

# 12th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator-based Sources (WIRMS 2024) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用推進部（兼）放射光利用研究基盤センター  
池本 夕佳

## 1. はじめに

加速器をベースとした赤外光源とその利用に関する会議である 12th International Workshop on Infrared Microscopy and Spectroscopy with Accelerator-based Sources (WIRMS 2024) が2024年10月7日から11日の日程で、スペインのバルセロナで開催された。加速器から供給される赤外光として会議に含まれるのは放射光の赤外成分に加え、赤外自由電子レーザー、コヒーレントシンクロトロン放射などで、これらの発生から利用までを包括的に議論する場である。2年毎に開催される WIRMS は、前回は日本が主催で、筆者が Chairperson を務めた。本来2021年開催予定だったが、COVID-19の影響で1年延期し、2022年に広島の間会とオンラインのハイブリッド形式で開催した。今回は、温暖な気候のバルセロナの海に程近いホテル（Gran Hotel Rey Don Jaime）の会議室が会場となった（図1、図2）。対面のみで開催は、前々回2019年のブラジル開催以来5年ぶりとなった。なお、本稿では、赤外を意味する Infrared の略称として IR を使用する。

## 2. 会議報告

本会議前日の10月7日には、pre-conference として Data Analysis Workshop が行われた。筆者はスケジュールの都合上参加できなかったが、IR スペクトルの多変量解析プラットフォーム Orange の開発者である SOLEIL（フランス）の Dr. Ferenc Borondics や、近接場分光で精力的な仕事をしている Sirius（ブラジル）の Dr. Raul de Oliveira Freitas らが講師を務め、若い方が多く参加して活発な質疑応答が交わされた



図1 会議場



図2 会議場入り口から後ろを振り向くと木々の間から海が見える

と伺った。10月7日の夜は Welcome Reception で、最初に Special Talk としてスペインの Dr. Antoni Roca Rosell がバルセロナにおける芸術と科学の歴史に関する講演を行い、興味深く聞いた。その後、ホテル内のプールのほとりで Reception が行われ、久しぶりの再会を喜んだ。10月8日の朝からの本会議はシングルセッションで行われた。カテゴリーを以下に示す。

- Facility Developments and Extreme Conditions
- Far-IR and THz Spectroscopy and Coherent Synchrotron Radiation & Free Electron Laser

- Nano FTIR & Sub-diffraction Imaging
- FEL IR Spectroscopy
- Biological & Biomedical Applications
- Environmental Science and Renewable Energy
- Condensed Matter and Cultural Heritage

講演数は、招待講演が10件、口頭発表が36件、ポスター発表は21件であった。

手法は大別すると顕微分光と近接場分光である。顕微分光では、まず、二酸化炭素の水素還元反応における触媒の役割を理解するため、温度・圧力・反応材料の供給を可能にするセルを作成してオペランド測定を行った、スペインの Dr. Patricia Concepcion の報告が目をつけた。波数領域も遠赤外に拡張しており、放射光の特徴を生かした研究であった。Australian Synchrotron (オーストラリア) の Dr. Jitraporn Vongsivut は、独自に開発しているピエゾ駆動の ATR (Attenuated Total Reflection、全反射測定法) 技術を電池や触媒反応に応用する研究を紹介した。ATR 結晶と試料の接触圧力をピエゾ素子で制御しつつ、試料環境制御やマッピング測定も可能な装置で、Australian Synchrotron の赤外ビームラインでは10年以上この技術に磨きをかけ、さまざまな産業利用に展開している。また、ある種の癌や慢性病で糖鎖長が疾病の指標になることに着目して、n-アルカンと蜜蝋を類似した鎖長の糖タンパク質に吸着させてプローブする Wax-physisorption-kinetics-based Fourier-transform infrared (WPK-FTIR) imaging の研究を、台湾の Dr. Yao-Chang Lee が紹介した。TPS (台湾) では、彼を中心にした生物・医学利用が盛んに行われている。

近接場分光は、測定原理が異なる3つのタイプが利用されている。1つは、IR照射による試料の熱膨張を AFM (Atomic Force Microscopy、原子間力顕微鏡) のプローブの振動数の変化から感知してスペクトルを解析する手法、2つ目は AFM プローブの先端に IR を集光し散乱光を測定する s-SNOM (Scattering Type Scanning Near-Field Optical Microscopy) と呼ばれる手法、3つ目は、原理としては熱膨張を利用する手法に近いが、AFM プローブではなく、IR と同軸で入射する可視光の散乱光の変化で検出する手法である。1つ目の手法は Diamond (イギリス) で主と

