

国立大学法人 東京科学大学
TC カレッジ 物質分析系 TC (構造解析) コース
令和7年度 TC 論文

核磁気共鳴装置と電子顕微鏡による研究支援体制構築と
これらを活用した研究・教育支援活動

東海国立大学機構名古屋大学
全学技術センター 物質分析技術支援室
沢田 義治

目次

第1章 緒論	3
1.1 統括技術センターにおける分析技術支援体制について	3
1.2 物質分析系 TC コース（構造解析）申請に至った経緯	5
1.3 核磁気共鳴装置に関する技術、技能、手法	6
1.4 本論文の構成	7
第2章 異動前の研究支援に関する業務	9
2.1 大学発ベンチャー勤務を経て岐阜大学	9
2.2 岐阜大学科学研究基盤センター機器分析分野の役割	9
2.3 研究支援、教育支援、地域貢献	11
2.4 研究支援体制に関する業務	13
第3章 異動後における研究支援に関する業務	17
3.1 本学農学部の共用 NMR の体制	17
3.2 NMR を用いた研究に対する学生の研究支援	18
3.3 電子顕微鏡（SEM・TEM）を用いた本学農学部における体制の再構築	20
第4章 CFA としての取り組み	22
4.1 CFA としての役割	22
4.2 NMR の管理運用と利用促進	24
4.3 統括技術センターの共用 NMR を用いた研究支援事例報告	27
第5章 まとめと展望	40
参考文献	42
研究支援業績による共著論文	45
研究支援による謝辞掲載論文	47
謝辞	49

第1章 緒論

1.1 統括技術センターにおける分析技術支援体制と筆者の役割

筆者は国立大学法人東海国立大学機構¹⁾の技術職員として12年目を迎える。前職では大学発ベンチャーの研究者として、有機合成化学や天然物化学を駆使した合成、天然物試薬の開発、生産、品質管理に携わっていた。岐阜大学に着任した当初は事務組織に属する技術系職員として採用され、現・高等研究院科学研究基盤センター機器分析分野²⁾を配属先として、同分野が管理運用する各種分析装置の管理・運用、およびそれらを用いた教育支援、研究支援を担当した。2020年4月、岐阜大学と名古屋大学の法人統合により東海国立大学機構が発足¹⁾した。同年7月には、名古屋大学³⁾と岐阜大学の技術職員組織を一元的に運営するために統括技術センターが設置⁴⁾されたことに伴い、筆者は同センターを兼任する形で所属することとなった。

統括技術センターは、機構内の教育・研究活動を支援するため、設備・機器の共用化と技術支援体制を整備することを目的として設立された組織である。東海国立大学機構を構成する名古屋大学と岐阜大学の両大学合わせて約200名の技術職員が、連携・協力して研究支援を行うことができる体制として整備された。本センターは専門分野によって、情報通信、環境安全、装置開発、計測・制御、分析・物質、生物・生体、フィールドの7つの専門技術支援室で構成されている。これらの技術支援室は、Tokai National Higher Education and Research System Innovation Core Facility Station (TICFS)を中心に据えた運営により、岐阜大学および名古屋大学の共用設備・機器を戦略的に運用しながら、学内外の研究者に対して先端機器の利用機会の提供や技術職員による高度技術の支援を実施している。

このような背景の中、筆者自身も名古屋大学の技術職員と交流する機会を得て、次第に共に研究支援に携わる場面が増えていった。特に、2020年度から開始された文部科学省先端研究基盤共用事業「コアファシリティ構築支援プログラム」⁵⁾においては、岐阜大学と名古屋大学の技術職員が機構全体で研究用設備・機器を共有し、その運用と利用を支援する体制の構築を進めている(図1)。この体制により、機構内外の研究者や学生が必要な時に先端設備・機器を利用できる環境を実現するための活動を展開している。

筆者は両大学で合わせて 15 機種重点共用設備・機器の選定、設置、および運営に携わってきた経験がある。その業務の中で、研究現場においてより研究者に密着した研究支援が行われている名古屋大学の環境に魅力を感じ、その環境で自身の力を活かしたいと考えた。その結果、異動希望が認められて名古屋大学全学技術センター⁶⁾に異動し、現在は分析・物質技術支援室に所属している。

名古屋大学では、主に生命農学研究科⁷⁾において、重点共用設備の一台である固体核磁気共鳴装置（固体 NMR）の担当者としての業務に従事している。さらに、電子顕微鏡の管理運用体制の整備と改良に取り組んでいる。このように、技術組織として共用設備・機器の管理運用を主体的に行う体制を整えることに尽力している。さらに筆者は、コアファシリティアドミニストレーター（Core Facility Administrator: CFA）としても活動している。CFA とは、博士号（Ph.D.）または同等の専門性を持つ技術職員から選任された研究基盤マネジメント人材のことであり、研究者と技術職員の橋渡し、機器の共用促進と研究支援の質的向上、およびコアファシリティの維持・高度化の役割を担っている。筆者は天然物化学の研究者として NMR を中心に有機化合物の構造解析と合成に携わった研究経験と、技術職員として多様な装置の管理運用に携わった研究支援経験を有している。この実績が評価され、研究基盤マネジメント人材としての活躍を期待されたため、CFA に選任されたものである。筆者は現在、

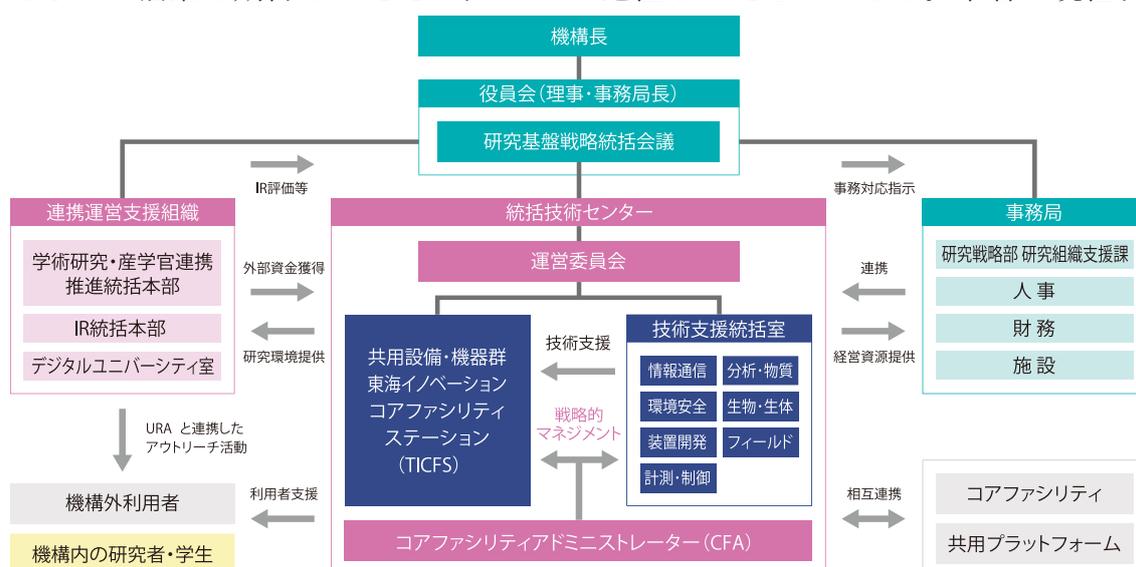


図1 コアファシリティの運営体制

CFA の業務として技術相談対応、機器共用の推進、研究基盤拡充といった業務に従事している。

1.2 物質分析系 TC コース（構造解析）申請に至った経緯

筆者は、分析に関する新たな知識や技術を習得するためには、単に研修へ出席するだけでなく、他大学の技術職員やメーカー技術者との積極的な交流が不可欠であると考えている。分析技術の向上に加え、研究支援者同士のネットワークを構築することが、より総合的で実効性の高い研究支援につながるという信念があるためである。この考えに基づき、筆者は自身の主業務である NMR を核として、研究支援能力の向上と人的ネットワークの拡大を図りたいと考えていた。

こうした中、東京工業大学（現 東京科学大学）は、2020（令和 2）年度に採択された先端研究基盤共用促進事業（コアファシリティ構築支援プログラム）の一環として、「TC（Technical Conductor: TC）カレッジ構想⁸⁾」を立ち上げた。TC カレッジとは、技術職員の研究支援能力を底上げし、研究力強化に繋げることを目的とした、オールジャパンの高度技術職員育成制度である。同カレッジは開設当初、学内の技術職員のみを対象としていたが、2022（令和 4）年度からは学外者の受け入れも開始された。

一方、東海国立大学機構は、上記事業に 1 年遅れて 2021（令和 3）年度に採択されており、コアファシリティの機能強化に資する技術職員の人材育成を推進していた。このような背景のもと、筆者の技術研鑽に対する意欲が機構内で高く評価され、2023 年度に TC カレッジ「構造解析系 TC コース」への入学が認められた。同カレッジにおける各種カリキュラムの受講や実習を通じて、NMR のみならず他装置を用いた構造解析技術を習得するとともに、他機関の研究者や技術職員、さらにはメーカー技術者と、これまで以上に広く深い専門性を有する人的ネットワークを構築することができた。

このように、TC カレッジでの活動を通じて、CFA として求められる高度な技術力やマネジメントスキル、さらにはコミュニケーションスキルを実践的に身につけるに至った。

1.3 核磁気共鳴装置に関する技術、技能、手法

筆者が管理運用および研究支援に携わっている核磁気共鳴装置 (NMR) は、以下の 3 台である。①および②は名古屋大学生命農学研究科 NMR 委員会が管理運用する装置であり、③は名古屋大学全学技術センターが学内外に広く共用している装置である。

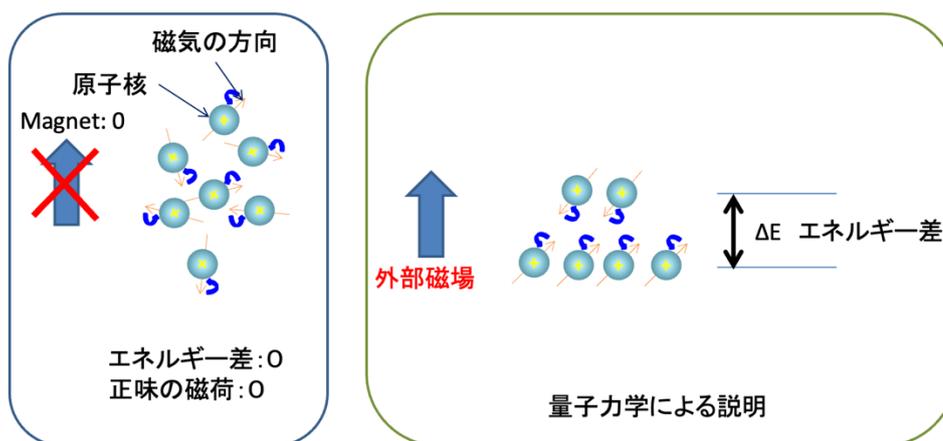
- ① 溶液 NMR (400 MHz × 2 台) : 生命農学研究科 NMR 委員会運用
- ② 高感度溶液 NMR (600 MHz) : 生命農学研究科 NMR 委員会運用
- ③ 固体・液体・半固体・拡散測定対応 NMR (500 MHz) : 全学技術センター運用

これらの装置を適切に運用し、また利用者への講習会を行うにあたって、筆者は核磁気共鳴現象の原理を以下のように説明している (図 2)。 ^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{31}P といったスピン量子数が 0 ではない原子核はスピン角運動量を持つ。これらは外部磁場が存在しない状況ではランダムな方向を向いているが、外部磁場下では磁場に対して正方向 (低エネルギー状態) または負方向 (高エネルギー状態) に整列する。このとき、二つの状態間にはわずかなエネルギー差が生じるため、その差に相当する周波数の電磁波 (ラジオ波) を照射することで吸収が起こり、原子核が励起される。その後、励起された核スピンの置かれた環境にエネルギーを放出しながら基底状態へ戻る過程 (緩和過程) を、共鳴信号として取得するのである。⁹⁾ 測定対象となるサンプルは、溶液、半固体、固体と状態が多岐にわたる。そのため、高い感度と精度で測定を行うには、サンプルの状態に適した観測方法を選択し、目的に応じた検出用プローブを使い分けることが不可欠である。また、共鳴現象を捉えるための分光器についても、電磁波の出力強度等に合わせて構成を最適化する必要がある。NMR 装置は、主に以下の 5 つのユニットによって構成されている。(1) マグネット、(2) プローブ、(3) 分光器、(4) 温度・環境制御用コンプレッサー、(5) 制御用コンピュータ (制御 PC)。近年では、超伝導マグネットの安定運用のために、液体窒素や液体ヘリウムの蒸発を抑制する回収・再凝縮装置が付属することも一般的となっている。筆者はこれまで、汎用的な溶液 NMR 測定から、高感度測定、固体・半固体測定、および拡散測定に至るまで、多岐にわたる技術の実践経験

を積んできた。その過程において、単なる装置の保守管理に留まらず、研究現場のニーズに即した高度な研究支援体制へと発展させるべく、業務体制の構築に尽力している。

NMRの基礎(原理) 外部磁場下での原子核の振る舞い

NMRにおける外部磁場の役割=原子核のエネルギー差を生む
=原子核の磁荷の向きを揃えて電磁波を吸収可能(NMR観測可能)にする。



⇒原子核のエネルギー差に相当する電磁波を与えることで吸収が起こる。

図2 NMR現象における原子核の振る舞い

1.4 本論文の構成

本論文は、筆者の経験に基づいて5章で構成することとした。各章の構成および概要は、次の通りである。

第1章 緒論 東海国立大学機構統括技術センターにおける分析技術支援体制を紹介し、物質分析系 TC コースへの申請に至った経緯を述べる。

第2章 岐阜大学における研究支援に関する業務 岐阜大学での勤務を振り返り、限られた資源の中でどのように研究支援、教育支援、地域貢献を両立させたかを詳述する。特に、機器分析分野における実務を通じた支援体制の基礎構築について述べる。

