

大阪府大放射線研究センターの加速器施設と研究の現状

STATUS OF THE ACCELERATOR FACILITIES AND THE RESEARCH ACTIVITIES IN RADIATION RESEARCH CENTER, OPU

奥田修一^{#, A)}, 宮丸広幸^{A)}, 谷口良一^{A)}, 小嶋崇夫^{A)}

Shuichi Okuda^{#, A)}, Hiroyuki Miyamaru^{A)}, Ryoichi Taniguchi^{A)}, Takao Kojima^{A)}

^{A)} Radiation Research Center, Osaka Prefecture Univ.

Abstract

At Radiation Research Center in Research Organization for University-Community Collaborations, Osaka Prefecture University (OPU), an OPU 16 MeV electron linear accelerator (linac), a 600 keV Cockcroft-Walton electron accelerator and a 1 MeV disktron-type ion accelerator have been used for scientific and industrial researches in various fields. These are also applied to the education for the graduate school students and the activities for the university-community collaborations. The electron accelerators have been applied to characteristic scientific researches. The applications of the ion accelerator has been started after the adjustment for about two years. The present status of these accelerators and their recent application researches are reported.

1. はじめに

大阪府立大学 (OPU) 放射線研究センター^[1]は、地域連携研究機構に所属する6センターのうちの1つである。放射線や量子ビームの利用を行う4研究室、教員11名の組織で、地域貢献と特徴ある研究の実施を目的とする。密封放射線源、電子・イオン加速器、非密封放射性同位元素取扱い施設による基礎研究のための総合的な放射線・量子ビーム利用研究基盤施設が、大規模なクリーンルーム施設と共に管理運用されている。加速器・放射線関連施設^[2]は、大阪府立放射線中央研究所において設置され、現在まで55年間、継承されてきた。学内共同利用と、共同研究や放射線照射事業などにより学外に開かれた産学官の利用が行われている。この活動の概要をFigure 1に示す。利用研究の成果は、各年度の「共同利用報告書」に取りまとめられている^[3]。

放射線研究センターでは、このような施設の一部

として加速器が利用されていることが大きな特徴である。センターの活動、電子・イオン加速器とそのビーム利用の現状について報告する。

2. 放射線研究センターの施設と活動

放射線研究センターの教員は、それぞれ異なる研究科、専攻を担当して大学院教育を行ってきたが、特徴ある施設を活用した実践的な教育を特徴とする「量子放射線系専攻」が2013年度に大学院工学研究科に新たに設置された。量子放射線工学分野1分野からなる。当研究センターの教員全員がこれを担当しており、他部局の教員も主担当となっている。現在、博士前期課程21名、後期課程7名が在籍し、内5名が外国人留学生である。また約3分の1が加速器に関連する研究を行っている。

地域貢献活動として、放射線フェア「みんなのくらしと放射線展」^[4]が行われている。関西を主とする放射線・原子力関連9機関が実行委員会を作り、毎年夏休みを中心に、親子や一般市民を対照とする放射線知識普及活動で、これまで32年の活動で、のべ45万人以上が参加している。広く放射線・量子ビームに関係する内容を取りあげ、関西を中心とする加速器施設の紹介も行われた。

2012年度文部科学省原子力人材育成等推進事業に採択され、関西を中心とする組織や市民のリスクコミュニケーションとして

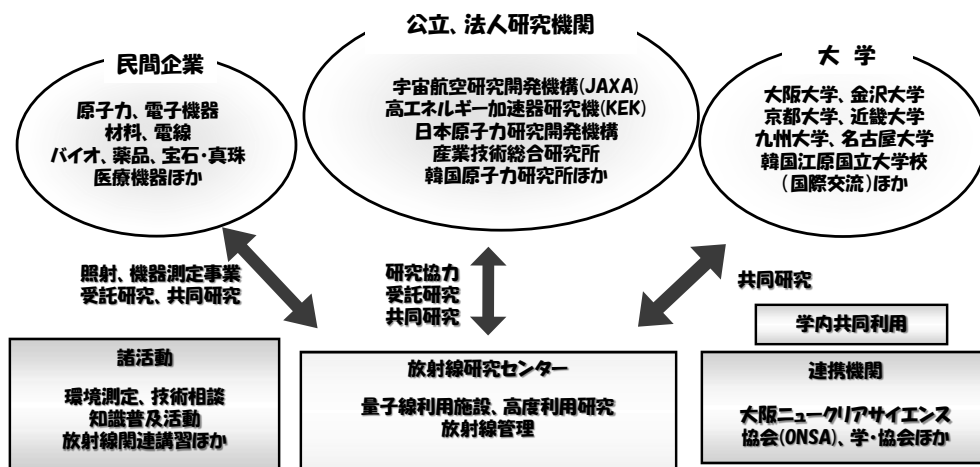


Figure 1: Activities of Radiation Research Center, OPU.

