

(様式 2)

議事録番号

提出 2019 年 9 月 9 日

## 会合議事録

研究会名：運動量空間におけるスピン・電子密度科学研究会

日 時：2019 年 8 月 5 日

場 所：群馬大学東京サテライトオフィス

出席者：安居院あかね (QST)、河田洋 (KEK)、木村滋 (JASRI)、小泉昭久 (兵庫県立大)、小林義彦 (東京医科大)、櫻井浩 (群馬大)、櫻井吉晴 (JASRI)、鈴木宏輔 (群馬大)、辻成希 (JASRI)、筒井 智嗣 (JASRI)、平岡望 (台湾 NSRRC)、松田和博 (京大)

計 12 名

議題：高分解能コンプトン散乱測定、磁気コンプトン散乱測定、後方散乱 X 線イメージングなど、高輝度センターの現状と将来、SPring-8 II BLs グレードアップにむけての方向性との関連を議論した。

議事内容：

○講演者による講演

櫻井吉晴 (JASRI)

SPring-8 運用開始から 20 年以上が経過し、ユーザーの変化や取り巻く環境の変化を背景として、SPring-8 の現状と将来についての報告があった。同様な装置が数多くある、ユーザーが固定化されているなど、現状の問題点を踏まえ、SPring-8 II における効率的な運用に向け、ビームライン再定義化を進める。装置とビームラインの分離や、装置ライフサイクルを検討する。加速電圧は 8 GeV から 6 GeV へ。回折限界型、省電力化。～2025 年シャットダウン予定。新規ユーザーの開拓や、装置の必要性に関する学術的・産業的視点からの共通の認識をもつ必要性など

平岡 望 (NSRRC)

X 線ラマン分光器を利用した超高分解能コンプトン散乱測定の現状と将来についての報告。入射エネルギー～26keV の X 線を利用し、0.024 au の分解能で測

定を行った。グラフェンとリチウムについての結果が示された。今後、 $\sim 0.01$  au を実現するためには、入射エネルギー $\sim 50$  keV で最適化する必要があるなど、超高分解能化に向けた技術的提案がなされた。

小泉 昭久（兵庫県立大）

コンプトン散乱測定から 2 次元再構成により  $\text{CeIn}_3$  の電子構造を明らかにした。室温と 20K における電子占有数密度を求め、バンド計算による結果と比較検討を行った。重い電子系において、局在状態から遍歴状態（重い電子系）になる様子が、コンプトン散乱測定により明確に示された。必要な光源としては、100keV 以上の高エネルギー、高フラックス、エネルギー分解能 0.01au にしたい。試料のダメージは心配。コンプトン散乱は極端条件の測定に適しており、温度、高磁場、圧力など設備も開発したほうがよい。散乱断面積が小さいので、二次元検出器も開発したほうがよい。

松田 和博（京都大）

X 線コンプトン散乱、X 線ラマン散乱を用いた流体金属における電子状態についての研究結果の報告がなされた。特に、熱力学条件に依存した価電子状態の変化を調べている。非金属化に伴う、一様電子ガス描像からのずれが、コンプトンプロファイルの変化として観測にかかっている。金属試料、金属セルの利用、極端条件下の実験であることから、高エネルギー、高フラックスが重要。である。

鈴木 宏輔（群馬大）

高エネルギー X 線コンプトン散乱による実用デバイス内部の非破壊オペランド分析として、市販のコイン型リチウム電池、円筒型リチウムイオン 2 次電池を対象に、コンプトン散乱により測定を行い、軽元素である Li イオンの分布が定量できることが示された。100keV 以上、高フラックス、サブミクロンサイズの光が欲しい。また、多素子検出器があればよい。プロファイル解析にはエネルギー分解能が必要と思う。

辻 成希（JASRI）

1 素子毎にエネルギー分散が可能な二次元検出器が、今年度中に BL08W に導入することが決まっている。この検出器を利用してエネルギー分解したイメージングが可能となる。コンプトン散乱イメージングを用いたサイエンス、産業利

用などに展開していく。また、磁気コンプトン散乱を利用したイメージングにより、ミリメートルスケールで内部の磁区構造が観測できるだろう。100keV 以上の高フラックス、高エネルギーX線（磁気コンプトン散乱測定の場合は円偏光X線が必要。光源がスイッチできる円偏光X線が理想）、単色性の高い（プロファイル解析で必要）光が必要。ピンホールカメラを用いたイメージングでは均一で大きなビームの方が便利。

櫻井 浩（群馬大）

磁気コンプトン散乱を用いた、スピン選択磁化曲線、軌道選択磁化曲線、元素選択磁化曲線、磁気量子数別スピン選択磁化曲線の測定手法を開発した。現在広く知られているXMCDを用いた磁気光学総和則は磁気飽和した場合でしか適用できないので、スピン選択磁化曲線、軌道選択磁化曲線を測定できるユニークな測定手法である。TbCo 垂直磁化膜ではスピン・軌道あるいは元素別の磁化曲線は同一であった。一方、CoFeB/MgO トンネル磁気接合膜ではスピンと軌道の磁化反転挙動が異なっていた。100keV 以上の高フラックス、円偏光X線が必要。円偏光スイッチングができるほうがいい。高磁場、低温から高温まで利用できるほうがいい。

#### ○総合討論

最初に、櫻井浩（群馬大）により、各講演者の必要な光源性能・測定環境についてのリストが示された。

#### ●高分解能コンプトン散乱実験

100keV 以上。高フラックスが必要、エネルギー分解能 0.01au にしたい。ビームが小さいほうがいい（1mm 以下）。ただし、試料のダメージは心配。温度、高磁場、圧力など測定環境が変えられるほうがよい。二次元検出器を更新してほしい。