第3章 異動後における研究支援に関する業務 名古屋大学への異動後、生命農学研究科における共用 NMR の管理運用体制や、学生への教育支援の実績に

ついて報告する。また、課題のあった電子顕微鏡運用の再構築プロセスについても言及する。

第4章 CFA としての取り組み TC カレッジでの研鑽を踏まえ、CFA（研究基盤マネジメント人材）としてどのように組織横断的な利用促進や研究支援に従事したかを論じる。具体的な支援事例を通じ、技術職員がマネジメント視点を持つことの有効性を検証する。

第5章 まとめと展望 これら一連の活動を総括し、今後の東海国立大学機構、およびわが国の研究基盤を支える技術職員・CFA のあるべき姿について展望を述べる。

第2章 異動前の研究支援に関する業務

2.1 大学発ベンチャー勤務を経て岐阜大学へ

筆者は2010年3月に岐阜大学にて博士（農学）を取得し¹⁰⁾、岐阜大学発ベンチャー企業に勤務していた。そこでは、有機合成および精製技術を駆使した高純度天然物試薬の研究開発・生産、さらには厳格な品質管理業務に携わった。これらの業務を通じ、研究開発、生産、品質管理のどの領域においても、機器分析が成果のクオリティを担保する手段として極めて重要であることを肌身で学ぶ貴重な機会となった。前職での経験から培われた、効率的かつ精密な実験遂行能力と、ユーザーニーズを的確に捉えて成果へと還元する精神は、後に大学という教育研究の場において研究支援に従事する際、筆者の技術職員としての基盤となった。着任当初は事務組織に属する技術系職員としての採用であったが、配属先となった高等研究院科学研究基盤センター機器分析分野において、前職の天然物合成化学における知見と分析技術を背景とした研究支援活動を開始した。

2.2 岐阜大学科学研究基盤センター機器分析分野での役割

筆者は2014年4月、岐阜大学高等研究院科学研究基盤センター（以下、岐大基盤センター）機器分析分野に分析系技術職員として配置された。図3に同分野のホームページを示す。筆者が所属した期間は2014年4月から2022年12月までであった。採用時は事務系組織を本籍としていたが、期間中に技術系組織へと所属が変更された。加えて、岐阜大学におけるガバナンス体制の見直しによって人員配置が変更され、求められる職務内容も段階的に変化した。このような組織の変遷を経て、技術職員として多岐にわたる実務経験を積む機会を得ることとなった。

岐大基盤センター機器分析分野のミッションは、①「最先端分析機器の提供（整備・管理・運用を通じた研究機会の提供）」、②「最新の機器分析技術に関する情報拠点としての教育・研究支援」、③「最新分析機器の学外への開放（地域社会への貢献）」の三本柱で構成されていた。これらは、それぞれ研究

支援、教育支援、地域貢献に対応するものである。岐大基盤センターでは、応用生物、工、医、教育の各学部から機器分析や装置管理に精通した教員を、学長委嘱¹¹⁾による協力員として配置する体制で組織が運営され、前述のミッションが遂行されていた。

筆者は学生時代を岐阜大学で過ごし、学位取得の過程において岐大基盤センターの分析機器を利用してきた。この経験により、装置の操作および日常的な運営に関する基本事項を把握した状態で現場業務に従事することが可能であった。一方、運営実務においては、協力員（教員）による体制が各教員の業務多忙化の影響もあり、必ずしも十分な研究支援を継続的に提供できているとは言えない状況も確認された。当時、同センターにおいて機器分析関連業務を担当する正規の技術職員は筆者1名のみであった。筆者の専門は有機合成化学および天然物精製化学であるが、専門外の装置を含む幅広い機器への対応が職務として求められた。実際に求められた支援範囲は有機、無機、マテリアル分野を横断しており、単独の技術職員による対応には一定の制約が生じることが明らかとなった。



図3 岐阜大学高等研究院科学研究基盤センター（岐大基盤センター）
機器分析分野ホームページ（HP）

そこで筆者は、教員および協力員の指導を受けながら、無機・マテリアル分野の装置群を対象とした維持管理手法やトラブル対応手法を順次習得した。具体的には、走査電子顕微鏡（SEM）、透過電子顕微鏡（TEM）、X線光電子分光分析装置（XPS）の管理運営が重要業務と位置付けられていたため、これらの運用実務に段階的に関与した。こうした取り組みを通じて対応可能な範囲を拡大し、約 60 機種に及ぶ分析装置のうち、大半の装置について日常的な運用支援や基本的なトラブル対応が可能となった。さらに、装置運用に携わる過程で、分析装置の老朽化が研究活動に及ぼす影響を具体的に認識するようになった。各種装置の老朽化は大学の研究基盤の安定維持に直結する課題であり、筆者は装置更新や運用改善に関する検討にも参画した。大学を取り巻く環境の変化や構成教員の交代を背景とした装置運用方針の検討を通じ、研究設備のマネジメントを個別装置の管理に留めず、分野全体を俯瞰する視点で捉えるようになった。

2020 年 4 月の東海国立大学機構発足に伴い、岐阜大学と名古屋大学の技術組織を統合した統括技術センターが新たに設置された。この体制移行の過程において、次節（2.3 節）に示す支援業務にも携わり、筆者の業務範囲はさらに拡大し、多くの実務経験を重ねることとなった。

2.3 研究支援、教育支援、地域貢献

2.3-1 天然物精製、合成を基軸とした研究支援

筆者は岐阜大学での学位取得後、大学発ベンチャー企業における研究開発業務を通じて、天然物精製および天然物有機合成の専門的スキルを習得した。これらの精製・合成過程における妥当性評価には、核磁気共鳴分光法（NMR）、質量分析法（MS）、赤外分光法（IR）、紫外可視分光法（UV）、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を継続的に用いてきた。岐阜大学着任後は、これまでに培った分析スキルと研究経験を活用し、学内の教員に対する研究支援を実施した。具体的には、各種測定に関する技術的助言、測定支援、および測定代行を担当し、その結果、計 8 報の学術論文に共著者として参画した。また、材料工学分野への技術支援も展開し、走査電子顕微鏡（SEM）を用いた観察技術において一定の評価を得たことで、研究成果論文の謝辞に技術協力者として記載されるに至った。

2.3-2 学生実験の講師担当を通じた教育支援

大学の学部教育においても、技術職員のスキルが寄与する場面があった。生物分野の形態観察において、電子顕微鏡による生物試料観察は極めて重要な手法である。岐阜大学応用生物科学部では毎年、SEMを用いた観察を課題として実施していたが、担当教員の退職に伴い、学内の学生実験担当者の中に当該装置を操作できる者が不在となる事態が生じた。これを受け、筆者は装置操作の講師を依頼され、実機講習の実施を担当することとなった。この支援では、現場で培った実践的技術を教育に還元した。例えば、従来の測定手順書ではカーボンや白金蒸着、オスミウムコートによる前処理が指定されていたが、筆者は近年の手法であるイオン液体を用いた前処理を紹介し、学生実験を支援した。その結果、参加した学生から「実験が楽しかった」という前向きな感想を得ることができ、教育支援がもたらす貢献の大きさを実感した。

2.3-3 地域貢献

岐阜大学では学内向けのみならず、年1回の頻度で学外向けセミナーを企画・開催してきた。その一つである「中学生のための大型精密機器高度利用公開セミナー¹²⁾」は、地域の小中学生が科学に親しむ機会を提供する企画である。参加者が持ち込んだ虫や植物などをSEMやX線コンピュータ断層撮影(X線CT)で観察するほか、超高速カメラによる動作解析や、誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES)を用いた水中の無機イオン定量分析などが行われてきた。筆者はこれに加え、スライム作成や色素分離、ルミノール反応といった「参加者自身が手を動かし体感できる実験」をプログラムに組み込むことを提案した。これにより、身近な科学現象が大型精密分析装置とどのように関連しているかを体感できる構成とした。この企画は教員や学生(TA)の協力を得て実施され、組織間の連携の重要性を再認識する場となった。本プログラムへの参加をきっかけに理系大学を目指し、後に岐阜大学へ入学して筆者を訪ねてくれた学生との再会は、技術職員のスキルが次世代の育成に関与できるという大きな自信に繋がった。

また、地域貢献の別側面として、岐大基盤センターでは外部からの受託試験を受け付けている。従来は協力員の教員がすべて担当していたが、教務の多忙化により対応が困難な状況にあった。そこで筆者は、技術職員も主導的に担当できるよう2018年度に制度を見直した。その結果、2018年度の12件から、

2019年度31件、2020年度69件、2021年度88件、そして2022年度には209件と、受託件数を4年間で15倍以上に増加させることができた。これは地域の技術ニーズに応えるとともに、分野運用の安定化に大きく寄与する成果となった。

2.4 研究支援体制に関する業務（装置の高度化、自動化、遠隔化への対応）

岐大基盤センターで運用されていた分析装置の多くは、国立大学法人化の前後に導入されたものであった。そのため装置の老朽化が進んでおり、科学技術の発展に伴う性能の陳腐化も課題となっていた。筆者はこれらの課題に対し、機器を更新することでいかに最新の分析性能に近づけるかを模索してきた。特に、装置や設備の効果を最大限に発揮させるため、自動化および遠隔化を可能にする性能向上を重視した。こうした自動化への取り組みは、教員や研究者が分析に費やす時間の大幅な短縮へと結びついた。以下に、具体的な事例として、走査電子顕微鏡 - エネルギー分散型 X 線分光分析 (SEM-EDS) および NMR (600 MHz) の 2 機種における高度化、自動化、遠隔化の成果を述べる。

2.4-1 SEM-EDS の高度化

岐大基盤センターでは、2 機種 of 電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) が稼働していた。そのうちの一つ、2008 年に導入された日立ハイテク製 S-4800 は、セミインレンズタイプの対物レンズを備えた像観察専用装置であった。本装置には液体窒素冷却式のエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) が装備されていたが、検出器の保守部品供給が 2007 年頃に終了しており、感度の低さも大きな課題となっていた。この課題に対し、筆者は自動化と遠隔化を主軸とした高性能化を推進し、利用効率の向上を目指した。まず、令和 2 年度第 2 次補正予算「先端研究設備整備補助事業¹³⁾」により、画面共有システム「ExTOPE EM¹⁴⁾」を導入した。これにより、遠隔地と結んでディスカッションしながら SEM 観察および EDS 分析を行うことが可能となった。このシステム導入の結果、学外からの依頼分析において、サンプル送付後のサンプリング作業を現場（技術職員）が担当し、実際の観察プロセスをオンラインで画面共有しながら進める形態を実現した。

さらに、内閣府の令和2年度「国立大学イノベーション創出環境強化事業¹⁵⁾」により、シリコンドリフト検出器（SDD）式の高感度EDS検出器を導入した（図4）。この新型EDSは高感度であるだけでなく、SEM側の制御も可能であった。そのため、観察領域をあらかじめEDS側から指定することで、大面積のSEM観察やEDSマッピングを自動で実行できるようになり、取得したデータから粒度解析を行うことも可能となった。これらの改良により、利用者から非常に高い評価を得る機会が増え、測定件数の増大および新規ユーザーの獲得に至った。

SEMにおけるアップデート



図4 SEMの高度化に関する資料

2.4-2 600MHz NMRの高度化

岐大基盤センターでは、日本電子株式会社（JEOL）製の溶液測定に対応したNMR（400 MHz, 500 MHz, 600 MHz）を3台、およびBruker製のクライオNMR（600 MHz, 800 MHz）を2台保有していた。その中で、2007年度に導入された多核対応600 MHz機が最も不調をきたしていた。本装置の超伝導マグネットは、2014年度の移転に伴うオーバーホールや2度のクエンチを経て

安定稼働していたものの、年々高騰する液体ヘリウム価格を鑑みると、将来を見据えた装置の集約や台数制限は差し迫った課題となっていた。そこで筆者は、汎用 NMR の中で高い付加価値を持つこの 600 MHz 機を高度化し、先鋭化させることとした。

本装置に対して行った高度化の詳細は以下の通りである。既存のマグネットおよび液体窒素再凝縮装置を流用しつつ、検出器には汎用溶液多核プローブ¹⁶⁾（疑似 3 ch. 測定可能）と、オート回転制御機能を有する固体汎用 3.2 mm プローブの 2 本を採用した。サンプル導入についても、固体・溶液ともにオートサンプラーの対象とし、複数検体の自動測定に対応させた。また、制御の要となる分光器には、将来の拡張性を見据えてデジタル対応となった ECZR シリーズのミドルクラスを選定した。制御用 PC の刷新により、綿密なパルス制御、安定的な磁場追従性能、自動シム調整の高速化・高精度化、および定量 NMR（qNMR）測定プログラムへの対応が可能となった。さらに、遠隔測定用のセカンド PC を追加することで、遠隔地からのセルフユースが可能な構成とした。

