しようとする研究を紹介する。

課程専門科目 応用化学課程	<p>2 年次 <b>応用化学序論Ⅱ</b> (分担)</p> <p><b>「機能物質デザインコース(2)」</b> 布施 泰朗、初 雪</p> <p>環境中の物質動態や微量有害物質を対象とした研究するために、微量分析技術、分離技術、濃縮技術は必須のツールである。この講義では、以下の 3 つの環境解析研究を紹介する。①地球温暖化の影響下にある閉鎖性水域における物質動態の変化を捉えるために我々が開発している様々な解析手法、②マイクロプラスチックやパーフルオロアルキル化合物など新たな地球規模の汚染を解明する技術、③廃棄物資源循環分野で求められる環境負荷低減技術。</p>
課程専門科目 応用化学課程	<p>3 年次 <b>機能分子化学Ⅰ</b> 小堀 哲生、(和久 友則、金折 賢二)</p> <p>核酸、タンパク質、糖、脂質等の生体分子の挙動を理解するために必要な有機化学の基礎知識獲得を目指す。様々な官能基の化学的性質について理解する。</p>
課程専門科目 応用化学課程	<p>3 年次 <b>生化学Ⅲ</b> 小堀 哲生</p> <p>遺伝情報の保持・伝達や生命機能維持に重要な働きをする核酸を化学的な側面から取り扱う。特にDNAやRNAの構造と機能の関係を分子レベルで理解することを目的とする。さらに、遺伝子診断や遺伝子治療など遺伝子の化学と我々の生活との関わりを最新の知見をもとに概説する。</p>
専攻共通科目 (博士前期課程)	<p><b>環境化学特論</b> 布施 泰朗、初 雪</p> <p>地球環境・自然環境と人間活動の關係に焦点を当てて、科学的見地から問題点を探り出し考察、討論を行い、広い視野で環境をとらえる洞察力を養う。前半は、環境科学に関する論文を読み、予習を含めて理解を深めたうえで、教員・学生間で意見交換を行い、共感できる点や疑問や問題点をレポートにまとめる。後半は、環境中の水の分析に焦点をあて、化学的な水分析を通じて、自然環境の状態を知る方法を学ぶ。</p>
機能物質科学専攻 (博士前期課程)	<p><b>生体制御分子設計</b> 小堀 哲生、(松尾 和哉)</p> <p>生命現象を化学の視点から解明するための、理論・手法等について概説する。具体的には遺伝子発現の選択的制御法(アンチセンス法、RNA干渉法など)の詳細、またそれらに基づく核酸医薬品開発に向けた試みを理論と実践の両面から講義する。遺伝子化学の最新情報についても講義する。</p>
物質・材料科学専攻 (博士後期課程)	<p><b>生体分子設計学</b> 小堀 哲生、(黒田 浩一)</p> <p>生体分子が諸般の生命現象を制御する分子機構を理解する。さらにその知見をもとに、医薬品開発などの応用目的として分子設計を行う方法論についても学ぶ。また、タンパク質の分析手法や様々な機能について解説し、どのように応用利用されているのかを学ぶ。さらに、タンパク質研究の新たな潮流について講述する。</p>

物質・材料科学専攻  
(博士後期課程)

### **環境物質化学**

(前田 耕治)、(吉田 裕美)、布施 泰朗

地球誕生から現在までの地球環境の変遷を科学的見地から捉え、地球環境の変化と人工物質や汚染物質との関係を、自然科学の視点に立って考察する。特に、自然環境における水の役割、エネルギーバランス、大気圏・水圏の動態、廃棄物や化学物質のリスクなどについて述べる。

## **3. 学生と教員の共同プロジェクト**

### **キャンパスからの脱炭素プロジェクト KIT 環境サークル「あーす」**

KIT 環境サークル「あーす」は、学生と環境科学センター教員の共同プロジェクトとして、2022年度に本学から初めて採択され、その後も活動の幅を広げつつ、現在に至っている。2025年度はメンバーが42名に増え、フードロス削減、古着リサイクル、傘シェアリング、ウォーターサーバーの維持管理など、学内外で多岐にわたる環境活動を展開した。特に、フードロス削減の取組への新たな着手、他大学との連携による鴨川沿いのごみ拾い活動や本学の学生教員共同プロジェクトによる科学教育団体「ぼっけ」と共働した小学校での環境教育など、地域社会への貢献も一層深まった。

さらに、これらの継続的な環境活動と社会的貢献が高く評価され、令和7年度の学長表彰を受けた。これは、学生が主体となって取り組んだペットボトル削減、衣類リユース、フードロス削減等の活動が、本学の教育理念に合致し、学生の主体的な学びと社会実装型の実践の両面において大きな意義を有すると正式に認められたものである。今後も、学生が環境問題を自らの課題として捉え、企画立案から実施まで主体的に関わる力を養う場として、本プロジェクトの更なる発展を目指す。



