

(様式 2) 2019

議事録番号

提出 2019 年 1 月 30 日

## 会合議事録

### **研究会名: 強磁場中顕微赤外分光と高輝度放射光施設における赤外ビームラインの展望**

日 時: 平成 31 年 1 月 12 日 (土) 9:00~16:00

場 所: 博多バスターミナル 9 階 貸しホール会議室 1

出席者: (議事録記載者に下線)

有馬孝尚、池本夕佳、石井賢司、入澤明典、岩崎能尊、内山裕士、大串研也、岡村英一、小幡誉子、加藤政博、川崎平康、河村直己、木下豊彦、木村真一、佐々木孝彦、佐藤充、庄司善彦、田中隆次、田中良太郎、谷川幸登、徳永将史、中村永研、中村哲也、野口直樹、平岡望、藤森伸一、Paul Dumas、本田洋介、松田康弘、丸山隆之、光田暁弘、森脇太郎、八木直人、家路豊成

計 34 名

---

#### **議題:**

(1) SPring-8 BL43IR の磁気光学顕微鏡を利用した研究の拡大について

(2) 高輝度光源における赤外ビームラインの可能性について

---

#### **議事内容:**

**議題(1): SPring-8 BL43IR の磁気光学顕微鏡を利用した研究の拡大について**

##### **<議題の背景>**

SPring-8 の赤外ビームライン BL43IR では、赤外放射光の高輝度性を活かした顕微分光を行うため、以下の 4 つの実験ステーションが設置されている。

- ・長作動距離赤外顕微鏡ステーション
- ・高倍率赤外顕微鏡ステーション
- ・磁気光学顕微鏡ステーション
- ・赤外近接場光学ステーション

これらのうち、磁気光学ステーションは最高 14 T の強磁場の下で赤外顕微分光を行うために設置されたが、2016-2017 年度にかけてパートナーユーザーである佐々木孝彦氏 (東北大学) と JASRI によって新たに装置開発が行われた。その結

果、測定領域が従来よりも低エネルギー領域へ拡張されると共に、ユーザーにとってより使いやすい実験ステーションになった。放射光赤外研究会では、この機会に強磁場中での赤外物性研究に関して現状と今後の可能性を議論することで、磁気光学ステーションの新たな利用研究の展開や、新たなユーザー開拓へとつなげることを意図した。

### <講演>

全体討論に先立ち、以下の5件の講演が行われた。

1. 「SPring-8 BL43IR 磁気光学ステーションの現状－ $\pi$ -d 電子結合系の電荷スピン自由度研究への応用」佐々木孝彦（東北大学）
2. 「強磁場での赤外分光研究：半導体、半金属、巨大磁気抵抗物質の研究例と展望」岡村英一（徳島大学）
3. 「強磁場下におけるビスマスの電子状態」徳永将史（東京大学）
4. 「磁場誘起相転移と磁気分光による電子状態の観測」松田康弘（東京大学）
5. 「梯子型鉄系化合物の赤外分光」大串研也（東北大学）

(各講演の要旨は以下からダウンロードできる)

[http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/meeting/infrared\\_1901.html](http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/meeting/infrared_1901.html)

佐々木孝彦氏の講演では、まず磁気光学ステーションの再装置開発の内容が具体的に説明された。特に以下の改善があったことが説明された。

- ・測定領域が従来の中赤外までから、より低波数の遠赤外まで ( $150\text{ cm}^{-1}$  まで) 拡張された。
- ・光学系の改造により光軸調整が以前より容易になり、実験準備に必要な時間が短縮され、半日程度の準備で実験開始できるようになった。
- ・低温実験の際に使用するクライオスタットの液体ヘリウム消費が、改造前に比べて大幅に少なくなったこと。