学部教育等における分析装置の活用

目標： 遠隔操作対応装置 (NMR) を用い、
教員または技術職員が**遠隔操作**や遠隔展開による「**臨場感ある分析**」を教育現場に！

学部、大学院講義。学生実験での活用

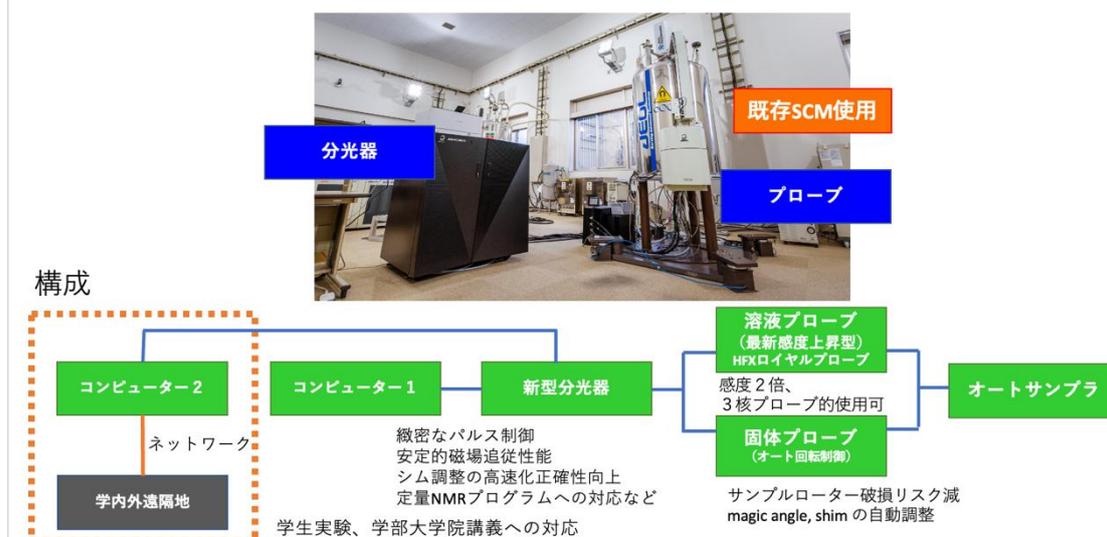


図5 NMRの高度化で用いた資料

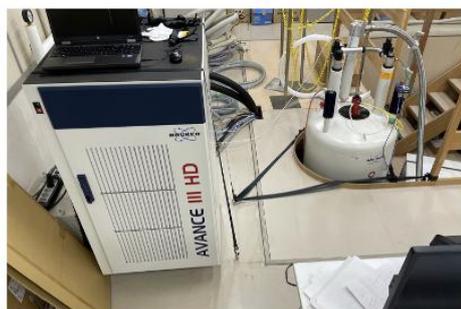
運用にあたっては、岐阜大学の厳格なネットワーク制限により、学内 LAN を経由した学外からの直接アクセスが困難であるという問題があった。これに対し、学内に独自の接続環境を構築することで、研究室などの学内遠隔地からの接続を可能とした。この環境構築により、学部や大学院の講義・実習において、技術職員が「出前講義」の形式で講師として参画することが可能となった。最新の NMR 測定を、臨場感を持って伝える仕組みを構築した結果、研究者や学生は測定条件の設定のみを行えばよくなり、特に長時間の測定において、待ち時間を他の実験等の時間に充てることが可能となった。これにより NMR の利用頻度は高まり、検体数も大幅に増加した。

第3章 異動後における研究支援に関する業務

3.1 名古屋大学農学部 の共用 NMR の体制

名古屋大学農学部における NMR の共用の歴史は長い。名古屋大学農学部が安城市から現在の東山キャンパスに移転してきた 1966 年頃まで遡ることができ、後藤俊夫（生物有機化学）研究室で導入された当初より、関連する研究者が共用できる環境が整備されてきた。その後、農学部では「核磁気共鳴委員会」を設置し委員会として装置を共用し、現在は学内外に NMR を用いた構造解析ツールを提供している。現在、これらの装置に関わる技術職員は主に 2 名体制である。装置構成は、溶液 400 MHz NMR が 2 台、および高感度型溶液クライオ NMR 600 MHz が 1 台の計 3 台体制である（図 6）。400 MHz の 2 台は Bruker 製であり、セルフユース装置として運用している。以前は AVANCE 分光計と QNP プローブにより ^1H , ^{19}F , ^{13}C , ^{31}P 核の測定が可能であったが、2020・21 年度の補正予算によりマグネットを残してシステムを一新した。現在は最新の AVANCE NEO 分光計および iProbe SMART の導入により、ブロードバンドでの自動測定に対応している。また、オートサンプラー (SampleCase) により、複数検体の連続自動測定が可能となっている。

高感度型 600 MHz 機は Bruker 製クライオ NMR であり、TCI プローブにより ^1H , ^{13}C , ^{15}N 核に関する多様な測定が可能である。本装置は専任スタッフが測定依頼を受け、内容を議論した上で測定を実施する体制をとっている。名古屋大学農学部における装置共用体制の特徴として、以下の点が挙げられる。まず、セルフユース用の 400 MHz 機には液体窒素の再凝縮装置を導入していない。一方、超伝導マグネットに不可欠な液体ヘリウムについては、学内の極低温実験室にて再液化されたヘリウムをリサイクルし、充填・使用している。また、装置の維持管理には学生への教育的要素を組み込んでおり、各研究室が月単位で室内の清掃やゴミ捨て、液体窒素の運搬といった補助を担う運用としている。この協力体制を前提とすることで、学内利用者に対する装置利用料を「協力ユーザー」価格として低廉に設定している。



AVANCE III HD 600
(cryo probe)



AVANCE NEO 400 2台

図6 名古屋大学生命農学研究科 NMR 委員会の運用する NMR

3.2 NMR を用いた研究に対する学生の研究支援

筆者は 2023 年 1 月に名古屋大学に異動した。これにより、農学部における NMR 研究支援が複数名体制となったため、装置ごとの情報を集約し、運転状況や故障対応を共有・議論するためのツールが必要となった。そこで、日々の装置状態、寒剤（液体ヘリウム・液体窒素）の補充記録、エンジニアによる作業レポート、トラブル対応記録、および講習会記録などの各種情報を「機器ノート」として集約することとした。このノートは学生等のユーザーも記入可能とし、使用時に気づいた事項を書き込んでもらうことで、ユーザーと管理者間の円滑なコミュニケーションを図っている。

農学部の NMR は、研究室に配属された学生や新たに着任した教員が、所定の講習を受講した上で使用可能となる。筆者は各研究室向けに開催される講習会の支援を担当している。講習内容は、寒剤に関する安全教育、磁場取り扱い上の注意、NMR の原理説明、重溶媒ロック、チューニング、およびシム調整の理解、オートメーション測定の実証など多岐にわたる。講習の際に、受講者が各自のサンプルを持ち込んで実践的な指導を受けられる形式をとっている。

近年の NMR オート測定システムは極めて安定しており、測定プロセス自体で失敗することは稀である。ただし、システムの不調や検体のセットミス等によりエラーが生じることがある。これらのエラーは、制御ソフトウェアや分光計のリスタートで解消可能であるが、安全上の理由から学生にはその操作を許可していない。そのため、農学部 NMR 委員会では、電話対応に加えて Microsoft

社のアプリケーションを活用し、関係者へ迅速に通知される仕組みを導入して対応の効率化を図った（図7）。

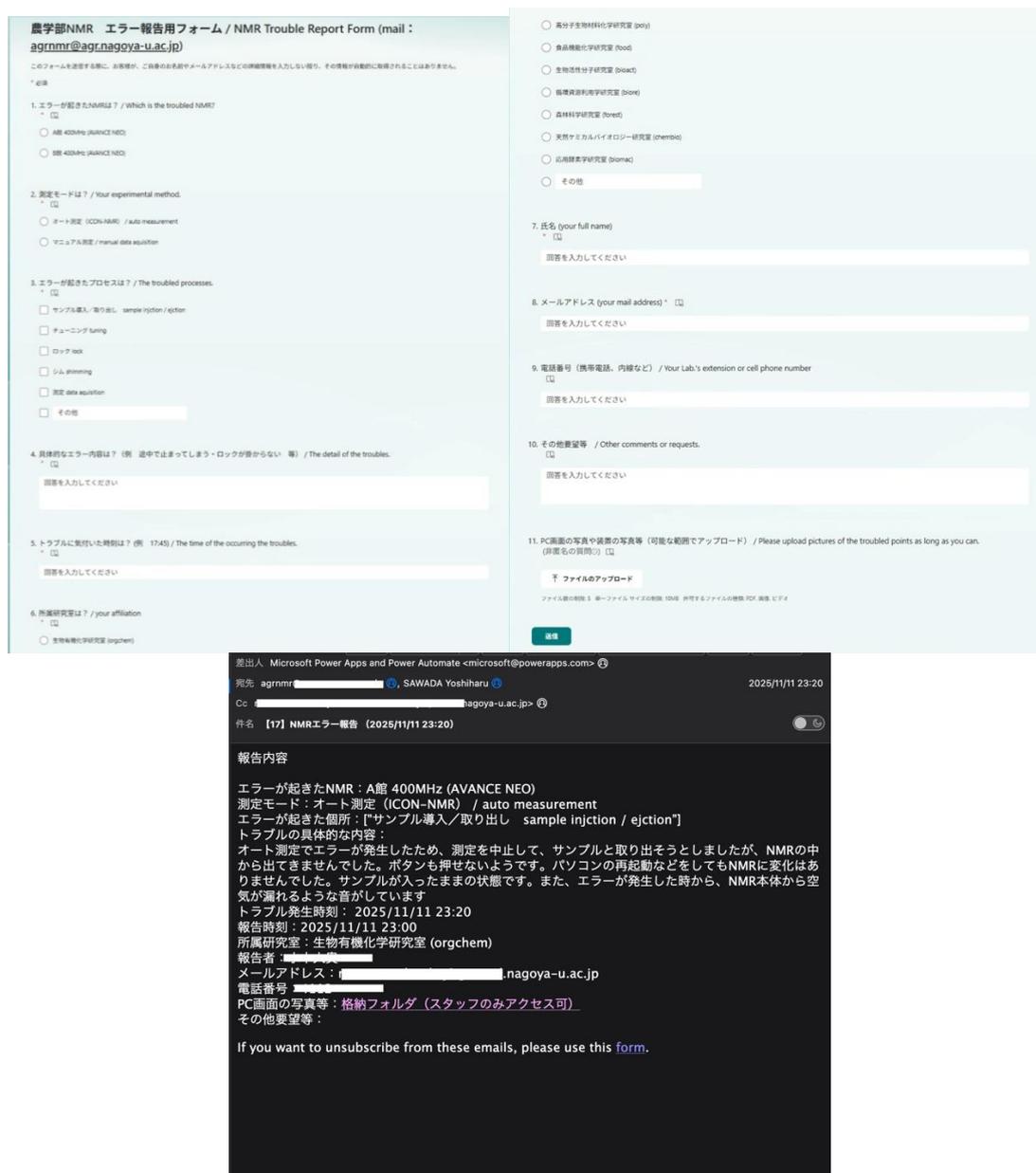


図7 Forms などを利用した エラー報告（自動メール）の事例

具体的には、Microsoft Forms によるエラー報告（発生時間、機種、内容、報告者連絡先等）を入り口とし、Microsoft Power Automate を用いて管理者へメール通知を行う仕組みである。この報告には写真の添付を可能としており、装置の状態や操作画面を視覚的に把握できるようにした。この仕組みにより、担

当者が不在時でも利用者は状況を確実に報告でき、特に操作に不慣れな学生も Forms の項目に従うだけで的確な報告が可能となった。報告用の QR コードを測定室内に掲示することで、スマートフォンから手軽にアクセスできる環境を整えている。また、蓄積されたデータは統計的に処理できるため、管理者側での故障傾向の把握や業務の省力化にも寄与している。

3.3 電子顕微鏡 (SEM・TEM) を用いた農学部における体制の再構築

筆者は 2023 年 1 月より名古屋大学農学部にて業務を開始した。NMR の管理運営は当初から想定していた職務であったが、ここではより広く装置を扱う業務へと拡大した事例を述べる。本学部において、生物系の電子顕微鏡観察に高度な知識と技術を持つ教員が、2023 年度をもって他大学へ異動することとなった。この教員は、電子顕微鏡観察の教育、装置管理、および運用に尽力されており、その知見を求めて多くの研究者が集まる存在であった。そのため、異動に伴う実務の空白について、関連する教員からも懸念の声が上がっていた。筆者自身は、第 2 章で述べた岐阜大学での経験に基づき、電子顕微鏡に関する基礎的な技術を習得しており、異動する教員との個別相談も実施していた。一方、透過電子顕微鏡 (TEM) については、筆者の知識・技術が十分とは言えない状況であったが、当該教員から直接技術指導を受ける機会を得ていた。

このような背景から、教員の異動に伴い、農学部内の共用電子顕微鏡の運営管理を筆者が担当する運びとなった。なお、以前は「電子顕微鏡委員会」による組織的な運用がなされていたものの、当時は実質的に活動を休止している状態にあった。装置の集約は進んでおらず、教員主体で個別に運用されている状況であったため、構成教員の離籍を機に、体制の再構築から取り組むこととなった。

具体的に運用管理を行う装置は、以下の 4 機種である。いずれも日立ハイテク製であり、反射電子による卓上走査型電子顕微鏡 (TM-3030) 2 台 (うち 1 台はオックスフォード社製 EDS (SWIFT-ED) 付き)、熱電子銃装備の走査型電子顕微鏡 (S-3000N)、および 100 kV 透過型電子顕微鏡 (H-7500) である (図 8)。



TM3030 + SWIFT ED



H-7500

図8 名古屋大学生命農学研究科で共用利用可能な電子顕微鏡

いずれも操作経験のある装置ではあったが、筆者個人で全ての運営を引き受けることには、持続可能性の観点から課題があると考えた。そこで、名古屋大学全学技術センターとしての業務体制に整理し、装置管理、利用者教育、および故障対応に対して組織として継続的に対応できる体制の構築を目指した。