#### ●コンプトン散乱イメージング実験

100keV 以上、高フラックス、プロファイル解析には分解能が必要、スキャンニングでイメージングする場合はサブミクロンサイズのビームサイズがよい。エネルギー分解能機能のある多素子検出器・ピンホールカメラでイメージングする場合は、大きくて均一な強度分布のビームがよい。

## ●磁気コンプトン散乱実験

100keV 以上で高フラックスの円偏光 X 線が必要。円偏光スイッチングができるほうがいい。5T 以上高磁場、低温から高温の測定環境があるとよい。

(議論)

・BL08W は、高エネルギーを利用したコンプトン散乱実験できるビームラインとして世界でも唯一の存在。これまでは、only one というそのこと自体が、挑戦的ビームラインであり、優遇もされてきた。しかし、SPring-8 II では、加速電圧は 8GeV から 6GeV に下がり、コヒーレンス化、高輝度化、ナノビーム化に焦点があり、コンプトン散乱はメインではなくなる。

・SPring-8 II へ向けた技術検討の中で、ウィグラービームラインを取り巻く環境に関しては、少なくとも追い風ではないのが現状。円偏光ウィグラー挿入光源の SPring-8 II における導入は、現状では簡単ではない。その背景としては、「ウィグラーを導入すれば、これだけのサイエンスがある、成果がでる」という説明が、施設側に十分なされていない、あるいは、(説明しているのかもしれないが) アピールされてないことがある。ただし、もちろん、研究会として、SPRUC や SPring-8 シンポジウムなどを通じて、声を挙げていけば可能性はゼロではない。

・そもそも施設側としては、SPring-8 II でどのようなサイエンスを目指しているのか、どのようなユーザーを必要としているのか、それが聞こえてこない印象がある。仕様変更ありきで、後はユーザーが考えて下さいというスタンスなのか。

・施設側としては、ビームラインの整備、高効率化は避けられないという認識である。サイエンスに関してはユーザー側での提案を期待している。運動量空間におけるスピン・電子密度科学研究会としても、施設側へアピールするような提案をしてほしい。他の SPRUC 研究会でも例がある。

・BL08W でも、手法がいくつかあり、高分解コンプトン散乱、コンプトン散乱イメージング、磁気コンプトン散乱があるが、手法が違えばビームラインも違ってきてよいだろう。異なる手法全てを一つのビームラインで対応する必要があるのか。各手法に必要な仕様を見極める必要がある。過剰な仕様は避ける方向

で考えるのが再定義化の観点からもよい。

・ SPring-8 共用ビームライン将来計画（2019. 3. 7 高輝度光科学研究センター 共用ビームライン戦略委員会）が公開資料となっている。その中で、「BL08W の磁気コンプトン散乱計測は利用ニーズが低いいため継続しないことにより、ウィグラー光源は必要なくなる」との記述があるが、唐突で経緯がユーザー側に見えない面があった。これに対して、JASRI のレポートであり、SPring-8 (JASRI+理研) の見解ではないという説明があった。なお、戦略会議での認識では、課題当たりの論文数が相対的に少ないなどを根拠に磁気コンプトンのアクティビティが低いとされたようだが、相対的位置の議論であること、コンプトン散乱関連の課題採択率は必ずしも高くなく競争率が高いことが指摘された。

・ SPring-8 II に向け、やはりメインの流れ（コヒーレンス化、高輝度化、ナノビーム化）の中で、コンプトン散乱を捉えていく必要があるのではないか。今日の研究会でも紹介された、コンプトン散乱の超高分解能化も新しい一つの方向性。要するに、必要な光は、高エネルギーの円偏光ビーム、アンジュレーターを上手く利用するという考え方もある。

・ 研究会として、磁気コンプトンのアピールが不足していた。しかし、SPring-8 II の方向性について、JASRI がどういうことを考えているか、という、具体的な情報がこれまでなかったのではないか。出されてないことはもちろんないが、何が“正式”な情報であるのか、ユーザー側からは見えにくかった。情報の開示の仕方が問題では。ビームライン担当者でさえ知らされていない情報が突然公開される。ユーザーは知る由もないとの意見があった。

・ 高エネルギー円偏光のビームが必要ということであれば、位相子を用いる可能性については、必ず議論があるであろう。位相子の利用は、現実性はないのかという意見があった。それに対して、施設側の協力しながらやらないと、難しい面があるというやり取りがあった。施設側の協力体制については、マンパワーの問題がある。また、リソースも限られているので、優先度を設けざるを得ない。もちろん、施設側としては相談には応じる。ただし、研究会としても、魅力的な将来構想提示するなどアピールをして、優先順位を上げるなどの努力が必要。

・今回のように議論された提案や相談について、依然として正式な窓口がどこなのか、曖昧なままである。また、もし、提案や相談を行えたとして、それに対する回答はあるのか？これらの点については、SPRUC JASRI、理研で相談のうえ、整理して、ユーザーに知らせるとともに、その内容についてもオープンにして欲しい。

## 総括

1. 運動量空間におけるスピン・電子密度研究会会員が主に利用する BL08W は高エネルギー・高フラックスかつ円偏光 X 線が得られる国際的に唯一の放射光ビームラインであるため、海外ユーザーの課題申請が多い。そのため例えば 2016A-2018A までの課題採択率の平均は 70%で施設全体の 75%より厳しいことがあらためて認識された。
2. 高分解能コンプトン散乱測定、磁気コンプトン散乱測定、コンプトン散乱イメージングの研究が紹介され、各測定手法の重要性が確認された。施設側と協議しながら Spring-8II にむけての対応を協議していくことが確認された。
3. 各測定手法で必要とされる光源、測定環境について提案された。また、新たな超高分解能コンプトン散乱測定の可能性、BL37XU などの高次光を利用した測定の可能性が提案された。