その後、佐々木氏自身が磁気光学ステーションで行った実験例の中から、分子導体における  $\pi$ -d 電子結合系での結果が紹介された。

岡村英一氏の講演では、過去に行われた強磁場での赤外分光研究について、巨大磁気抵抗物質やビスマスに対する結果が紹介された。また磁気光学ステーションで最近得られた、黒リンにおけるランダウ準位形成をバンド間遷移スペクトルで観測したデータが示された。このデータに基づき、赤外分光によるバンド間遷移の実験は、ランダウ準位を観測するための有力な手段でありサイクロトロン共鳴

と相補的情報を与えること、他の様々な半導体、半金属にも応用できること、特にビスマスは有望な対象であり、BL43IR での実験が提案された。また光磁気カー効果 (MOKE) など、磁場下の円偏光利用実験の可能性が議論された。現状では BL43IR の円偏光度は高くないため、1/4 波長板などの光学素子を追加する必要があることが説明された。

徳永将史氏の講演では、磁場下のビスマスに対する研究結果が報告された。すなわちパルス磁場下において電気抵抗、磁化率、磁歪、超音波吸収などで観測された量子振動の解析から、ビスマスの特異な電子状態、特にディラック電子系としての電子状態や、磁場による完全バレー分極の結果が報告された。またビスマスに関する過去の磁場中赤外分光実験の結果が紹介され、最新の装置や試料で赤外領域のバンド間遷移の観測を行い、量子振動のデータと比較することにより、ビスマスの電子状態に関する理解が一層進展するはずであるとの提案がなされた。

松田康弘氏の講演では、パルス強磁場を用いた様々な物質の研究結果が紹介された。まず量子スピン系、固体酸素、強相関 d 電子系、近藤絶縁体に対する磁化測定の結果や、価数転移を示す f 電子系に対する X 線吸収分光の結果が紹介された。また希釈磁性半導体に対するサイクロトロン共鳴の研究結果が紹介された。そして BL43IR における定常磁場下のブロードバンド赤外分光実験は、パルス磁場下で単色レーザー光を用いて行われた実験と相補的な情報を与えるはずとの指摘があった。また磁場と圧力を加えることによる研究拡大の可能性が提案された。

大串研也氏の講演では、まず鉄イオンの梯子形ネットワークを持つ物質  $\text{BaFe}_2\text{S}_3$  の物性、特に高圧力下で観測される超伝導などに関する結果が紹介された。また最近 BL43IR で測定された、高圧下における赤外反射分光の結果が報告され、圧力印加と共に電子状態の次元性がクロスオーバーすること、そしてこのクロスオーバーが高圧下の超伝導と関連している可能性が説明された。その後、磁場中での赤外分光で興味深い結果が期待される系として、磁性体における磁気励起や量子スピン液体における新奇な準粒子励起に伴う赤外吸収などが提案された。

## <全体討論>

以上 5 件の講演の後、全参加者による討論が行われ、以下の意見が出された。

### ――円偏光の利用について――

- ・BL43IR で円偏光度が低いのは、鉛直方向の取り込み角が小さいからであり、これはフロントエンドの設計上変えられない。したがって、UVSOR の赤外ビームラインでかつて行われたような、軌道面の上方側か下側の放射光だけを切り出す方法では、円偏光度を上げるのは難しい。
- ・したがって 1/4 波長板のような光学素子を入れるのも、現状ではやむを得ないのではないか。

### ――透過測定について――

- ・現状の磁気光学ステーションの設計では、反射配置の測定がデフォルトになっており、透過配置での測定を行うためには、専用の試料ホルダーを製作する必要がある。
- ・磁性体などの光吸収は、電気双極子禁制で弱い場合が多く、反射ではなく透過測定が望ましい場合が多い。また汎用な測定手段とするためにも、透過測定が容易に行えることが好ましい。これは磁気光学ステーションの応用範囲を拡張し、より多くのユーザーにアピールするためにも重要である。