具体的には、前述の4機種のうち、共通の部屋に配置されている装置については筆者が管理を一手に引き受け、特定の研究室に設置されている装置については技術面でのサポートを通じて運用に協力するという、2通りの運用形態を提案した。本取り組みを開始して約2年が経過したが、実際にSEM・TEMともに複数の研究室から新規利用者を獲得している。利用者講習や故障への迅速な対応を通じて、組織的な管理運用の有効性を実証しつつある。また、学外利用の受け入れも開始しており、既に数件の学外利用実績を上げるなど、着実な成果を得ている。

第4章 CFA としての取り組み

4.1 CFA としての役割

我が国では研究力の強化と「科学技術創造立国」への回帰を目指し、第6期科学技術・イノベーション基本計画¹⁷⁾(2021-2025年)をはじめとする多様な科学技術政策が推進されている。これらの政策は、主に「研究人材」「研究資金」「研究環境」に焦点を当てている。その上で2025年には「科学の再興」が掲げられ、博士課程進学率の低下、研究時間の不足、基盤的経費の停滞、設備の老朽化、国際共同研究比率の低さ、産学官連携の脆弱性といった課題が改めて指摘されている。これらの課題に対応するため、基礎研究力の抜本的強化、研究環境改革と支援人材の充実、博士人材の流動化、戦略分野への集中とAI活用、産学官連携の社会実装といった重点領域に焦点を当てた政策が打ち出されている。

研究力の回復・強化には、「人材」「資金」「環境」を各大学の研究現場において有機的かつ統合的に運用し、研究者にとって真に有効な研究基盤を構築する必要がある。特に人材面では、技術職員、URA、プロジェクトマネージャーといった研究支援・研究協力人材の不足が著しい。研究設備・機器については、共用化をベースとした整備・更新、およびデータ管理体制の整備が研究効率向上の鍵とされている。

このように、研究基盤のマネジメントは単なる設備管理に留まらず、研究戦略や人材育成といった領域での拡充を必要としている。こうした状況の中、名古屋大学では2020年に、研究現場における支援の専門職である「技術職員」を適正な人材と位置づけ、CFAとして選定し、この領域を強化する取り組みを導入した。制度導入から2025年にかけて、技術職員が主体的に研究基盤マネジメントを担う体制整備が進められてきた。

その中で筆者は、農学部外に設置されている装置の管理運用支援や、専門分野以外の支援業務、主担当装置の利用促進といった活動に従事してきた。主担当装置であるAVANCE NEO 500の利用促進については4.2節で詳述するため、本節では部局横断的な支援活動について報告する。

名古屋大学では理学部、工学部、農学部、創薬科学研究科、全学技術センターなどの各部局に計40台以上のNMRが設置されており、各所に配置された

技術職員が管理運用に関わっている。しかし、技術職員が配置されていない部局も存在する。例えば、創薬科学研究科の有機化学系研究室には合計3台の溶液仕様 NMR が設置されているが、教員の研究時間確保が課題となっていた。そこで筆者は CFA としてこの課題解決に向けた議論に参加し、技術職員のエフォート管理を通じて、これら3台の NMR の管理運用を支援することとなった。これらは JEOL 製の溶液 400 MHz 機であり、液体窒素の充填が不可欠な共用装置である（図9）。高頻度で使用されるため汚れも発生しやすく、導入後の年数経過によりトラブルも生じやすい状況にある。

筆者は、週1回程度の液体窒素充填を担当するとともに、定期的なプローブの調整や清掃を実施している。さらにトラブル発生時の初期対応から状況判断、メーカーサポートの要否判断までを一貫して担当することとした。本学では理、工、農の各学部にも NMR 専門の技術職員が配置されているため、エフォートを共有してチームとして管理運用に携わる体制をとっている。これにより、技術職員のいない部局に対しても、教員の研究時間を確保しつつ、研究基盤を安定的に維持する体制を構築することができた。



図9 他部局の NMR に液体窒素充填中の様子

また、日常の運営体制の中では、研究者から依頼分析以外の相談を受けることも多い。こうした際、異なる分野の技術職員や CFA 同士の連携が、実効性のある支援へと繋がる。その一例として、ガラス器具の修理対応が挙げられる。有機合成や天然物精製の過程において、フラスコ、滴下ロート、分液ロート、精製用カラムといったガラス器具は欠かせない道具である。これらは日常的に

使用される中で破損やヒビが生じるが、近年は修理費用が高騰しており、研究者の悩みの一つとなっている。名古屋大学内には「ガラス工作室」があり、修理や特注工作の依頼が可能であるが、岐阜大学内には同様の工作室がなく、従来は学外業者に依存していた。そこで CFA として、法人統合による「機構内依頼」として名古屋大学の工作室を利用できることを紹介したところ、岐阜大学側からの依頼件数も伸びつつある。これは研究費の効率的運用（研究エコシステム）に寄与するだけでなく、機構内のリソースを最適化するマネジメント案件であると認識している。

4.2 NMR の管理運用と利用促進

全学技術センターでは、重点運用機器として 8 台を設定しており、筆者はそのうちの固液兼用 NMR である「AVANCE NEO 500 MHz」の管理運用を担当している。本装置の主な仕様は以下の通りである。

表 1 AVANCE NEO 500 MHz の仕様

項目	仕様
マグネット	Ascend 500 (11.7 T / ^1H 換算 500 MHz)
ボア径	54 mm (スタンダードボア)
分光計	AVANCE NEO (最大 500 W, 12.5 ns 精度)

日々の点検として、マグネット内の寒剤（液体ヘリウム・液体窒素）の残量確認、コンプレッサーの稼働時間と送圧の確認、蒸発ヘリウム量、および設置場所の酸素濃度の確認を行っている。液体窒素については、筆者を含む職員の手で週に 1 回の頻度で補充を実施している。

プローブは、図 10 に示す 5 種類を使い分けることで多様な測定に対応している。固体測定については、4 mm および 1.3 mm の 2 種類のプローブで対応が可能である。通常、15 kHz までの回転速度であれば 4 mm プローブを使用するが、スピニングサイドバンド (SSB) が複雑でメインピークとの判別が困難な場合には、最大 67 kHz の高速回転が可能な 1.3 mm プローブを使用する。これまでに ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{27}Al , ^{31}P 核 といった核種での測定実績がある。

溶液測定については、 ^1H , ^{19}F および一般的な多核に対応した最新型プローブを備え、オートチューニング、オートロック、オートシムによる自動化を図っている。さらに、固体と液体の間に位置する領域を対象とした「半固体 (HR-MAS) プローブ」や、分子の運動性を評価する「拡散 (Diffusion) プローブ」もラインナップに加えている。これらの多機能性と高度な測定への対応を考慮し、本装置は原則として「依頼分析」専用の装置として運用している。

利用可能なプローブ

	検出器	形状	核種	勾配磁場強度	温度範囲
iProbe CPMAS	4 mm	固体	^1H , ^{19}F , ^{31}P - 15N		-80 ~ 200°C
iProbe HRMAS	4 mm	半固体	^1H , ^{13}C , ^2H	50 G/cm	-20 ~ 80°C
1.3 mm DVT	1.3 mm	固体	^1H , ^{19}F , ^{31}P - 15N		-30 ~ 70°C
iSmart Probe	5 mm	溶液	^1H , ^{19}F - ^{199}Hg , ^{17}O - ^{109}Ag	50 G/cm	-150 ~ 150°C
DIFFBB	5 mm	各種	^1H , ^9F , ^{31}P - 15N	1,700 G/cm	-40 ~ 150°C

測定するサンプルに合わせ使用するプローブ (検出器) 条件 (固体/液体/半固体、測定対象核、使用する測定パラメーター、測定温度、積算回数等) をディスカッションの上詳細を決めてその条件に合わせて測定を実施します。

測定室に備えたプローブを著しく汚染または消耗する、若しくはプローブを破損する恐れのある成分を含む試料や測定条件での測定をご希望される場合は、別途プローブ料金を申し受ける場合があります。

図 10 名古屋大学全学技術センター共用 NMR で使用可能なプローブ

本装置は 2021 年度末に導入され、約 1 年間の準備期間を経て共用が開始された。筆者は 2023 年 1 月の着任時、「共用の活性化」をミッションとして与えられた。それまで固体 NMR 測定の経験は乏しかったが、自ら装置の習得に努めるとともに、大阪大学の稲角 TC や戸所博士、名古屋工業大学の瀧 TC らと意見交換を行い、まずは知見のある有機物質のアプローチから開始した。また、学内の固体 NMR 利用者へ直接足を運び、最新装置による利便性の向上や本装置独自の特色を PR した。

こうした「草の根」的な活動の結果、この 3 年間で学内利用者はもとより、岐阜大学を含む機構内、さらには機構外の研究機関や民間企業からの新規利用実績も着実に増加している (図 11)。

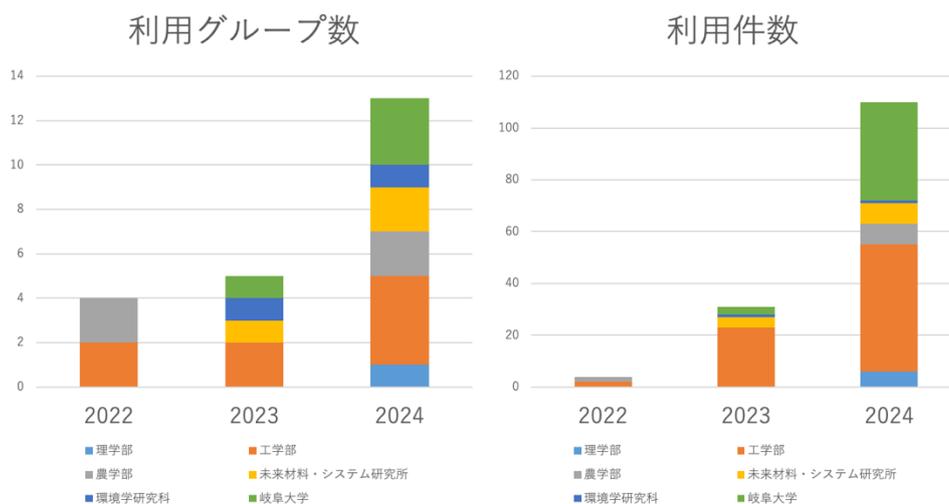


図 11 名古屋大学全学技術センター共用 NMR の機構内利用実績

利用促進の一環として、筆者自身が測定したデータを「アプリケーションノート」や「データレポート」として統括技術センターのウェブサイトで公開し、研究者への宣伝活動を行っている。その代表例として、半固体プローブを用いた事例を紹介する。

有機化学や天然物化学において、溶液 NMR による精密な構造解析を行う場合、「サンプルが完全に溶解していること」は絶対条件である。これは、不溶物が存在すると分解能が低下し、二面角情報（カープラスの式）に関わるカップリング定数が正確に得られない、あるいは基準ピークの判定が困難になるためである。

しかし、半固体測定では、固体と溶液の利点を併せ持った測定が可能となる。これは、固体サンプルローター内で半固体状のサンプルを重溶媒によって「膨潤」させ、運動性を担保した状態で測定を行う手法である。

筆者は、本学農学部で開発された「なごみ桜¹⁹⁾」の酒粕に着目した。酒粕に少量の重水を加えて調整したサンプルを、Kel-F 製の封入セル（インサートチューブ）に収め、半固体プローブで測定を行った。その結果、製造過程で生成されたグルコースとエタノールが、絞った後の酒粕内にも残留していることを鮮明に捉えることができた（図 12）。比較実験として通常の溶液プローブや固体プローブでも測定を試みたが、半固体プローブほどの感度と分解能は得られなかった。

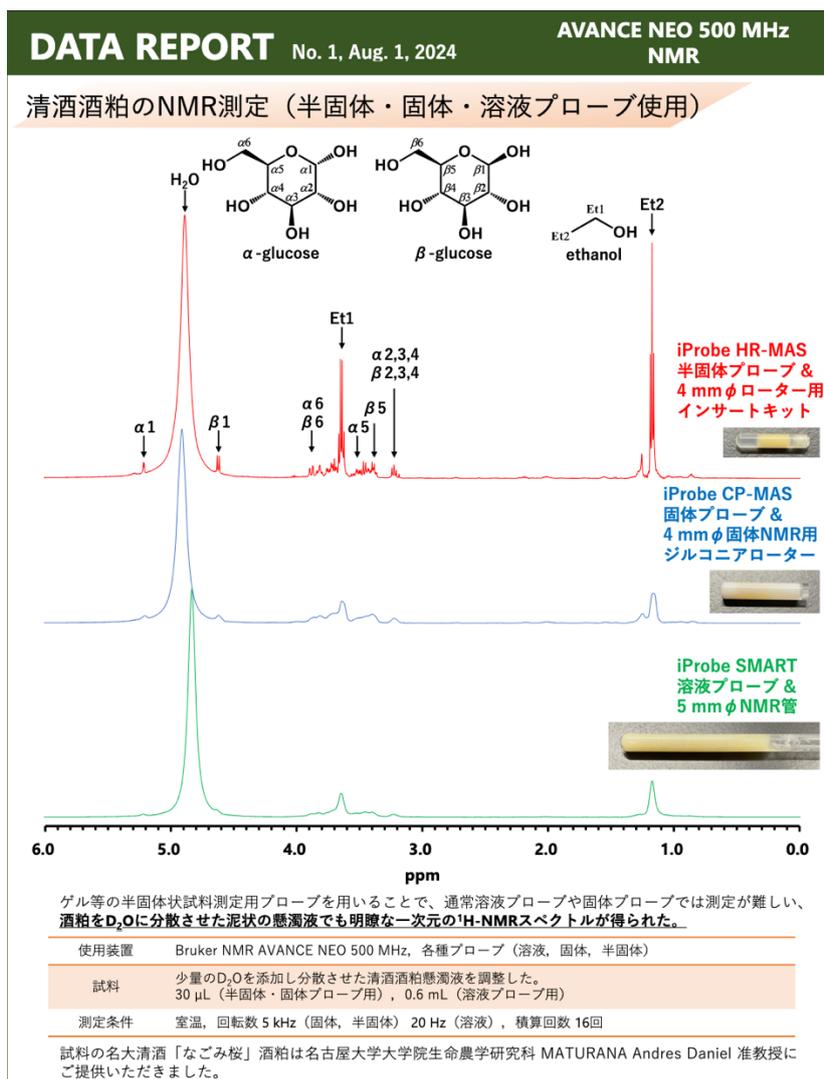


図 12 半固体プローブの測定事例

このような取り組みを通じて装置の稼働率を向上させるとともに、有機化学からマテリアル研究まで、幅広い分野に対して実効性のある技術支援を提供することができている。

4.3 統括技術センターの共用 NMR を用いた研究支援事例報告

これまでの測定実績のうち、学術論文として公開された成果を中心に、具体的な研究支援事例を以下に報告する。

4.3-1 ^{13}C CP-MAS 測定 of 効率化

学内研究者への支援例として、 ^{13}C CP-MAS 測定 of 効率化について述べる。対象としたサンプルは、多孔質材料 MCM-41 のシリカ表面に、錯体形成の足場としてキラルな N-[(R)-および(S)-1-フェニルエチル]アセトアミドを修飾したものである²⁰⁾。本サンプルの課題は、シリカゲルの体積に対して導入された有機分子のサイト数が少ないため、 ^{13}C 測定 of 感度が著しく低くなる点にあった。