**フードロス削減活動(フードドライブ)の  
集合写真**

## 1. 第 30 回公開講演会「緑の地球と共に生きる」

「環境基本法」が定める「環境の日(6月5日)」及び「環境月間(6月)」に合わせ、本学では1995年から毎年6月に公開講演会「緑の地球と共に生きる」を開催している。

今年度はセンターホールで学内、学外から講師を招聘して、森林や植物と有機化学技術について2部構成で講演を行った。

日 時: 2025年6月18日(水) 15:00~17:30

会 場: センターホール

### 【講演 1:機械解繊バイオナノファイバー材料の開発と特性評価】

講演者: 岡久 陽子

(京都工芸繊維大学 繊維学系 准教授)

セルロースナノファイバーは植物繊維からマトリクス成分であるリグニンやヘミセルロースを除去し、水分散状態で機械的に解繊することで製造されます。また、この手法を用いることでシルクフィブロインからもナノファイバーが製造可能です。

本講演ではこれらのバイオナノファイバー材料が有する優れた特性について紹介します。

### 【講演 2:森林×化学=未来: 鐵と森林で倅せな世界を!】

講演者: 中村 正治

(京都大学 化学研究所 教授)

日本の、世界のものづくりを支えているのが、化学産業です。石油などの化石資源を大量に消費する石油化学から、再生可能な森林バイオマス資源とする新しい化学産業への転換を提案します。森林化学産業は、人類だけでなく、自然環境をも倅せにすることを目指しています。

本講演では、有機合成の研究を起点に、森林化学に至った経緯もお話します。

参加者は、377名であった(うち、本学学生344名、教職員29名、学外4名)。

参加者へのアンケート(回答者数65、うち学生63)では、「化学産業とは何かあまり知らなかったけど、人間のことでなく環境のことを考えた産業でとても興味深かったです。」「とても楽しそうにお話されているのがとても印象的でした。本日のお話で、好きなことを仕事にすると、大人になってもあんなにキラキラとした表情で夢を語れるんだ、と思いました。」「化学専門ではないので、難しい話が多くあったが、次世代の新しい産業として「森林化学産業」を推進していると知り、興味を持った。」などの感想が寄せられ、約97%が「非常に有意義だった」・「有意義だった」と回答した。

# 緑の地球と共生

京都工業繊維大学  
第30回公開講演会

2025.  
6.18 (WED) 15:00  
17:30  
京都工業繊維大学  
センターホール  
\*入場無料  
\*事前登録は必要ありません

15:00-15:10 【開会の挨拶】  
京都工業繊維大学 副学長 堀内英一

15:10-16:10 【講演①】  
京都工業繊維大学 繊維学系 准教授 岡久陽子

16:20-17:20 【講演②】  
京都大学 化学研究所 教授 中村正治

17:20-17:30 【閉会の挨拶】  
京都工業繊維大学 環境科学センター長 小泉啓生

**講演①**  
岡久陽子 (京都工業繊維大学 繊維学系 准教授)

機械解繊バイオナノファイバー材料の開発と特性評価

セルロースナノファイバーは植物繊維からマルクト成分であるリグニンやヘミセルロースを、水分状態でも機械的に解繊することで製造されます。また、この手法を用いることでラクタフィブロインからもナノファイバーが製造可能です。本講演ではこれらのバイオナノファイバー材料が有する優れた特性について紹介いたします。

**講演②**  
中村正治 (京都大学 化学研究所 教授)

森林×化学＝未来：鐵と森林で伸ばせな世界を！

日本の、世界のものづくりを支えているのが、化学産業です。石油などの化石資源を大量に消費する石油化学から、再生可能な森林バイオマス資源とする新しい化学産業への転換を提議します。森林化学産業は、人間だけでなく、自然環境をも伸ばすことを目指しています。本講演では、資源循環の研究を軸に、森林化学に向けた経緯をお話します。

主催 京都工業繊維大学 環境科学センター  
お問い合わせ 075-724-7976 | info@envirov.kit.ac.jp

岡久陽子 (Yoko OKAHISA)  
京都工業繊維大学 繊維学系 准教授  
バイオベースマテリアル学専攻・バイオ機能材料研究室  
繊維科学センター副センター長

Research Topics  
セルロースナノファイバー(草本系)  
うちでもやっています！  
フィブロインナノファイバー  
京工大で、はじめました！

有機分子変換化学研究 (中村研)  
Molecular Organotransformation Lab.  
(Nakamura Group)

Renovation of metal-carbon resources and Organic Synthesis

Iron universal metal catalysts

Woody Biomass

Functional molecules from wood

nanocelluloses from wood

Supramolecular / superatomic catalysts

Functional Lanthanum

第 30 回公開講演会のポスターは、大学院工芸科学研究科デザイン学専攻の菌部壤彦さん(中野仁人研究室)に制作していただきました。

# 環境科学センター運営組織

## 1. 運営委員会及び専門部会委員名簿

(2026年3月1日現在)

