

(様式 2)

議事録番号

提出 2023 年 11 月 28 日

会合議事録

研究会名：UVSOR/SPring-8 赤外ビームライン合同ユーザズミーティング

日 時：2023 年 9 月 29 日

場 所：分子科学研究所・研究棟 201 号室（オンライン併用開催）

出席者：（議事録記載者に下線）参加登録順

現地出席：池本夕佳、田中清尚、加藤政博、木村真一、岡村英一、川崎平康、西田純、井口敏、松井広志、伊藤廉、瀬戸康雄、宇山允人、萩原健太、池本夕佳、小幡誉子、花牟禮慎也、平義隆（17 名）

オンライン出席：熊谷崇、北浦守、中山泰生、山内要、片山真祥、馬場雄也、松本崇博、中野智志、手島史綱、児島千恵、胡桃澤清文、登野健介、Yoshiko Nakao、坂田修、有本太郎、藤井証志、松葉豪、黒木純子、REICH Aina、森理緒、布施光輝、JUNG, Min-Cherl、伊規須素子、松本大成、小池真司、丸山隆之、原田雅章、大沼佑貴、橋本恵里、TAKAHASHI Masayuki、山路彩花、野口直樹、森脇太郎、後藤祐一郎、中村拓人、佐々葉遼平、淡野照義、城裕喜、前里光彦、解良聡、藤本將輝、林憲志、高橋俊晴、繁政英治、谷田肇、岩山洋士、Elham Salehi、清水康平（48 名）、

合計 65 名

議題：赤外領域のシンクロトロン放射光（SR）による利用研究は、1980 年代に世界に先がけて UVSOR に赤外専用 BL が建設され、その後 SPring-8 でも赤外 BL が建設されるなど、日本における長い研究の歴史がある。しかし、SPring-8 の次期計画である SPring-8-II 計画には赤外プログラムは含まれておらず、今後の日本における放射光赤外利用研究の状況は大きく変わることが予想される。この状況を受け、今回の研究会では、SPring-8 および UVSOR の赤外 SR ユーザーの方々から現在の研究状況を報告していただき、赤外 SR 利用研究コミュニティの現状について認識を共有すると共に、今後の放射光赤外利用研究について議論することを目的とする。

議事内容：

まず田中（UVSOR）から、本年で 40 周年を迎えた UVSOR の現状について、主な BL の現状について、概要の報告があった。赤外 BL については、THz 領域のコヒーレント放射光（CSR）利用を主目的とした BL1B と、偏向電磁石からの赤外 SR 利用を目的とした BL6B があり、それぞれの現状が報告された。ユーザー共同利用に供されている BL6B では、これまでマクロ測定（顕微測定ではなく、試料全体に光を入射させる測定）での利用が多かったが、近年は顕微分光での利用が増えているとの報告があった。また、発光点からの SR を最初に取り込む鏡である「マジックミラー」の角度を、光強度の変動からフィードバックをかけて制御するシステムが導入され、これにより試料位置での光強度がより安定したとの報告があった。

池本（JASRI）からは、SPring-8 赤外ビームライン BL43IR の現状について、2023 年度前期の課題の半分は化学分野の利用であるとの報告があった。また、SPring-8-II へのアップグレードに関して、2027 年度後半から 2028 年度前半で改造工事が行われる予定であり、従って BL43IR の運用も、その前に終了する見込みであるとの報告があった。

西田（分子研）からは、赤外レーザーを光源とするテーブルトップ型の赤外近接場分光（IR-SNOM）装置を利用した研究について、現状のレビューがあった。この手法では、原子間力顕微鏡（AFM）のチップ先端と試料の間隙からの散乱光を分光することで、回折限界を超える空間分解能での顕微赤外分光が可能となる。この装置はドイツの neaspec 社による製品で、海外の多くの放射光施設で赤外 BL に導入されており、我が国の赤外ビームラインでも導入が望まれる。

小幡（星薬科大学）からは、薬剤をよりよく経皮吸収させるための研究の一環として、人体皮膚角質に対する、顕微赤外分光マッピングの結果が報告された。薬剤の経皮吸収を促進させるために使用されるメントール等の添加剤の効果を、添加剤なしで温度変化させた結果と比較して検証し、添加剤が温度を上げたことと同等の変化があることを見出した。

瀬戸（理研）からは、覚せい剤などの違法薬物を顕微赤外分光によって検出、評価する研究例が報告された。試料は粉末であり、個々の微粒子の分析であれば赤外 SR が有利と思われるが、粉末試料全体として識別を行う場合、SR の方がより良く識別できる場合と、通常光源の方が良く識別できる場合があるとの結果が報告された。

宇山（資生堂）からは、顕微赤外分光を用いた毛髪の研究例が報告された。毛髪を輪切りにした試料の顕微赤外分光による分析の場合、その直径は 100 μm

程度であり、グローバー光源を用いたラボ装置だと空間分解能は $15\text{ }\mu\text{m}$ ぐらいで不十分なため、数 μm の空間分解能が得られる赤外 SR 実験が非常に有用であり、今後も継続して使用したいとの要望があった。