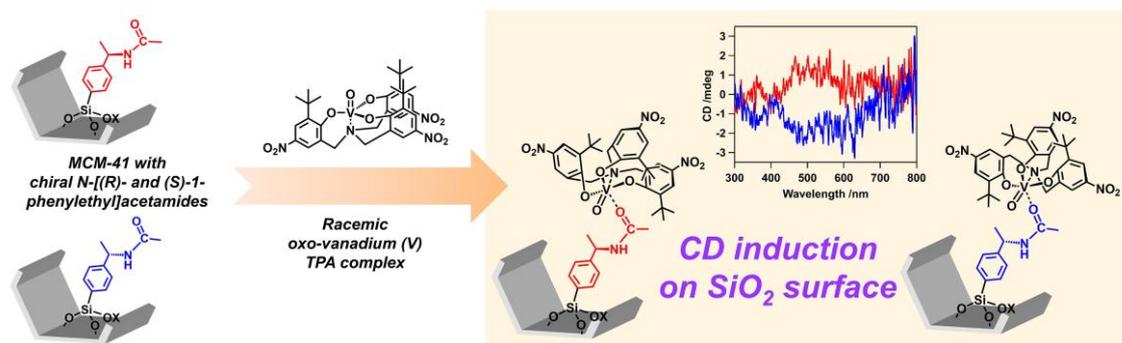


図 13 MCM-41 の有機分子修飾方法²⁰⁾

感度確保のため、研究者は当初 10 万回を超える積算を実施していたが、通常の CP-MAS 設定では測定に約 4.5 日を要し、現実的ではなかった。

そこで筆者は、トータルの測定時間を短縮しつつ積算回数を確保するため、パラメーターの最適化を行った。NMR 測定において 1 スキャンあたりの待ち時間が占める割合は大きい。本測定 of 目的は主に化学シフトの確認であり、定量性は重視されない。そのため、通常 3 秒に設定されるパルス待ち時間を 0.5 秒へと短縮した。また、検討段階の結果を踏まえ、装置への負荷を考慮しつつ取り込み時間を調整することで、最終的に 20 時間を下回る時間で必要なデータを取得することに成功した (図 14)。

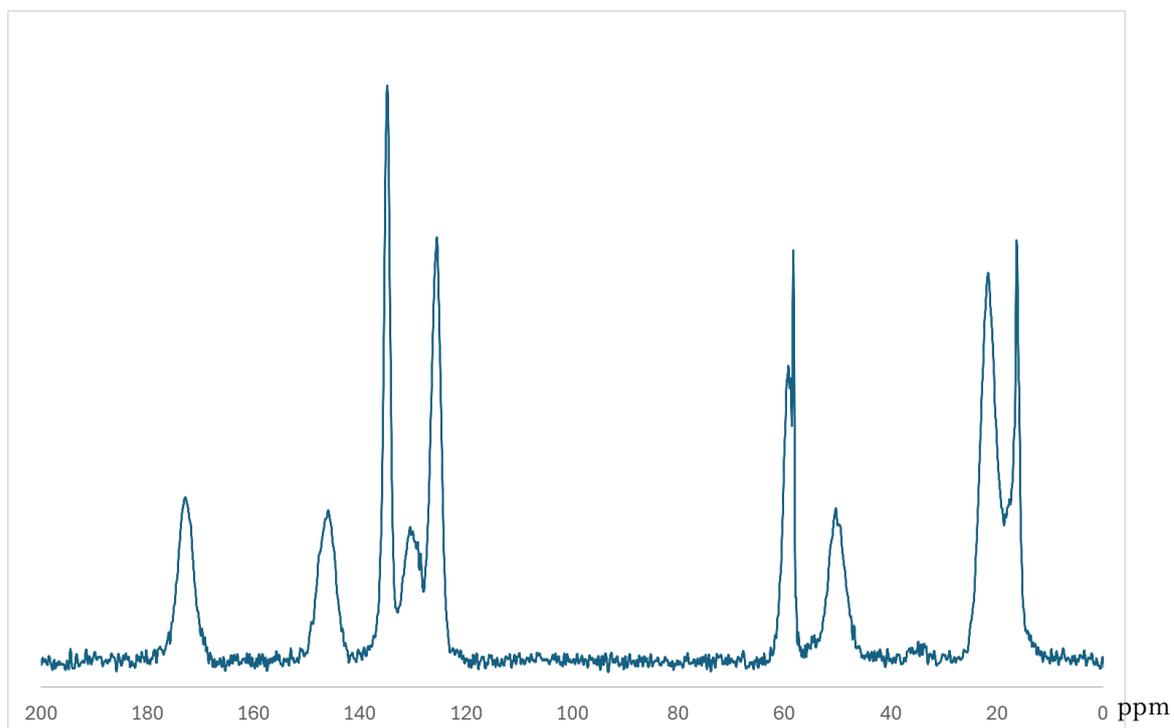


図 14 測定時間を短くして得られた CP-MAS 測定結果

4.3-2 ^{29}Si -NMR 測定におけるバックグラウンド除去と定量解析

次に、 ^{29}Si 核の固体 NMR 測定事例を報告する。本装置で使用している固体 4mm プロブは温度可変仕様であるため、プロブ構成材に由来する ^{29}Si 核の Q サイトバックグラウンドシグナルが検出されてしまう。しかし、多くの研究者はサンプル由来の T サイトだけでなく、Q サイトの定量測定も希望される。そこで、近年開発された TRIP²¹⁾ と呼ばれるバックグラウンド除去用のパルスシーケンスを導入した。まず標準サンプル (Q8M8) および空ローターを用いて、TRIP 測定と通常の DP-MAS 測定の比較実験を行った (図 15, 16)。

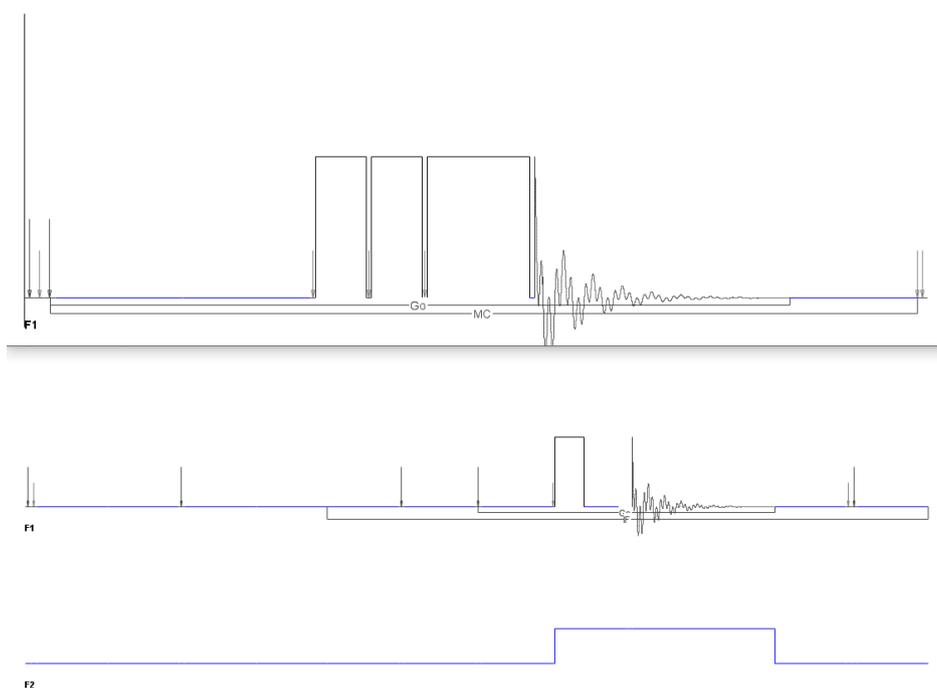


図 15 TRIP 測定パラメーター（上段）と
DP-MAS 測定パラメーター（下段）の比較（Bruker 社資料）

実験の結果は図 16 上であるが、上から順に Q8M8 の TRIP 測定、Q8M8 の DP-MAS 測定、空サンプルの TRIP 測定、空サンプルの DP-MAS 測定である。これらの結果により、-110 ppm 付近のブロードなバックグラウンドピークが TRIP 測定により効果的に抑制され、ローター内のサンプル由来の信号のみが検出されることを確認した。この手法を依頼サンプルに適用したところ、T サイトおよび Q サイトのピークを明確に分離して得ることができた。さらにデコンボリューションとフィッティング解析を行うことで、3 つのピークの積分比から存在比を $\sigma\text{-102} : \sigma\text{-111} : \sigma\text{-114} = 1 : 6.2 : 2.6$ と決定することができた。

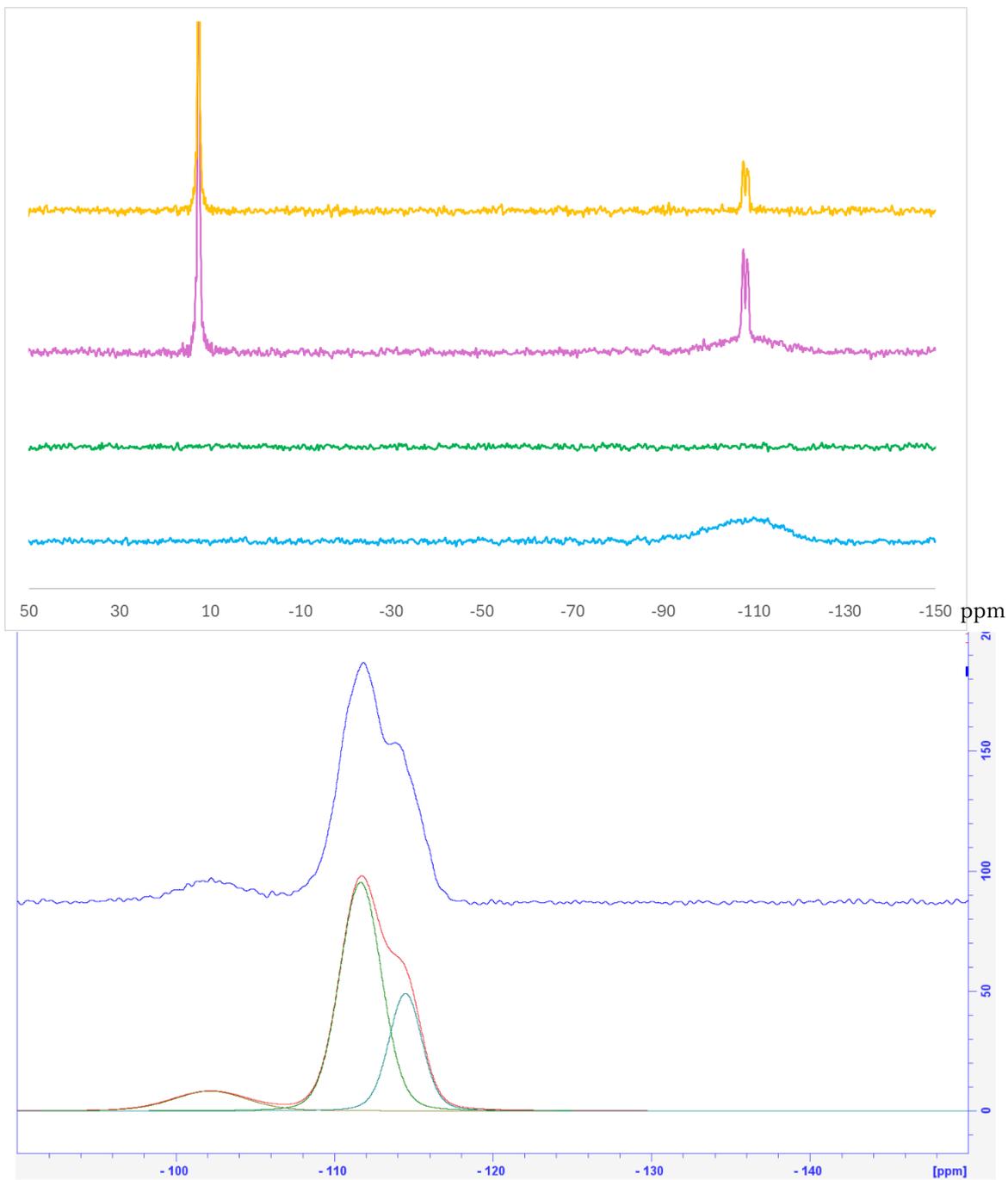


図 16 TRIP 測定と DP-MAS 測定、結果の比較 (上段)
 実際のサンプルの TRIP 測定結果とデコンボリューション結果

4.3-3 不安定なアスタキサンチン異性体の溶液 NMR 解析

学外研究者への支援例として、カロテノイドの一種であるアスタキサンチンの溶液測定について報告する。アスタキサンチンは強い抗酸化作用を持つ有用成分であるが、光や熱、溶媒環境により極めて異性化しやすい（図 17）。

