

文部科学省科学技術試験研究委託事業

「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」

平成20年度成果報告書

大学共同利用機関法人自然科学研究機構

本報告書は、文部科学省の平成20年度科学技術試験研究委託事業による委託業務として、大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所が実施した平成20年度「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

委託業務の題目 「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」

レーザーとリング型加速器を用いてテラヘルツ領域及び真空紫外・軟 X 線領域の極短パルス光、大強度コヒーレント光を生成する技術を確立し、これら従来のシンクロトロン光にない特質をもった光の利用技術を開拓することを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所及び国立大学法人名古屋大学、国立大学法人京都大学と共同で業務を行う。大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所では、光源装置及び光利用装置に関わる研究開発を実施する。

2. 平成20年度（報告年度）の実施内容

2. 1 実施計画

① 加速器装置の設計・製作

レーザーと電子ビームを用いて極短パルス光・コヒーレント光を発生する先進光源装置を分子科学研究所のリング型光源 UVSOR-II 上に構築するために必要となる加速器装置を設計し、それらの製作を進める。

② レーザー装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるレーザー装置の設計を行い、また、製作を進める。レーザー増幅器の導入により、コヒーレント光発生効率を高めるために必要となる高エネルギーレーザーパルスを発生できる装置の構築を進める。

③ アンジュレータ装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるアンジュレータ装置の設計・検討を行う。電子にエネルギー変調を与えるためのモジュレータ、様々な偏光のコヒーレント光・極短パルス光を発生するためのラディエータ、さらにその間に設置されるバンチャーの設計を進める。

④ ビームライン装置の設計・製作

先進光源の発生する極短パルスシンクロトロン光、コヒーレントシンクロトロン光を取り出すためのビームライン装置の設計検討を進める。

⑤ プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、技術検討会の開催などを通じて参画機関の連携・調整にあたる。

特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、必要

に応じて調査を行い、プロジェクトの推進に資する。

プロジェクトで得た成果については、積極的に公表し、今後の展開に資する。

2. 2 実施内容（成果）

① 加速器装置の設計・製作

レーザーと電子ビームを用いて極短パルス光・コヒーレント光を発生する先進光源装置を分子科学研究所のリング型光源 UVSOR-II 上に構築するために必要となる加速器装置を設計し、それらの製作を進めた。先進光源装置専用直線部を創出するために、UVSOR-II 光源加速器の入射路及び電子蓄積リングの一部を図 1 に示すように改造する案を策定した。このために必要となる加速器機器として、入射路改造用 15 度偏向電磁石 3 台を設計し、製作を行った。また、これら電磁石の励磁用電源の製作を行った。

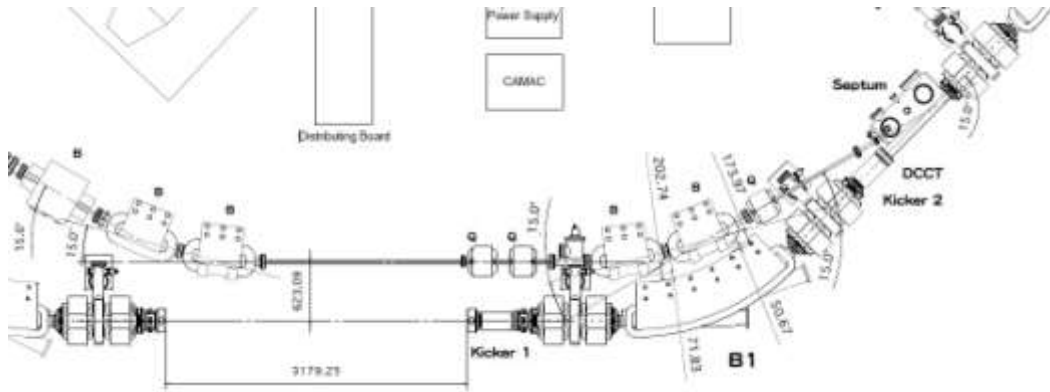


図 1. UVSOR 電子蓄積リング改造案（上側が入射路終端部、下側がリングの一部）。ビーム入射点を移設することで約 4m の直線部を創出する。入射路には 15 度偏向電磁石 3 台を追加する。