### ――その他――

- ・「磁気光学ステーションを使えばこんな事ができる」という、典型的な応用を示す「標準マップ」的なものを示すべきである。
- ・強磁場のコミュニティと、赤外放射光のコミュニティが連携してはどうか。例えば強磁場研究のコミュニティである「強磁場フォーラム」において、BL43IR 磁気光学ステーションの研究結果を発表する、利用を呼びかけるなど。
- ・強磁場のコミュニティでは、共同利用施設間で連携してユーザーに実験環境を提供する場合もある。赤外放射光コミュニティでも参考にしてはどうか。

---

## 議題(2): 高輝度光源における赤外ビームラインの可能性について

### <議題の背景>

将来の建設が予定あるいは計画されている、X線領域の回折限界ビーム実現をめざす次世代放射光施設では、電子線のエミッタンスを従来施設に比べてずっと小

さくする必要がある。そのために電子線蓄積リングの真空ダクト直径が小さくなり、また磁石等のコンポーネントが狭い間隔で設置される。その結果、十分な強度の赤外放射光を取り出すために必要な、蓄積リング内の大きな取り込み角度や広い空間を確保する事が困難になり、赤外ビームラインを設置しても現状の赤外ビームラインより光強度が減少してしまう。このため、世界各地の赤外ビームラインを有する放射光施設において、次世代施設でいかに赤外ビームラインを維持するかが問題になり、議論されている。SPring-8 においても、将来計画である「SPring-8 II」へのアップグレードが提案されており、この問題が予想される。以上の状況を受けて、今回の研究会では次世代の高輝度放射光源における赤外ビームラインの可能性を議論・検討することを意図した。

### <講演>

全体討論に先立ち、以下の2件の講演が行われた。

1. 「Synchrotron Infrared Beamlines at Ultra-Low Emittance Facilities: challenges and perspectives」 Paul Dumas (Synchrotron SOLEIL)
2. 「蓄積リング赤外放射光の限界と新たな可能性」田中 隆次 (理化学研究所)  
(各講演の要旨は以下からダウンロードできる)

[http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/meeting/infrared\\_1901.html](http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/meeting/infrared_1901.html)

Paul Dumas 氏の講演では、磁石の偏向部 (bending magnet) からの通常のシンクロトロン放射ではなく、磁石の端で生じる「エッジ放射」を積極的に活用する事、また放射光取り出し部の設計を工夫する事で、次世代高輝度リングにおいても従来の赤外ビームラインと同程度の光強度を引き出せる計算結果が示された。また、いくつかの海外の放射光施設や、SPring-8-II の実際のリング・デザイン案に基づいた計算結果も示された。SPring-8 II を仮定した計算結果では、現状の BL43IR と比べて、光強度が大きく減少しない設計も可能である事が示された。

田中隆次氏の講演では、まず磁石の偏向部やエッジから生じる赤外放射光の基本特性が解説された。そして様々な加速エネルギーを持つ放射光施設の電流値などを比較検討して、1~2 GeV の加速エネルギーのリングが赤外利用に最も適している事が示された。またレーザーを蓄積リングの挿入光源に入射して電子バンチの動きに同期させ、電子を変調する事によって赤外光を放射させる、新たな赤外放射光源の可能性が提案された。

## ＜全体討論＞

### ――他の赤外光源との比較、赤外放射光の立ち位置について――

他の様々な赤外光源がカバーするスペクトル領域が示され、特に最近性能の向上が著しいブロードバンド赤外レーザー（「Super Continuum」）などと比較して、赤外放射光の立ち位置に関する意見交換があった。中赤外では広いバンド幅を持つレーザーも市場に出回りつつあるが、遠赤外ではやはり高輝度な赤外放射光の優位性がまだ高いという認識がされた。しかし一方で、時間領域テラヘルツ分光のスペクトル領域が、従来の  $100 \text{ cm}^{-1}$  以下から最近では  $100 \text{ cm}^{-1}$  以上の遠赤外領域へと拡大しつつあることも指摘された。

### ――マシン設計グループとのコミュニケーションの重要性――

次世代放射光施設での赤外ビームライン問題については、具体的なフロントエンドの設計まで行った上で、マシングループへの要望や議論などを、粘り強く継続することの重要性が指摘された。