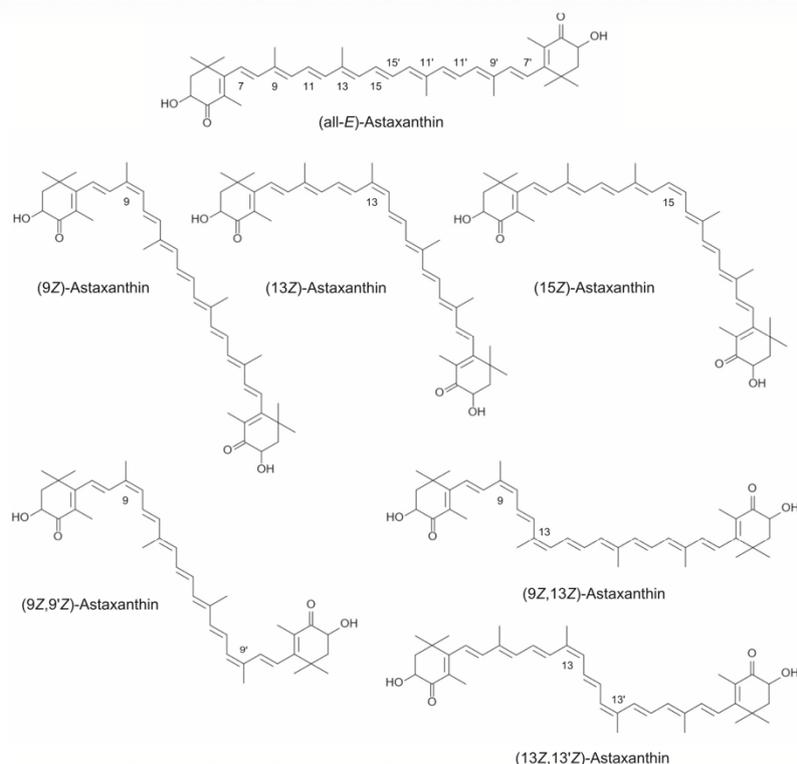


図 17 アスタキサンチン異性体構造

安定構造である全トランス型 (all-*E*) から、1 箇所以上がシス型 (*Z* 配置) に変化することで生理活性が異なることが示唆されており、各異性体の構造決定が求められていた。しかし、単離精製された異性体は極めて不安定で、測定中の環境によっても容易に all-*E* 体に戻るか、別の異性体へ変化してしまう。筆者は、室温が高い夏場の実施であったため、NMR 室の温度を低めに設定し、室内を暗所化した上で赤色灯下でのサンプル調製を実施した。また、溶媒への溶解作業自体も冷却しながら行うなど、細心の注意を払った（図 18）。



図 18 アスタキサンチン測定のためのサンプリングの様子

まず、all-*E*体の異性化実験（アセトン中 180°C、5 分）により作成した混合物の $^1\text{H-NMR}$ 測定を行い、異性化の進行を確認した（図 19）²²⁾。次に、食品添加物用のオイルに含まれるアスタキサンチン類の異性化挙動を追跡し、NMR によって生成物の異性比の変化を捉えることに成功した（図 20）。

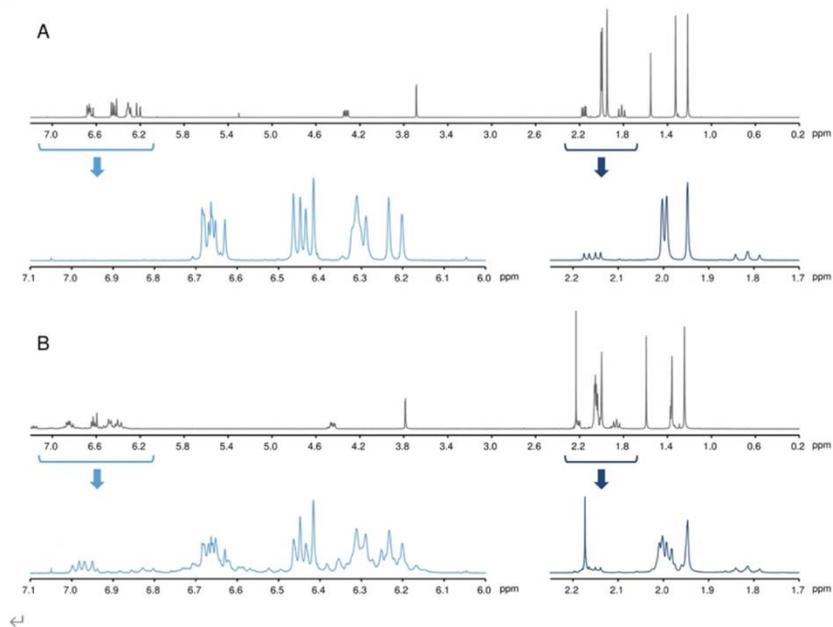


Fig. S4. $^1\text{H-NMR}$ spectra of (A) the (all-*E*)-astaxanthin standard and (B) *Z*-isomer-rich astaxanthin in CDCl_3 . The *Z*-isomer-rich astaxanthin sample was prepared from the (all-*E*)-astaxanthin standard by heating at 180 °C for 5 min in acetone.²²⁾

図 19 アスタキサンチン all-*E*体の異性化実験の $^1\text{H-NMR}$ による確認²²⁾

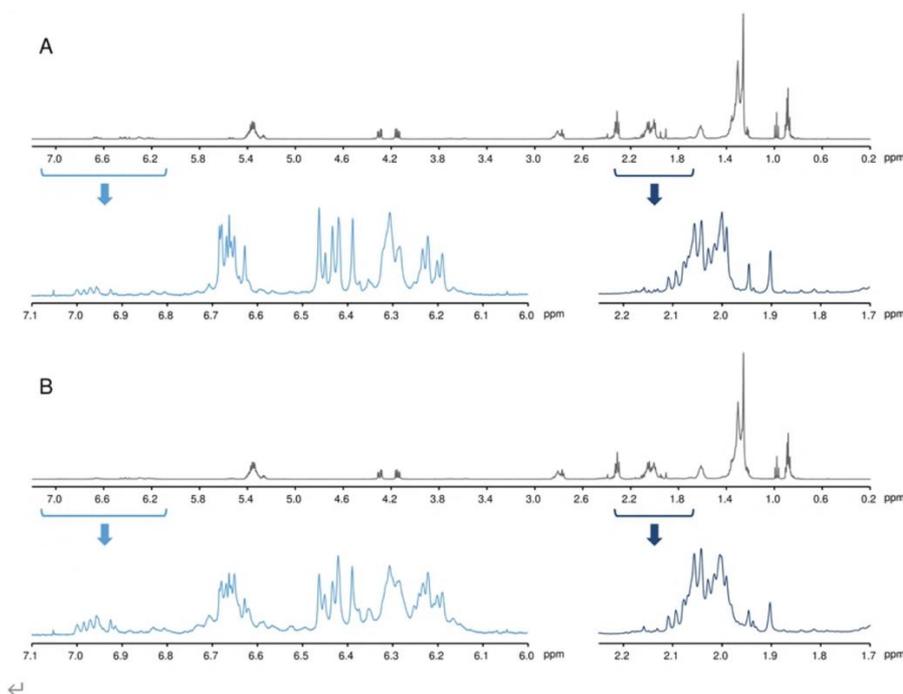


Fig. S5. $^1\text{H-NMR}$ spectra of (A) astaxanthin oil and (B) *Z*-isomer-rich astaxanthin oil in CDCl_3 . The *Z*-isomer-rich astaxanthin oil was prepared from the intact astaxanthin oil by heating at $180\text{ }^\circ\text{C}$ for 5 min. ←

図 20 オイル含有アスタキサンチン類異性化の $^1\text{H-NMR}$ による確認 ²²⁾

さらに、分離精製されたモノ *Z*体やジ *Z*体の純品についても、 $^1\text{H-NMR}$ および Correlation Spectroscopy(COSY)測定を実施した。物質の不安定性という困難があったものの、適切な環境制御と迅速な操作により、既知の論文データと整合する構造決定を達成した。本事例は、技術職員が測定環境そのものをマネジメントすることで、高度な研究支援が可能になることを示すものとなった。

アスタキサンチンの測定実験において、単離されたモノ *Z*体やジ *Z*体を重クロロホルム (CDCl_3) に溶解し、 $^1\text{H-NMR}$ および COSY 測定による構造決定を試みた。しかし、異性化の速度が異性体ごとに異なり、進行が速いものでは COSY 測定中、あるいは $^1\text{H-NMR}$ 測定中であっても異性化が進んでしまい、純度の確認や構造解析が困難なケースが確認された。その結果、 CDCl_3 中での解析は、論文既知である all-*E*体、9-*Z*体、13-*Z*体の3種に留まった。

そこで研究者と協議の上、測定条件を変更して構造決定を試みることにし、検討の結果、溶媒に重ベンゼン (Benzene-d_6) を選択した。

all-*E*体は重ベンゼンへの溶解性が低下するものの、安定配置であるため、積算回数を増やした長時間測定においても異性化ピークは確認されなかった。重ベンゼン中での各ピークの出現位置は、CDCl₃中での結果に比べて重なり合う傾向にあり、分解能も低下する傾向が見られたが、丹念な解析により帰属を完了した。同様に 9-*Z*体および 13-*Z*体についても解析を行ったところ、これら 2 種についてはピークの分離および分解能が CDCl₃ 中よりも良好であり、帰属を円滑に行うことができた (図 21)。

CDCl₃ 中では異性化が速く、構造決定を断念せざるを得なかったその他の異性体 (15-*Z*体、9,9'-*Z*体、13,13'-*Z*体、9,13-*Z*体) についても、重ベンゼンを用いることで良好な溶解性と分解能が得られた。特に 9,9'-*Z*体および 13,13'-*Z*体は、15-15'位の二重結合を中心とした対称な配置となるため、¹H-NMR スペクトルが単純化されるとともに、異性化位置のプロトンピークが低磁場シフトしたことで帰属が容易となった。残る 9,13-*Z*体 (または 9,13'-*Z*体) については、W 字型の配置に由来する長距離カップリング (W-coupling) が COSY 測定結果に反映されていたため、これを指標として構造を決定することができた。

23)

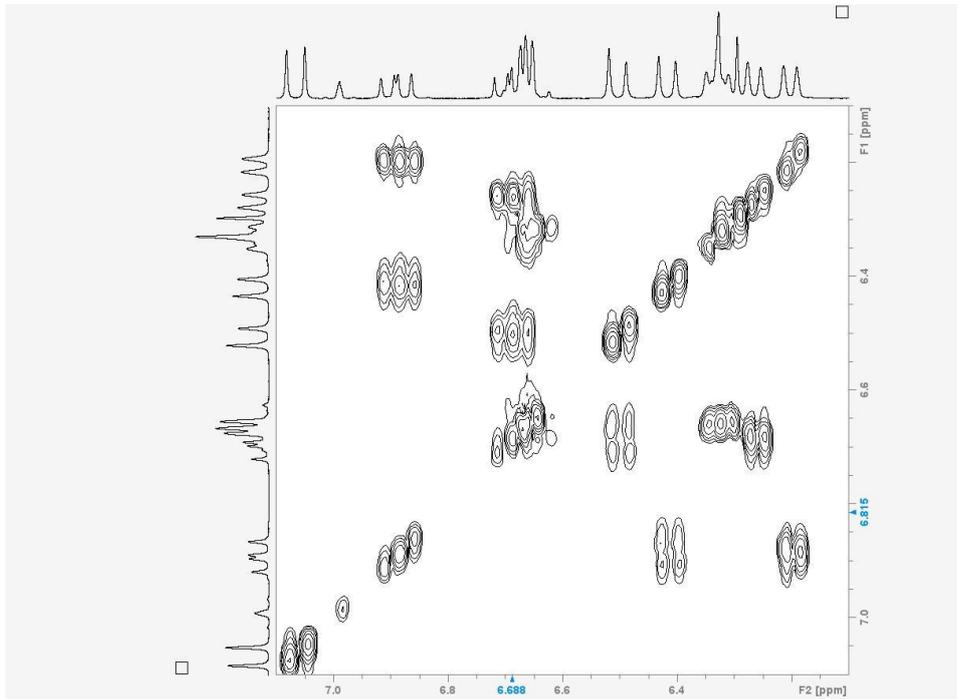
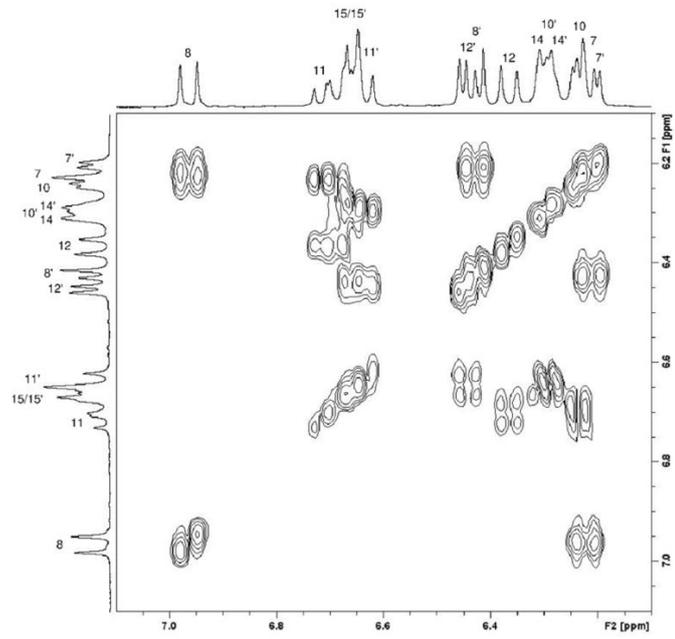