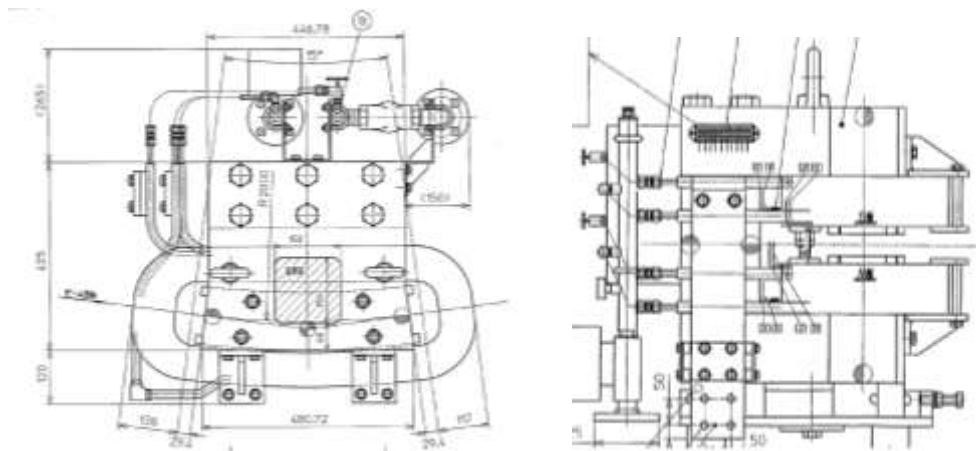


図 2. 入射路用 15 度偏向電磁石製作図（右；トップビュー、左；サイドビュー）

② レーザー装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるレーザー装置の設計を行い、製作を進めた。名古屋大学と協力し設計検討を進めた結果、既設の 2.5mJ-1kHz のレーザー装置の後段に 50mJ-10Hz の増幅器を設置し、更にそれに並列に 10mJ-1kHz の増幅器を設置することで、短波長コヒーレント光発生を可能とする超高エネルギーパルスの生成と高出力コヒーレント光の発生を可能とする高繰り返し高エネルギーパルスの生成が行えるシステム構成とすることに決定した。レーザー装置の構成を図 3 に示す。今年度は、チタンサファイアレーザー増幅器、励起光源、冷却装置、パルス圧縮装置を購入し、パルスエネルギー50mJ の増幅器を製作した。

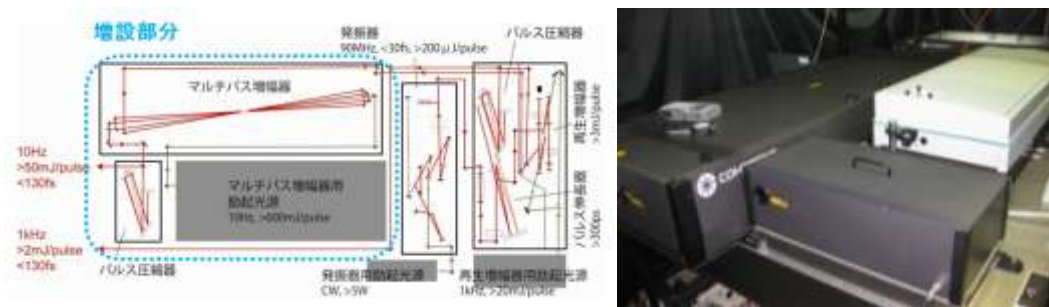


図 3. レーザー装置構成図 (左) と立ち上げ調整中の同装置 (右)