して行われている。2つ目の手法は、多くの施設が採用し、成果も多数報告されている。3つ目の手法は、前回 WIRMS のころに出始めた手法だが、今回の WIRMS で複数の施設が装置を導入していることが報告された。3ついずれかの近接場分光の実施に際し、測定対象としては、生物試料や高分子材料、超薄膜、環境試料など多岐にわたる研究が報告された。また、中赤外から THz にわたる広帯域で測定を行うための装置開発の発表も複数見られた。その中で、NSLS-II (アメリカ) の Dr. G. Lawrence Carr の発表が印象に残った。IR用の検出器は様々存在するが、放射光分光においては、中赤外領域の観測には MCT (HgCdTe)、遠赤外から THz 領域では Si-Bolometer が利用されることが多い。MCT は、光照射によって電子が励起されて変化する電流あるいは電圧を検出する。素子は液体窒素で冷却する。感度が高く、応答速度も速いことが特徴で、応答速度は数十 KHz 以上で測定可能である。一方 Si-Bolometer は熱伝導型素子で、光照射による温度変化を抵抗の変化で検出する。液体ヘリウムによる冷却が必要である。感度は高いが応答速度が遅く 10 kHz 以下で使用する。MCT は通常、低波数側は  $450\text{ cm}^{-1}$  ( $\sim 56\text{ meV}$ ) 程度で感度が切れるが、Dr. Carr 等は MCT を液体ヘリウムで冷却し、低波数側が  $200\text{ cm}^{-1}$  ( $\sim 25\text{ meV}$ ) まで伸びることを見出し、遠赤外領域の近接場分光の測定効率を上げた、という発表であった。MCT を窒素温度よりも冷やすと感度が上がることは知っていたのだが、帯域もこれほど伸びるのは驚きであった。ただ、液体ヘリウムは扱いが煩雑で、国内では価格も高騰している。クローズドタイプの検出器を構築できれば、利活用の広がりが期待できるように感じた。

昨今、世界中の放射光施設で第4世代リングへのアップグレード計画が進んでいるが、大きな取り込み角を要する IR 領域の放射光とは相性が良くない。今後、IR はどうするのか。WIRMS でも長く議論されてきたが、今回は少し具体性が増していた。会議に先立つ 2024 年 5 月に、[1]が Journal of Synchrotron Radiation に掲載された。第4世代放射光リングとして稼働している Sirius (ブラジル) で IR ビームラインのコミッショニングが完了し、良好な nanospectroscopy の結果が得られた、との論文であ

る。取り込み角は制限され、アップグレード前のブラジルの放射光施設である LNLS における IR ビームラインのフラックスと比較すると一桁程度落ちているが、明瞭な近接場スペクトルが観測され、およそ 25 nm の空間分解能も達成されている。この成果は、会議中何度も encouraging な成果として取り上げられた。第 4 世代放射光リングで IR を取り出すための方策はすでに出尽くしており、初段ミラーをできるだけ光源に近づけて立体角を稼ぐこと、できれば取り出し近辺の真空チャンバーを大きめに改造すること、取り出した光を実験ホールに導く経路を充分確保することである。いわば IR 用に特殊なリングの設計を要求することになるが、ALS (アメリカ)、SOLEIL (フランス)、ELETTRA (イタリア)、Diamond (イギリス) はこれを実行しアップグレード後も IR を利用する前提で計画を策定・進行している。上述の施設には共通点があり、nanospectroscopy 装置を、場合によっては複数台導入している。第 4 世代リングで、IR 領域の光を取り出すための工夫を施したとしてもフラックスの低下は避けられない。顕微分光では実験室光源 (グローバルランプなどの熱輻射光源) との差異を示しにくくなる。今回の WIRMS の議論を聞き、第 4 世代リングの赤外ビームラインにおける利用技術としては nanospectroscopy がメインになるだろうと思われた。ただなぜ Sirius で、フラックスが多少低下しても nanospectroscopy の性能がそれほど落ちなかったのか、現段階では明確な説明はなされていない。s-SNOM の場合、近接場光はプローブ先端にしか生じないため、プローブ先端を含む領域に集光された IR のごく一部のみを測定に利用することになる。フラックスの低下は近接場光の低下に直結しそうに思える。集光性が向上すれば近接場光も増えそうだが、そもそも IR 領域の放射光は第 3 世代リングですでに計算上は 100% のコヒーレンスを達成しており、第 4 世代リングでもコヒーレンス向上による集光性向上は見込めない。[1] を発表した Sirius の Dr. Freitas は光の quality が良かったのではないかとコメントしていた。つまり、Sirius の IR ビームラインで、ステーションに至るまでの距離を極力短くし、ミラーの数を減らした設計にしたことが功を奏したと、現段階では解釈されている。

### 3. おわりに

会議の参加者は 80 名と報告された。スペインからの参加が最も多く、ドイツ、フランス、イギリス、アメリカから多く参加していた。ポーランドの SOLARIS やヨルダンの SESAME は比較的新しい施設に IR ビームラインが稼働し、前回に引き続き参加して、高いアクティビティを示していた。アジア地域からは、台湾、タイ、中国、日本、オーストラリアからの参加であった。次回は ALS (アメリカ) が主催となり、Los Angeles で 2026 年に開催される。その頃 ALS はアップグレードの停止期間で、どのような姿で再スタートを切るのか、情報を得るのを楽しみにしている。

### 参考文献

[1] T. M. Santos *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **31** (2024) 547-556.

池本 夕佳 IKEMOTO Yuka

(公財) 高輝度光科学研究センター  
利用推進部 (兼) 放射光利用研究基盤センター  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0961  
e-mail : ikemoto@spring8.or.jp