図 21 (9-Z)-astaxanthin の COSY 測定結果 (上段 ; CDCl_3 , Benzen-d_6)²³⁾

4.4 教育的経験：技術職員向け研修の実施

技術職員としての教育的活動として、機構内の技術職員を対象とした技術研修会において講師を担当した事例を報告する。本研修は、統括技術センターに所属する6つの技術支援室が持ち回りで実施しており、今年度は筆者の所属する「分析・物質技術支援室」が担当した。筆者は全学技術センターの500 MHz NMRを用いた実習を担当した（図22）。



図22 職員向け研修の風景

実習では、質量分析との違いに触れつつ、溶液 NMR と固体 NMR の装置構成や分析方法の相違に焦点を当てた。特に、サンプリング体験という要素を取り入れ、両者の操作方法の対比やメンテナンス、トラブルシューティングの事例を紹介した。サンプルには身近な「コーヒー」を選択した。ドリップコーヒー、インスタントコーヒー、およびカフェオレ（粉末）を対象とし、含有されるカフェインや添加物のスペクトルを $^1\text{H-NMR}$ で比較した。

コーヒーの抽出・溶解には熱水（軽水）を用いているため、 $^1\text{H-NMR}$ 測定ではプレサチュレーション法による水信号の消去を行った（図23）。ドリップコーヒー（図23中段）では、カフェインに帰属されるピーク（図中星印）やコーヒー酸由来と思われるピークが確認され、比較的シンプルな結果となった。一方、カフェオレ（図23上段）は甘味成分としてスクロース（砂糖）が加えられているため、その大きなピークが出現していた。さらに、苦味を軽減するための脱脂粉乳に含まれる脂肪酸由来の大きなピークも確認された。これにより、

相対的にコーヒー由来成分のピークが減少している様子を視覚的に提示できた。

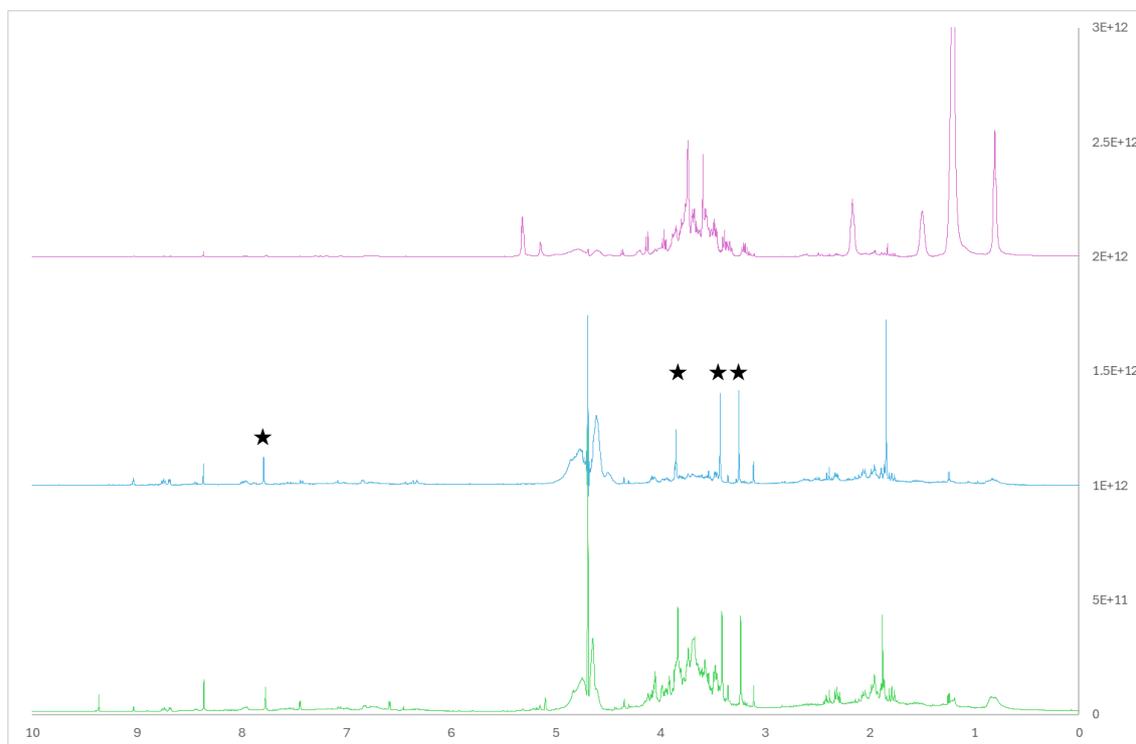


図 23 各種コーヒーの溶液¹H-NMR データ比較

また、インスタントコーヒー（図 23 下段）からは糖由来と思われるピークが高感度に検出された。これは製造過程において流通性を高めるためにデキストリンが用いられているためと考えられた。固体 NMR 実習では、インスタントコーヒーを粉体のまま用い（図 24 中段）、¹H-MAS NMR および ¹³C CP-MAS NMR 測定を行った。¹H-MAS 測定では単一パルス (single pulse) を用いたが、溶液測定に比べてブロードなシグナルが得られるに留まった。続いて実施した ¹³C CP-MAS 測定（図 24）では、デキストリン由来のピークが際立って確認され、純粋なデキストリン（図 24 下段）と比較して各ピークの形状が鋭くなっている様子が観察された。また、スティックカフェオレ（図 24 上段）は砂糖が添加されているためシュクロース由来のシャープなピークが確認された。芳香族由来のピークも確認されたものの、全体として固体特有の広幅化が見られ、溶液測定のような高分解能は得られなかった。

実習後の評価は概ね良好であり、受講者からは「溶液と固体のサンプリングの決定的な違い」や「固体サンプルの扱いの難しさ」に対する感想が多く寄せ

られた。日頃当たり前に感じていた操作が初心者には驚きを持って受け止められることを知り、今後の教育プログラムを構築する上での貴重な知見を得ることができた。

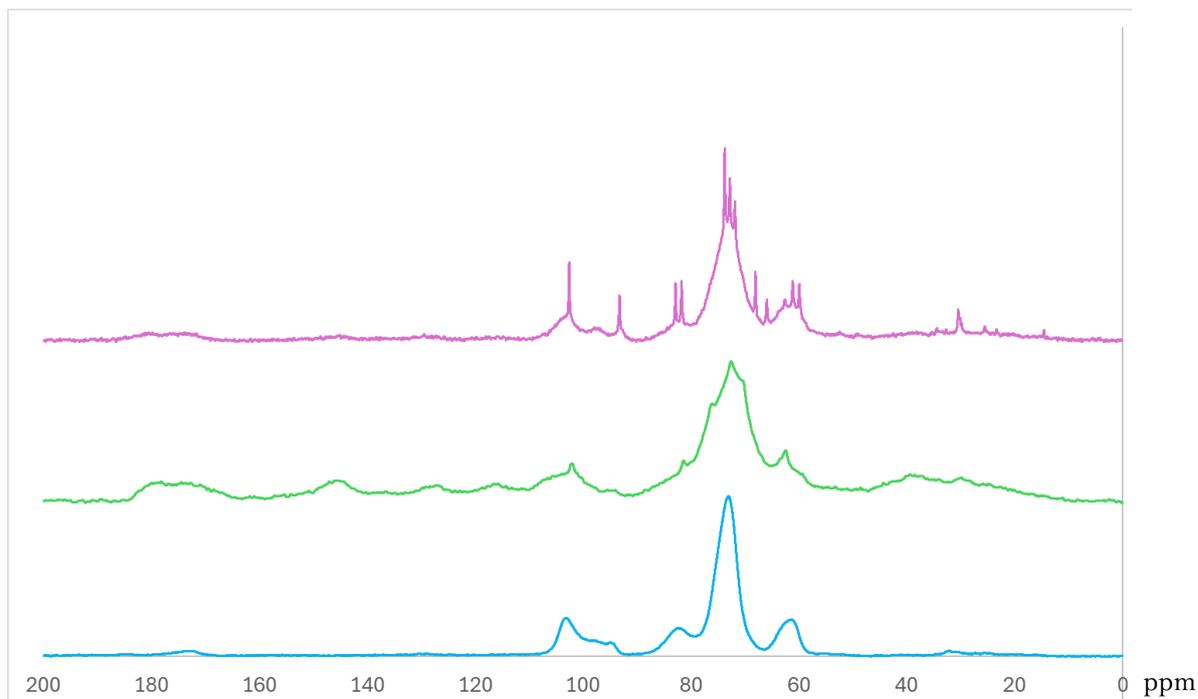


図 24 固体 NMR による ^{13}C -CP MAS 測定の比較

第5章 まとめと展望

5.1 第2章の総括：技術職員としての基盤形成

第2章では、岐阜大学における筆者の初期の歩みを振り返った。大学発ベンチャー企業で培った有機合成および精密分析のスキルを起点とし、大学の技術職員として着任後は、自身の専門領域を超えた無機化学やマテリアル分野の分析装置に関する広範な知識と技能を習得した。特に、技術職員が1名という制約下で約60機種に及ぶ装置群の維持管理を担った経験は、単なる操作技術の習得に留まらず、老朽化する装置の更新や最新の研究ニーズに応じた研究基盤体制の整備という、よりマクロな視点での「研究環境のマネジメント」を学ぶ貴重な機会となった。これらの多角的な技術支援の成果は、計8報の学術論文への共著者としての参画や、多くの論文謝辞における評価として結実した。

5.2 第3章の総括：組織的な共用体制の構築とDXの推進

第3章では、名古屋大学への異動後における「組織的な支援体制の再構築」に焦点を当てた。長年の歴史を持つ農学部のNMR共用体制を継承しつつ、複数名体制となった利点を活かして、Microsoft FormsやPower Automateを活用したエラー報告・情報共有システムを導入し、運用の効率化と透明性を向上させた。また、教員の離籍に伴い存続が危ぶまれていた電子顕微鏡群の管理運用についても、全学技術センターとしての組織的な管理体制へと再編することで、持続可能な利用環境を確保した。これらの取り組みは、個人の技術力に依存した支援から、組織として継続的かつ高度な研究環境を提供する「共用プラットフォーム」への転換を象徴する成果となった。

5.3 第4章の総括：CFAとしての先鋭化と部局横断的支援

第4章では、CFAおよびTCカレッジでの研鑽を通じた、高度専門人材としての活動を詳述した。学外の技術職員やメーカーエンジニアとの人的ネットワークを構築・活用することで、 ^{29}Si 核のTRIP測定やアスタキサンチン異性体の構造解析といった、極めて困難な技術的課題を解決するに至った。また、部局を超えた装置管理(創薬科学研究科への支援)や、機構内のリソース活用(ガラス工作室の紹介)といった活動を通じ、研究者と技術組織を結ぶ「潤滑油」としての役割を果たした。これらの事例は、技術職員がマネジメント視点を持

って部局や大学の垣根を越えて連携することが、わが国の研究力強化に直結することを実証したものである。

5.4 今後の展望：技術とマネジメントの両輪による貢献

これまでの経験から、研究基盤の持続的な発展には、高度な「専門技術」と、組織を最適化する「マネジメント能力」の両立が不可欠であると確信している。今後は、さらに人的ネットワークを拡充・活用し、NMRをはじめとする分析装置の可能性を最大限に引き出す活用法を提案できる、先駆的な技術人材を目指す。また、TCカレッジで得た知見を活かし、CFAとして「技術」と「経営的視点」を統合させた活動を継続していく。これにより、東海国立大学機構、ひいてはわが国の研究基盤を支える持続可能なエコシステムの構築に、真摯に貢献していく所存である。

参考文献

1. 東海国立大学機構. (2020, April 1). 2020 年 4 月 1 日、国立大学法人東海国立大学機構が発足しました. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://www.thers.ac.jp/news/2020/04/202041start.html>
2. 岐阜大学高等研究院科学研究基盤センター機器分析分野. (n.d.). 機器分析分野 (旧 生命科学総合研究支援センター 機器分析部門) . 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 https://www1.gifu-u.ac.jp/~lsrc/dia_till20250522/index.html
3. 名古屋大学. (n.d.). 名古屋大学 ホームページ. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://www.nagoya-u.ac.jp/>
4. 東海国立大学機構統括技術センター. (n.d.). 統括技術センター ホームページ. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://www.tech.thers.ac.jp/>
5. 文部科学省. (2021). 令和 3 年度「先端研究基盤共用促進事業 (コアファシリティ構築支援プログラム)」の公募について. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/mext_00132.html
6. 名古屋大学全学技術センター. (n.d.). 全学技術センターホームページ. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://www.tech.nagoya-u.ac.jp/>
7. 名古屋大学大学院生命農学研究科. (n.d.). 生命農学研究科 ホームページ. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://www.agr.nagoya-u.ac.jp/>
8. 東京科学大学. (n.d.). 東京科学大学 (旧 東京工業大学) コアファシリティ事業. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 https://www.ofc.titech.ac.jp/core_facility/
9. 竹内敬人. (2005). NMR の基礎と応用. 朝倉書店.
10. 沢田義治. (2010). シアル酸誘導体及びシアル酸含有オリゴマーの合成研究 [博士論文, 岐阜大学]. 岐阜大学学術情報リポジトリ. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 <https://gifu-u.repo.nii.ac.jp/records/74106>
11. 岐阜大学生命科学総合研究支援センター. (2002). 生命科学総合研究支援センター 年報 第 1 号. 2026 年 1 月 18 日最終閲覧 https://www1.gifu-u.ac.jp/~lsrc/nenpo/01/Nenpo1_index.pdf

