

■ 会議報告

第25回 HiSOR 研究会 「小型放射光リングによる多彩な量子ビームの発生と応用」

加藤政博 (広島大学/分子科学研究所)
豊川弘之 (産業技術総合研究所)

産業技術総合研究所 TERAS や分子科学研究所 UV-SOR など、1980年代前半から稼働を始めたサブ GeV 級の小型電子シンクロトロン/ストレージリングは、真空紫外・軟 X 線領域の放射光源として利用される一方、小型であることや放射光の熱負荷が小さく放射線遮蔽も容易であるといった大型放射光施設には無い特長を活かすことで、新しい量子ビーム発生法・利用法の開発の場となってきた。可変偏光アンジュレータ、自由電子レーザー、レーザーコンプトン散乱ガンマ線など、様々な量子ビーム源の開発研究が行われてきた。加速器の専門家と利用研究者の距離が近く、赤外放射光利用、レーザーと放射光の併用など、様々な利用技術において先駆的な研究がなされてきた。また、広島大学 HiSOR のような大学の施設では、高精度な光電子分光法や放射光円二色性などにみられるように、教育・人材育成とも絡めながら、息の長い放射光利用技術開発が行われてきた。昨今、大型放射光施設の整備が進む中で、小型放射光リングの特長を活かした多彩な量子ビームの発生法・利用法を概観し、大学における小型放射光施設の在り方を展望する機会とすべく、2019年10月16(水)～17日(木)に広島大学放射光科学研究センターにおいて、表記研究会を開催した。広島大学放射光科学研究センターが主催し、産業技術総合研究所分析計測標準研究部門が共催、また、大学加速器連携協議会の協賛を得た。

研究会のプログラムは以下の通りである。

10月16日(水)

13:00-13:10 開会の挨拶

13:10-13:35 大東琢治(分子研)

走査型軟 X 線顕微鏡の現状と利用の展望

13:35-14:00 東純平(佐賀大)

放射光とレーザーを用いた時間分解光電子分光の現状と展望

14:00-14:25 池本夕佳(JASRI)

赤外放射光の利用と展望

14:25-14:50 長坂将成(分子研)

液体の軟 X 線吸収分光測定の実況と今後の展望

14:50-15:05 — 休憩 —

15:05-15:30 加藤政博(広島大/分子研)

光渦・ベクトル放射光ビームの生成

15:30-15:55 金安達夫(SAGA-LS)

放射光による原子のコヒーレント制御

15:55-16:20 田中隆次(理研 SP8)

差周波 FEL による新たな放射光源の可能性

16:20-16:45 保坂将人(名古屋大)

直冷式超電導偏向磁石による放射光発生

16:45-17:00 — 休憩 —

17:00-17:25 豊川弘之(産総研)

レーザーコンプトン散乱によるガンマ線・陽電子・中性子の発生

17:25-17:50 全炳俊(京都大)

LCS ガンマ線によるアイソトープイメージング

17:50-18:15 北浦守(山形大)

LCS ガンマ線を用いた陽電子消滅寿命解析によるシンチレータ中カチオン原子空孔の可視化

18:15-18:40 平義隆(産総研)

軌道角運動量を運ぶガンマ線の生成

19:00-21:00 — 懇親会 —

10月17日(木)

09:00-09:25 田中真人(産総研)

真空紫外～軟 X 線領域での円二色性計測

09:25-09:50 松尾光一(広島大)

放射光円二色性による糖類の構造ダイナミクスと水和に関する研究

09:50-10:15 原田拓典(大分大)

光学異方性試料の円二色性と円偏光蛍光の偏光解析法

10:15-10:40 高橋淳一(横浜国大)

偏極量子ビーム照射による生体有機分子への光学活性発現実験

10:40-10:55 — 休憩 —

10:55-11:20 泉雄大(広島大)

エピジェネティクス研究への放射光・量子ビームの利用

11:20-11:45 藤井健太郎(量研)

軟 X 線を用いた DNA 損傷生成過程の研究

- 11:45-12:10 田中隆宏 (産総研)
シンクロトロン放射光源を用いた放射パ
ワー標準
- 12:10-12:35 北島昌史 (東工大)
放射光の二次ビーム利用-しきい光電子を
用いた超低エネルギー電子衝突実験
- 12:35-12:45 閉会の挨拶
- 13:00-13:30 (頃) — 施設見学 —

2日間で30名を超える参加者を得て活発な議論が行われた。初日は低エネルギー(長波長)放射光の利用に関する最新の動向に関する講演が行われた。低熱負荷など小型放射光リングの特長を活かしてスピード感のある開発が行われている様子がうかがえた。低エネルギー領域への展開へ力を入れている UVSOR の軟 X 線顕微鏡ビームラインでの自然科学から産業利用に至る幅広い利用の状況が報告された。佐賀大のレーザー放射光同期実験の現状が報告され、第3世代光源の時間分解能でも幅広い研究展開が可能であることが述べられた。赤外放射光利用では近接場光を用いた新しい研究展開が紹介された。大型高輝度光源では赤外ビームライン建設が難しいと言われており、今後、小型放射光施設の役割が重要となってくるものと思われる。UVSOR における溶液試料に対する軟 X 線分光研究の最新の状況が報告され、様々な研究領域へ利用の展開が進んでいる様子がうかがえた。