③ アンジュレータ装置の設計・製作

先進光源装置の中核となるアンジュレータ装置の設計・検討を行った。電子にエネルギー変調を与えるためのモジュレータ、様々な偏光のコヒーレント光・極短パルス光を発生するためのラディエータ、さらにその間に設置されるバンチャーの設計を進めた。

モジュレータの設計にあたっては、チタンサファイアレーザーとその高調波に可能な限り広い波長範囲で同調可能であること、加速器運転上の制約により最小磁石間隙は 24 mm であることなどを考慮した。また、アンジュレータの磁石構成としては、偏光可変なコヒーレント光発生を狙って、可変偏光型とすることとし、その中でも比較的単純な構造でありながら直線・円などあらゆる偏光に対応できる APPLE-II 型を採用することとした。図 4、5 に示す磁場解析の結果、周期長 84 mm とすることで、上記の条件をすべて満足しつつ、電子ビームへの影響を最小限にできることが明らかになった。

ラディエータに関しては、モジュレータと同じ周期長とする案と、より短波長域を狙うために周期長が短く周期数の多いものとする案を比較検討し、後者を採用する方向でさらに検討を進めることとなった。バンチャーに関しては、検討の結果、アクロマティックバンドを採用する方向で、今後さらに詳細な磁場計算を行うこととなった。