12. 岐阜大学機器分析分野. (2019). 中学生のための大型精密機器高度利用公開セミナー. 2026年1月18日最終閲覧 https://www1.gifu-u.ac.jp/~lsrc/dia/seminar/seminar_R1.html#R01_35
13. 文部科学省. (2020). 令和2年度「先端研究設備整備補助事業」の公募について. 2026年1月18日最終閲覧 https://www.mext.go.jp/b_menu/boshu/detail/mext_00067.html
14. 日立ハイテク. (n.d.). 画面共有システム ExTOPE EM. 2026年1月18日最終閲覧 <https://www.hitachi-hightech.com/jp/ja/products/microscopes/sem-tem-stem/solutions/extope-em.html>
15. 内閣府. (2020, October 19). 国立大学イノベーション創出環境強化事業の採択結果について. 2026年1月18日最終閲覧 <https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20201019daigaku.html>
16. 日本電子株式会社. (n.d.). 溶液 NMR プローブ ROYALPROBE HFX. 2026年1月18日最終閲覧 https://www.jeol.co.jp/products/scientific/probes/ROYALPROBE_HFX.html
17. 内閣府. (2021, March 24). 第6期科学技術・イノベーション基本計画について. 2026年1月18日最終閲覧 <https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html>
18. 文部科学省. (2025, November 18). 「科学の再興」に関する有識者会議について. 2026年1月18日最終閲覧 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/042/index.html
19. 名古屋大学学術連携推進本部. (n.d.). 名大清酒「なごみ桜」～酵母の研究から製品化まで～. 2026年1月18日最終閲覧 https://www.aip.nagoya-u.ac.jp/public/nu_research_ja/features/detail/0003215.html
20. Muratsugu, S., Inagaki, M., Hibi, K., Shirai, S., & Tada, M. (2025). Circular dichroism activity induction in an oxo-vanadium (V) aminotriphenolate complex on SiO₂ functionalized with chiral N-[(R)-

- and (S)-1-phenylethyl]acetamides. *Chemistry Letters*, 54, upaf117.
<https://doi.org/10.1093/chemlett/upaf117>
21. Wang, F., Ramakrishna, S. K., Sun, P., & Fu, R. (2021). Triple-pulse excitation: An efficient way for suppressing background signals and eliminating radio-frequency acoustic ringing in direct polarization NMR experiments. *Journal of Magnetic Resonance*, 332, 107067.
<https://doi.org/10.1016/j.jmr.2021.107067>
22. Sakaguchi, R., Ghosh, A., Sawada, Y., Takahama, K., Nishida, Y., & Honda, M. (2024). Thermal isomerization of astaxanthin esters in the green alga *Haematococcus lacustris* without any chemicals. *Food Bioscience*, 61, 104645. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104645>
23. Honda, M., Ghosh, A., Honda, Y., Setoyama, O., Takahama, K., Sawada, Y., & Nishida, Y. (2026). Comprehensive characterization of purified astaxanthin isomers: Structure, spectral properties, stability, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 498, 147216.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147216>

研究支援による共著論文

1. Honda, M., Ghosh, A., Honda, Y., Setoyama, O., Takahama, K., Sawada, Y., & Nishida, Y. (2026). Comprehensive characterization of purified astaxanthin isomers: Structure, spectral properties, stability, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 498, 147216.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147216>
2. Ghosh, A., Sawada, Y., Takahama, K., Nishida, Y., & Honda, M. (2025). Absorption characteristics and in vivo behavior of astaxanthin isomers: insights from the administration of highly purified (all-E)-, (9Z)-, and(13Z)-astaxanthin in male mice. *RSC Advances*, 15, 43605-43619.
<https://doi.org/10.1039/D4RA08241F>
3. Oda, A., Ichino, K., Yamamoto, Y., Ohtsu, T., Shi, W., Sawada, Y., Kumagai, J., Sawabe, K., & Satsuma, A. (2025). Hydrophobic, acid-free zeolite-confined \$Pt-Cu\$ nanoalloys break activity-selectivity limits in low-temperature methane-to-methanol oxidation. *Journal of the American Chemical Society*, 147, 30009-30021.
<https://doi.org/10.1021/jacs.4c14212>
4. Xiong, Z., Kobayashi, K., Miyawaki, A., Teranishi, S., Sawada, Y., & Hibino, T. (2025). Electro - oxidative extraction of methanol from lignin using a three - dimensional graphite anode. *ChemElectroChem*, 14, e2024000464. <https://doi.org/10.1002/celec.2024000464>
5. Sakaguchi, R., Ghosh, A., Sawada, Y., Takahama, K., Nishida, Y., & Honda, M. (2024). Thermal isomerization of astaxanthin esters in the green alga *Haematococcus lacustris* without any chemicals. *Food Bioscience*, 61, 104645. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104645>
6. Hibino, T., Kobayashi, K., Zhou, D., Chen, S., Zinchenko, A., Teranishi, S., Miyawaki, A., & Sawada, Y. (2024). Electrochemical extraction of methanol from lignin under mild conditions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 341, 123328.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123328>
7. Yoshimatsu, M., Goto, H., Saito, R., Iguchi, K., Kikuchi, M., Wasada, H., & Sawada, Y. (2023). Cationic indium catalysis as a powerful tool for

- generating α -alkyl propargyl cations for SN1 reactions. *Communications Chemistry*, 6, 279. <https://doi.org/10.1038/s42004-023-01072-6>
8. Le, T.-K.-D., Danova, A., Aree, T., Duong, T.-H., Koketsu, M., Ninomiya, M., Sawada, Y., Kamsri, P., Pungpo, P., & Chavasiri, W. (2022). α -Glucosidase inhibitors from the stems of *Knema globularia*. *Journal of Natural Products*, 85, 776-786. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.1c01062>
 9. Ochiai, Y., Ogawa, K., Sawada, Y., & Yanase, E. (2021). Chemical transformation of oolongtheanin 3'-O-gallate in aqueous solution under heating conditions. *Tetrahedron Letters*, 73, 153140. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2021.153140>
 10. Sakakibara, T., Sawada, Y., Wang, J., Nagaoka, S., & Yanase, E. (2019). Molecular mechanism by which tea catechins decrease the micellar solubility of cholesterol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 7128-7135. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b015181>
 11. Go, T., Morimatsu, A., Wasada, H., Tanabe, G., Muraoka, O., Sawada, Y., & Yoshimatsu, M. (2018). Unprecedented nucleophile-promoted 1,7-S or Se shift reactions under Pummerer reaction conditions of 4-alkenyl-3-sulfinylmethylpyrroles. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 14, 2722-2729. <https://doi.org/10.3762/bjoc.14.250>
 12. Yoshimatsu, M., Kuwabara, J., & Sawada, Y. (2018). Nitrile hydration reaction using copper iodide/cesium carbonate/DBU in nitromethane-water. *Synlett*, 29, 2061-2065. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1610211>
 13. Haishima, Y., Kubota, Y., Manseki, K., Jin, J., Sawada, Y., Inuzuka, T., Funabiki, K., & Matsui, M. (2018). Wide-range near-infrared sensitizing 1H-benzo[c,d]indol-2-ylidene-based squaraine dyes for dye-sensitized solar cells. *The Journal of Organic Chemistry*, 83, 4389-4401. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.7b03173>
 14. Kuwabara, J., Sawada, Y., & Yoshimatsu, M. (2018). Copper-mediated reactions of nitriles with nitromethanes: Aza-Henry reactions and nitrile hydrations. *Organic Letters*, 20, 1130-1133. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.8b00057>

研究支援による謝辞掲載論文

1. Kieu, Y. T. H., Hattori, H., Toda, M., & Yanase, E. (2025). Complex chalcone scaffolds from *Mallotus philippinensis* fruits as potential iNOS inhibitors. *Journal of Natural Products*, 88, 2383–2393.
<https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.4c00452>
2. Muratsugu, S., Inagaki, M., Hibi, K., Shirai, S., & Tada, M. (2025). Circular dichroism activity induction in an oxo-vanadium (V) aminotriphenolate complex on SiO₂ functionalized with chiral N-[(R)- and (S)-1-phenylethyl]acetamides. *Chemistry Letters*, 54, upaf117.
<https://doi.org/10.1093/chemlett/upaf117>
3. Kataoka, H., Kakumu, Y., Agbo, D. O., Taniguchi, T., & Yanase, E. (2024). Computational study on the conformational flexibility-mediated intramolecular oxidative spirocyclization of procyanidin B4. *The Journal of Organic Chemistry*, 89, 12240–12248.
<https://doi.org/10.1021/acs.joc.4c01194>
4. Zhang, Y., Takahama, K., Osawa, Y., Kuwahara, D., Yamada, R., Oyama, K., & Honda, M. (2023). Characteristics of LED light-induced geometrical isomerization and degradation of astaxanthin and improvement of the color value and crystallinity of astaxanthin utilizing the photoisomerization. *Food Research International*, 174, 113553.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113553>
5. Suwa, Y., & Yanase, E. (2022). Structure determination and formation mechanism of procyanidin B2 oxidation products. *Tetrahedron*, 117, 132838. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2022.132838>
6. Sutedja, A. M., Yanase, E., Dedi, I. B., Hanifah, F., & Lioe, N. (2022). Thermal stability of anisoyl kaempferol glycosides in Jack Bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) and their effect on alpha-glucosidase inhibition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70, 2695–2700.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07343>
7. Sutedja, A. M., Yanase, E., Batubara, I., Fardiaz, D., & Lioe, H. N. (2020). Identification and characterization of alpha-glucosidase

- inhibition flavonol glycosides from Jack Bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC). *Molecules*, 25, 2481. <https://doi.org/10.3390/molecules25112481>
8. Funabiki, K., Saito, Y., Kikuchi, T., Yagi, K., Kubota, Y., Inuzuka, T., Miwa, Y., Yoshida, M., Sakurada, O., & Kutsumizu, S. (2019). Aromatic fluorine-induced one-pot synthesis of ring-perfluorinated trimethine cyanine dye and its remarkable fluorescence properties. *The Journal of Organic Chemistry*, 84, 4372-4380. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.9b00331>
 9. Mulembo, T., Nagai, G., Tamagawa, H., Nitta, T., & Sasaki, M. (2019). Conductive and flexible multi-walled carbon nanotube/polydimethylsiloxane composites made with naphthalene/toluene mixture. *Journal of Applied Polymer Science*, 136, 48167. <https://doi.org/10.1002/app.48167>

謝辞

本論文は、2014年4月から2025年11月までの間、岐阜大学科学研究基盤センター機器分析分野、名古屋大学大学院生命農学研究科、および東海国立大学機構統括技術センターにおいて取り組んできた、研究支援体制の整備および研究支援の内容を中心にまとめたものである。本論文の完成に至るまで、研究者、学生、技術職員、事務職員の皆様より多大なるご支援とご助力をいただいた。ここに深く感謝の意を表す。

本論文の主査をご快諾いただいた名古屋大学全学技術センター技術部長の大槻主税教授、ならびに副査をご快諾いただいた東京科学大学オープンファシリティセンター・リサーチインフラマネジメント機構の清悦久主任技術専門員、および大阪大学大学院理学研究科の稲角直也技術専門職員には、多忙な中、多大なるご指導を賜った。心より感謝申し上げます。

岐阜大学における機器更新およびアップデートの遂行にあたっては、王志剛副学長・高等研究院長、田中香お里科学研究基盤センター長、木内一壽元機器分析分野長をはじめ、各装置の協力員を務める諸先生方に多大なご助力をいただいた。

名古屋大学着任後、生命農学研究科におけるNMRの共同利用および管理運用において同研究科NMR委員会、委員長のNMR西川俊夫教授には懇篤なご指導を賜った。また、電子顕微鏡の共用体制再構築に際しては、同研究科の谷口光隆教授、および高知工科大学理工学群の大井崇生准教授より多大なお力添えをいただいた。全学技術センター共用NMRの管理運用と専門性を活かした研究支援の機会をいただいた東海国立大学機構の古賀和司特命センター長補佐には、NMRの使用法に関しても多岐にわたるご指導をいただいた。併せて、着任時より装置運用の詳細等でご協力いただいた鳥居実恵技師、林育生技師にも深く感謝する。

装置を活用した各種測定および議論を通じ、名古屋大学大学院理学研究科の唯美津木教授、邨次智准教授、同工学研究科の薩摩篤教授、北海道大学触媒科学研究所の織田晃准教授、名城大学の本田真己准教授には、多大なるご指導を賜った。また、測定事例の紹介において貴重なサンプルをご提供いただいた、名古屋大学大学院生命農学研究科のMATURANA Andres Daniel 准教授に厚く御礼申し上げます。

CFA 業務を共にした、東海国立大学機構統括技術センターの高濱謙太郎総括 CFA、西村真弓 CFA、後藤伸太郎 CFA、吉村文孝 CFA の皆様には、多局にわたる業務で多大な協力をいただいた。また、分析・物質技術支援室の尾山公一室長、小川直也副技師、中野真紘副技師、山田莉緒技術職員には、日常の分析業務および装置対応において、たゆまぬご助力をいただいた。

最後に、NMR のみならず技術全般の議論において、大学の枠を越えて快く相談に応じていただいた、大阪大学の戸所泰人技術専門職員、名古屋工業大学の瀧雅人技術専門員、東北大学の安東真理子技術専門職員、東京科学大学の神原孝之技術専門職員をはじめとする関係技術職員の皆様に、心よりの敬意と感謝の意を表したい。