次の光源に関するセッションでは、二連のアンジュレータを利用した原子の量子状態制御が報告された。放射光利用の新しい領域を切り拓く可能性もあり、今後の展開が期待される。ストレージリングに実装可能な高輝度・コヒーレントな赤外・テラヘルツ領域の放射光を得る新しいアイデアが提案される一方、簡便に運用できる直冷式超電導磁石の利用の状況が報告された。小型低エネルギー放射光施設の波長域の拡大の可能性が示された。また光渦やベクトルビームといった特異な空間構造を有する光をアンジュレータにより生成する手法が紹介された。

初日の最後のセッションはレーザーコンプトン散乱(LCS)にあてられた。産総研で1980年代から開始されたLCSガンマ線の発生とその利用に関する研究が紹介された。指向性、単色性、偏光などの諸特性、陽電子や中性子等の二次粒子の発生も利用することで、原子核物理学研究から非破壊検査技術まで幅広い領域への応用が可能であることが述べられた。続いてLCSガンマ線の応用として原子核共鳴蛍光による同位体非破壊分析に関する最新の成果が報告された。原子力産業や核物質のセキュリティ分野などへの応用が期待される。Ce:GAGGシンチレータの遅延発光メカニズム解明を目指して、超短パルスのLCSガンマ線による光子誘起陽電子消滅寿命測定法を用いた、原子空孔計測に関する研究発表があった。また、高強度レーザーと高エネルギー電子の非線形逆トムソン散乱によって

軌道角運動量を運ぶガンマ線渦が理論的に発生可能であることが報告された。今後原子核物理や物性研究における新しい応用研究の展開が期待される。

1日目の会議終了後には、大学内の施設で懇親会を行い、地元西条の日本酒を楽しみながら異分野交流に努めた。

2日目は放射光円二色性に関するセッションで始まった。円二色性は生体高分子などの立体構造を決定する構造解析法の一つでX線結晶構造解析と共に重要なものである。産総研では、光学素子の問題等から計測が困難であった波長140 nm以下の真空紫外域において、偏光を交流変調できる Onuki 型アンジュレータを使用し、計測系をその動きに同期させることで微弱な円二色性信号を高感度で計測可能なシステムを開発した。測定する試料に応じて、電子エネルギーや電流値等の運転条件を柔軟に変更できる小回りの利く小型施設ならではの成果である。次いで、広島大学 HiSOR の円二色性ビームラインにおける、真空紫外領域での糖類水溶液の円二色性スペクトルに関する研究が紹介された。糖類は水溶液中で多くの構造異性体を有しているため、理論予測が困難である。そこで分子動力学シミュレーションを用いることで、水溶液中の分子構造や水和構造を推測することを試み、実験値と良い一致を示すことが確認されたとのことであった。次に、結晶や液晶などの異方性固体の円二色性を測定する場合に問題となる、直線二色性や直線偏光蛍光などの影響を正確に評価する手法、および2重変調方式キラリティ分光計とその応用に関する講演があった。同分光計は円二色性と円偏光蛍光の可視・紫外域における計測の一つの装置で行うことが可能であり実験において多くのメリットがある。自然界のタンパク質を構成しているアミノ酸の多くがL体であるという謎に関して、円偏光などの偏極した量子ビームによってその偏りが生まれたのではないかという仮説、円偏光やスピン偏極電子・ミュオンビームを用いた照射実験が紹介された。

2日目最後のセッションは、円二色性、軟X線照射、標準光源、放射光二次粒子利用まで放射光の幅広い利用に関して講演が行われた。まず、真空紫外領域での円二色性スペクトル計測とNeural Network法によるヒストンタンパク質の二次構造解析に関する講演があった。ヒストンタンパク質は遺伝子発現のON/OFFをつかさどるエピジェネティクス研究において重要なタンパク質である。その二次構造をヘリックスや β シートの本数だけでなく、その位置を含めて解析する手法が紹介された。次に軟X線照射によるDNAの損傷に関する研究成果が報告され、広く知られた直接/間接効果に加え、DNAを取り囲む水和水を介した塩基損傷(準直接効果)が生じることなどが紹介された。次いで、赤外から硬X線に渡る広範な波長領域で検出器の特性評価や感度校正用の標準光源としての放射光の利用に関する講演があった。極低温放射計と小型常温放射計の開発、および分光応答度に関するドイツとの国際

比較について紹介があった。正しく定量化された放射光ビームラインを整備して、検出器の基礎特性を正しく評価することは、学術・基礎研究と産業利用の結節点として重要であり、ドイツでは計量専門の放射光リングが整備されていることが紹介された。最後に、放射光照射により生じる二次粒子であるしきい光電子を利用した超低エネルギー電子・分子衝突実験について講演があり、100 meVをはるかに下回る低エネルギー領域で他の手法では困難な高分解能の実験が可能となっていることが紹介された。

セッション終了後には短時間であったが、参加者の皆様にHiSORをご見学いただいた。

以上、2日間にわたり計30名以上の参加者を得て、話題

は極めて広範囲にわたるものであったが、活発な議論が行われた。会議の冒頭で世話人（加藤）より、今回の研究会では、結晶構造解析、XAFS、光電子分光など、放射光利用の王道を行くテーマは避けて日陰者を集めた、との失言があったが、あらためて放射光利用の広がり、奥深さを感じられた研究会であった。また、小型施設ならではの小回りの利く研究環境を活かして新しい領域を切り拓く試みが活発に行われていることも強く印象に残った。講演者、参加者の皆様に御礼申し上げるとともに、広島大学放射光科学研究センター、産業技術総合研究所、大学加速器連携協議会のご協力に感謝いたします。