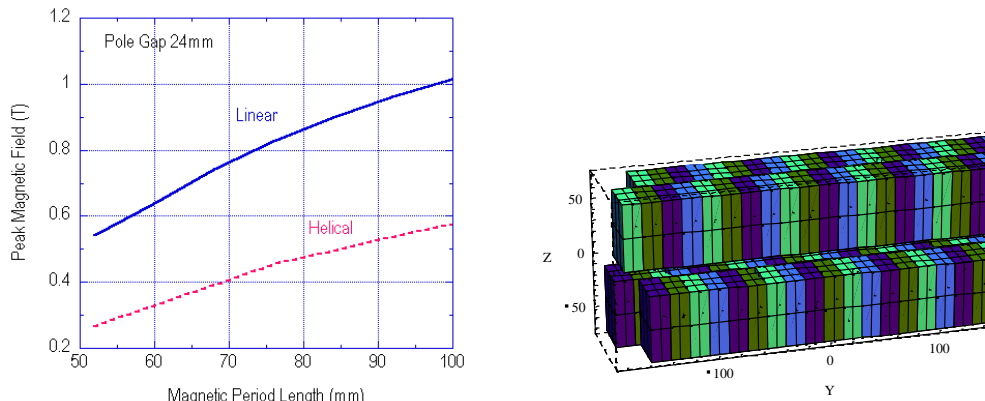


図 4. APPLE-II 型磁石列の磁場計算結果（左）と 3 次元磁石構成モデル

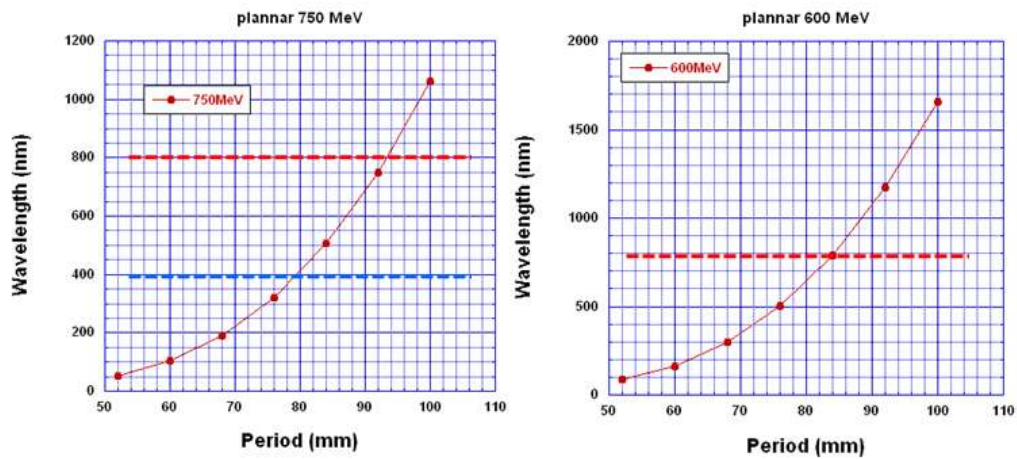


図 5. モジュレータの周期長とレーザー波長の関係

④ ビームライン装置の設計・製作

先進光源の発生する極短パルス真空紫外シンクロトロン光、大強度コヒーレントテラヘルツシンクロトロン光を取り出すためのビームライン装置の設計検討を進めた。その結果、マジックミラーを利用した超広アクセプタンスを特徴とするビームライン装置とすることとなった。また、大強度テラヘルツ光利用に関する予備実験を京都大学と協力して進めた。また、同一の電子ビームから発する真空紫外光とテラヘルツ光を使ったポンプ・プローブ分光に関する検討を行った。

⑤ プロジェクトの総合的推進

2009 年 3 月に分子科学研究所において、幹事機関及び参画機関の研究者が参加する技術検討会を開催した。各機関から計画の進捗状況を報告し、進捗の確認、調査を行った。また、今後の進め方に関する討論を行った。各機関の研究者は、

電子メールで日常的にプロジェクトに関する情報交換・意見交換を行ったほか、月一回程度の頻度で分子科学研究所においてプロジェクトに関する打合せを行った。さらに2009年3月に分子科学研究所において、幹事機関及び参画機関の研究者が参加する技術検討会を開催した。各機関から計画の進捗状況を報告し、進捗の確認、調査を行った。また、今後の進め方に関する討論を行った。

研究成果については、2009年1月の日本放射光学会を始めとする国内の学会・研究会において関連する研究発表（口頭発表1件、ポスター発表2件）を行い、また、関連する論文2篇を学術雑誌に投稿した。

2. 3 成果の外部への発表

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
UVSOR-IIにおけるコヒーレント光発生の現状と展望（ポスター）	阿達正浩、加藤政博、他9名	第22回日本放射光学会年会	2009年1月11日	国内
UVSOR-IIにおけるレーザーシーディングを用いたコヒーレント光源の設計（ポスター）	谷川貴紀、阿達正浩、坂将人、山本尚人、加藤政博	第22回日本放射光学会年会	2009年1月11日	国内
UVSOR-IIにおける光源開発研究（口頭）	加藤政博	第15回FELとHigh-Power Radiation研究会	2009年3月6日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Optimization of a seeded Free Electron Laser with Helical Undulators	M. Labat, M. Hosaka, M. Shimada, M. Katoh, M. E. Couprie	Physical Review Letters 101, 164803	2008年10月	国外
Observation of Synchrotron Sidebands in a Storage-Ring-Based Seeded Free Electron Laser	M. Labat, M. Hosaka, M. Shimada, N. Yamamoto, M. Katoh, M. E. Couprie	Physical Review Letters 102, 134501	2009年1月	国外

2. 4 活動（運営委員会等の活動等）

第一回技術検討会（2009年3月3日：分子科学研究所）

2. 5 実施体制

別表1参照

別表1 平成20年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 加速器装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博 山崎 潤一郎 林 憲志
2. レーザー装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	○阿達 正浩 ◎加藤 政博 谷川 貴紀 千葉 寿
3. アンジュレータ装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博 谷川 貴紀 山崎 潤一郎
4. ビームライン装置の設計・製作	自然科学研究機構分子科学研究所	○木村 真一 繁政 英治 彦坂 泰正 伊藤 孝寛 堀米 利夫 蓮本 正美 中村 永研 酒井 雅弘 近藤 直範
5. プロジェクトの総合的推進	自然科学研究機構分子科学研究所	◎○加藤 政博

注1. ◎:課題代表者、○:サブテーマ代表者

注2. 本業務に携わっている方は、全て記入。