### ● 環境科学センター運営委員会

委員長	小堀 哲生	環境科学センター センター長
(委員長補佐)	布施 泰朗	環境科学センター 副センター長
委員	堀内 淳一	理事・副学長
〃	野村 真	応用生物学域 副学域長
〃	則末 智久	物質・材料科学域 副学域長
〃	水野 修	設計工学域 副学域長
〃	中野 仁人	デザイン科学域 副学域長
〃	桑原 教彰	繊維学域 副学域長
〃	竹井 智子	基盤教育学域 副学域長
〃	金尾 伊織	デザイン・建築学系 教授
〃	中西 英行	材料化学系 教授
〃	清水 正毅	分子化学系 教授
〃	射場 大輔	機械工学系 教授
〃	初 雪	分子化学系 助教
〃	上田 敦	施設環境安全課 課長

### ● 廃棄物管理専門部会

部会長	金尾 伊織	デザイン・建築学系 教授
(部会長補佐)	布施 泰朗	環境科学センター 副センター長
管理主任	都丸 雅敏	応用生物学系 助教
〃	本柳 仁	分子化学系 准教授
〃	初 雪	分子化学系 助教
委員	三村 充	デザイン・建築学系 助教
〃	松田 剛佐	デザイン・建築学系 助教
〃	山田 和志	繊維学系 准教授

### ● 廃液処理専門部会

部会長	則末 智久	材料化学系 教授
(部会長補佐)	布施 泰朗	環境科学センター 副センター長
有機廃液焼却処理主任	清水 正毅	分子化学系 教授
無機廃液処理主任	細川 三郎	分子化学系 教授
委員	川口 耕一郎	応用生物学系 講師

〃	永原 哲彦	分子化学系 助教
〃	高橋 駿	電気電子工学系 准教授
〃	田中 洋介	機械工学系 准教授
	金尾 伊織	デザイン・建築学系 教授

## 2. 環境科学センター教職員

(2026年3月1日現在)

役職名	職名	氏名	内線	備考
センター長	教授	小堀 哲生	7523	
副センター長	准教授	布施 泰朗	7982	
	助教	初 雪	7981	
	技術員	津田 瞳	7976	高度技術支援センター
	技術補佐員	中崎 路子	〃	勤務日:木曜日～金曜日
	技術補佐員	秋月 翠	〃	勤務日:月曜日～金曜日
	技術補佐員	角上美和子	〃	勤務日:月曜日～水曜日

## 編集後記

今春も無事に環境科学センター広報誌「環境」第 38 号を発行する運びとなりました。平素より当センターの業務にご理解とご協力・お力添えをいただいた皆様に心より御礼申し上げます。

2025 年度(令和 7 年度)の廃液・廃棄物処理業務については、有機廃液は昨年度と同等の取扱量となりましたが、無機廃液、固形廃棄物は減少しました。有機廃液処理では、一昨年度、昨年度に引き続き、全研究分野を対象とした A 日程に加え大量排出研究分野を対象とする B 日程を設け、年 9 回の処理を実施しました。年間を通じて保管中の廃液タンクの破損に伴う軽微な漏洩事故が数件発生しましたが、件数は減少し、漏洩の規模も小さくなっています。廃液タンクの適切な取り扱いや劣化タンクの積極的な更新への意識が学内に定着し、総じて安全な処理が実施できました。無機廃液処理では、2023 年度からの外部委託処理に合わせた廃液分類の変更および 2024 年の廃液処理申請システム改訂が定着し、外部委託への移行後も問題なく廃液処理を実施することができました。排水分析業務においては、2023 年 12 月に松ヶ崎キャンパス西地点に更新設置された排水モニタリング装置も概ね順調に作動しており、水質異常値の発生に対しても迅速かつ適切に対処することができました。

実験廃液の処理、廃棄物の処分などについてのご相談を受けた際には、より安全で適正な処理方法を提案させていただいておりますので、どうぞお気軽に環境科学センターにご相談ください。

環境安全に係る最新の情報収集や意見交換は、主に大学等環境安全協議会に参加して行いました。教職員の研鑽のみならず、本学の環境安全を発展させるため、今後とも積極的に参加してまいります。

環境安全教育テキストについては、ハンドブックとして日々活用いただけるよう、安全衛生に係る法規の改正や学内の環境安全管理業務の変更等も踏まえ、毎年見直しを行っております。ご利用いただいておりますご感想や内容へのご要望等をお聞かせいただけると幸いです。

また、今年度の公開講演会は、改装されたセンターホールで開催しました。学生・教職員のみならず、学外からも多くの方にご参加いただきました。ご講演いただいた京都大学化学研究所の中村正治先生、本学繊維学系岡久陽子先生に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

次年度(2026 年度)も、本学が環境安全方針に掲げる理念の実現に貢献できるよう日々の業務に取り組んでまいりますので、引き続きご理解とご協力並びにご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

## 「環境 38」

京都工芸繊維大学環境科学センター広報誌

発行日:令和 8 年(2026 年)4 月 1 日

発行者:京都工芸繊維大学環境科学センター

---

〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

TEL&FAX:(075)724-7976

E-mail:environ@kit.ac.jp

URL:<http://environ.kit.ac.jp/>