Aina Reich (attocube) からは、オンライン発表により neaspec の性能や最近の利用研究例などが報告された。(attocube は neaspec を販売している企業である。)現在、世界の 10 カ所の放射光施設で、赤外 BL に neaspec の IR-SNOM 装置が導入されているとの事である。

伊藤 (ミルボン) からは、赤外放射光を用いた赤外顕微分光による毛髪の研究について、いかに研究結果を製品開発に反映させ、一般の消費者ではないプロフェッショナル・マーケットの開拓に繋げてきたかについて、ミルボンの取り組みが報告された。その際、毛髪に浸透する成分の可視化 (マッピング) の重要性が強調された。ミルボンの実験では、ラボ装置の空間分解能が $30\text{ }\mu\text{m}$ に対して赤外 SR が $5\text{ }\mu\text{m}$ 程度、毛髪の直径が $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度なので、ラボ装置と SR の違いは大きく、今後も赤外 SR による赤外顕微分光を継続したいとの事であった。

松葉 (山形大) からは、生分解性ポリマーであるポリ乳酸の研究例が報告された。ポリ乳酸の試料は一般に $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度の大きさであり、かつもろく割れやすい。このため、高い空間分解能が必要であり、今後も IR-SR を継続して使用したいとの要望が出された。

児島 (大阪公立大) からは、ドラッグデリバリーシステムに用いるデンドリマーの水和状態に関して、顕微赤外分光を用いた研究例が報告された。この研究では、試料表面のごく薄い中間水領域での水和状態などを見るため、赤外放射光による高い空間分解能での顕微赤外測定的重要性が強調された。

川崎 (KEK) からは、赤外自由電子レーザーを用いたリグニン分子のフラグメント化の研究例が報告された。リグニンは木材の主成分であり、この実験では、リグニン分子の特定の固有振動モードの振動数で励起することにより、その振動モードに対応する結合を切断し、試料の改質を行おうとしている。

松井 (東北大) からは、プロトン伝導体の遠赤外領域での顕微赤外分光実験の研究例について報告があった。プロトン伝導帯では、物質の骨格によるナノ空間のなかをプロトンが拡散しており、このプロトンのダイナミクスを分光実験によりミクロな立場から研究している。実際の実験はテラヘルツ、遠赤外、中赤外の全領域で吸収測定を行い総合的に議論しているが、試料が微小であり、遠赤外の実験では顕微分光が可能な放射光赤外 BL の利用が非常に重要であるとのことであった。

井口（東北大）からは、SPring-8 BL43IR を用いた磁気光学実験の進展について報告があった。測定は BL43IR の磁気光学ステーションで行われ、試料からの反射光に対して、反射前後での偏光状態の変化を解析する、光磁気カー効果（MOKE）を利用している。現状の MOKE 測定系及びデータに関して紹介があった。

岡村（徳島大）からは、高圧発生装置ダイヤモンド・アンビル・セル（DAC）を用いた、SPring-8 BL43IR における高圧赤外分光研究の紹介があった。重い電子系や励起子絶縁体などの実験結果を例として、0.1 mm 程度の微小試料しか使えない DAC 実験の場合、特に遠赤外領域では高輝度な赤外 SR が不可欠であるとの報告があった。また、今後 UVSOR を用いて高圧赤外実験を継続する可能性についても議論があった。

木村（阪大）からは、UVSOR BL6B 利用研究について、BL 建設後の初期段階からの経緯などについて紹介があった。現在 BL6B の取り込み角 [215 mrad (水平) x 90 mrad (鉛直)] は世界の赤外 BL でも最大の値であり、得られる赤外光のフラックス、輝度共に非常に大きいと期待される。今後、このフラックスを活かした研究が望まれるが、一方で光強度の安定性にも注意が必要であり、さらなる改善が望まれるとの指摘があった。

<まとめ>

以上、発表を行ったユーザーからの要望をまとめると、

- (1) 毛髪や物質表面・界面での赤外分光実験では非常に高い空間分解能が求められ、今後も高輝度な赤外 SR を用いた顕微赤外分光を継続したい、そのような体制の継続を希望するとの声が多く聞かれた。
- (2) UVSOR の大きなフラックスを活用して顕微赤外分光を継続できるように、必要な装置の整備やサポート体制の構築をお願いしたいとの要望が出された。
- (3) neaspec などの赤外近接場分光装置を放射光赤外 BL に導入して一般利用に供することができれば、多くの利用研究や今後の発展が望めるとの声も多かった。これについては、UVSOR は利用できる赤外光のフラックスも大きく、近接場分光実験装置を BL6B に導入できれば、プラズモニクスなど様々な対象の実験が可能になると考えられる。