[#] okuda@riast.osakafu-u.ac.jp

での指導者人材育成を 3 年の計画で行っている^[4]。センターの施設を利用した実践的な研修を行うことが特徴で、加速器の見学や紹介も行っている。民間の加速器関連の技術者も多く参加している。

新しい量子ビーム利用研究を分野横断で行うために、大阪府立大学 21 世紀科学研究所「量子ビーム誘起反応科学研究所」を設置している^[5]。今後、大学院新専攻における基礎研究の進展に合わせて、新たな研究分野の構築をめざす。

加速器・密封放射線源利用施設では、中・低エネルギーの電子加速器およびコバルト 60 ガンマ線照射施設で、種々の放射線利用研究が行われている。電子加速器は、多目的利用のための設備を持ち、独自ビームの開発研究を行っている。また加速器の利用や見学を通じて、学生の教育研究、一般市民への知識普及活動が行われている。イオンビーム分析用のディスクトロンイオン加速器は、ビーム利用に向けた整備を終え、利用研究を開始した。

放射線研究センターの加速器・密封放射線源利用施設の概要を Figure 2 に示す。主な電子加速器は、16 MeV ライナック、および 600 keV コッククロフト・ウォルトン加速器である。両者とも 300-400 mm 幅のビーム走査により、試料上部から広い面積での照射を空気中で行うことができる。このように中～低エネルギー領域で、基礎研究に必要な汎用の利用条件が特徴である。基礎研究のための種々の照射条件を設定し、比較的広い照射室スペースを利用した機器の試験等、利用条件に合わせた照射環境を設定している。

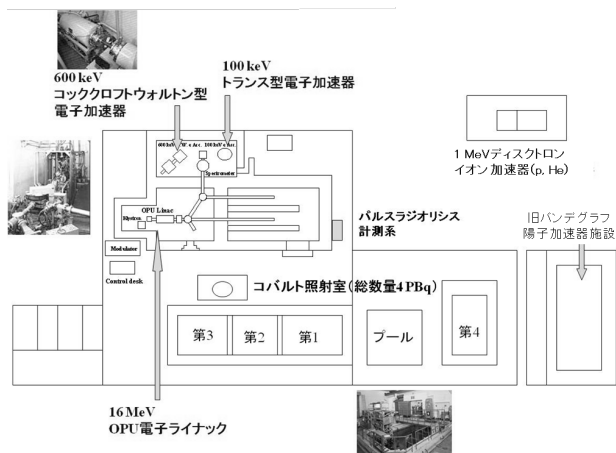


Figure 2: Schematic diagram of the accelerators and the irradiation facilities.

イオン加速器として、1 MeV ディスクトロン加速器（陽子、ヘリウムイオン）があり、放射線管理区域外に置かれ、時間をかけた整備の後、利用研究を開始した。

電子ライナックおよびディスクトロンイオン加速器は、2005-2010 年および 2012-2014 年度 KEK 大学等連携支援事業で整備が行われている。今後電子ライナックとイオン加速器による総合的な分析システ

ムを整備し、教育研究に活用する。またイオン加速器では、RBS、PIXE などの分析法にパルス特性を付加して、新たな分析手法の開発をめざす。

現在これらの施設では、加速器の運転を含む管理運用を教員 4 名で行っている。装置の管理や運転の効率化のため、技術職員の設置を提案しており、この実現がセンターとして優先される課題である。

放射線研究センターの施設と組織は、他大学にない特徴があり教育研究に貢献できるもので、本学における平成 25 年度の重要戦略研究拠点として認められた。水プール施設にある強力な ⁶⁰Co ガンマ線源 4 本（1 本当たり 380 TBq）が、2014 年 1 月に 11 年ぶりに更新された。高線量率でのガンマ線照射は、加速電子線照射との比較によって線質の影響を明らかにする上で非常に重要である。

3. OPU 16 MeV 電子ライナックとその利用研究

OPU 16 MeV 電子ライナックは、1962 年に設置され、広く日本の研究者に利用されてきた。特に老朽化した加速器要素については、2005-2010 年度の KEK 大学等連携支援事業による整備を経て、新しい利用研究への展開が図られてきた。OPU 電子ライナックの概念図を Figure 3 に示す。

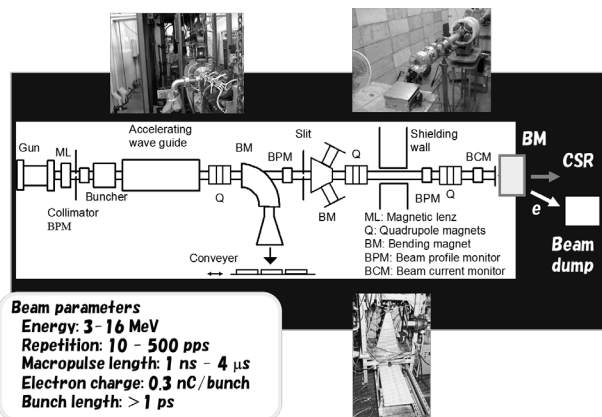


Figure 3: Schematic diagram of the OPU electron linac.

独自に開発した超微弱ビーム^[6-8]（パルス当りの電荷量 fC 以下）により、利用ビーム強度範囲 10 桁以上を実現し、広く利用研究が行われている。高感度線量計の特性研究、イメージングプレートを用いた電子線ラジオグラフィ、制動放射 X 線の高精度計測、核反応によるウラン・トリウムの高感度分析法の開発などが特徴ある研究である。またその他には、液体窒素のオゾン爆発に関する研究、コヒーレント THz 放射の吸収分光システムの開発、液体窒素の電子線照射による反応の研究、パルスビーム画像撮像装置の開発などの研究を行っている。

2013-2014 年度は、装置全体として特に大きな故障はなかったが、例えば大気に晒した加速管の真空立ち上げに 1 ヶ月以上かかるなど、要素の老朽化の影響が深刻になってきた。このようになり手を加

えながら運転を行っているが、クライストロンも製造されていないこともあり、近い将来更新が必要で、将来計画を検討中である。

2012 年度に施行された新法令における放射化物の管理に関連して、ライナック第 2 照射室における X 線ターゲットの管理と、ターゲット周辺の遮蔽について施設の変更許可申請を行った。排気・排水に関連した設備の追加は行っていない。2013 年度末に事業所の放射線障害予防規程の変更を行って、法令改正への一連の対応を完了した。

4. 600 keV コッククロフト・ウォルトン電子加速器とその利用研究

600 keV コッククロフト・ウォルトン電子加速器 (Figure 4) について、現在このような低エネルギーで基礎研究のための照射ができる汎用加速器は日本で非常に限られている。この加速器の特徴ある利用実験を、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との共同研究で 2005 年度から継続して行っている。人工衛星用太陽電池の宇宙環境での耐放射線性試験が目的である。試料は、高効率の 3 接合化合物系太陽電池 (InGaP/GaAs/Ge) および宇宙環境での耐性が強い薄膜 CIGS 太陽電池 (Cu (In, Ga) Se₂) である。この実験では、ビーム輸送系端に設置したチェンバーで、試料を液体窒素冷却しながら真空中で照射できる。このような照射システムは、世界でもほとんど例がないようである。

500 keV 以下の比較的低いエネルギーでは電子線の照射影響は十分小さいと考えられていたが、これまで実験が十分に行われていなかった。また、欠陥生成に関する知見を得るために、閾エネルギー付近における照射効果の研究が重要である。この結果、エネルギー 250 keV での照射で、太陽電池の特性が回復する新たな現象が観測され、さらに閾エネルギー以下でも照射による特性の劣化が認められるなど、注目すべき成果が得られている。これらの原因の探求が行われている。

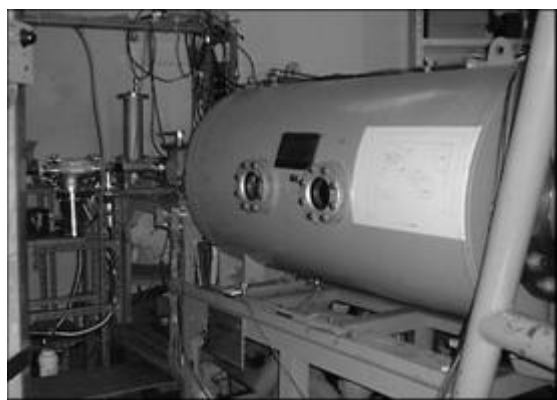


Figure 4: 600 keV Cockcroft-Walton electron accelerator.

この加速器の保守や運転を行うために、教員に余裕がなく、退職した教員が非常勤で担当している。加速器は、最近特に大きな故障はなかったが、故障

した部品の入手が困難であり、修理や熱陰極フィラメント交換などの保守作業はすべてセンターの教員で行っている。

5. ディスクトロンイオン加速器の整備

イオンビーム分析装置として 20 年前に導入されたタンデム加速器は、制御のためのコンピュータシステムに対して補修部品の入手ができず、負イオン源の動作が不安定で、利用実験が困難な状態であったが、ある程度の性能を維持した状況で利用を停止していた。2012 年大阪府立産業技術研究所から別のイオン加速器の移譲を受け、先の加速器を補う形で最終的な整備、調整を行ってきた。1 MeV のディスクトロンイオン加速器 (神戸製鋼所製) で、水素、ヘリウムイオンが加速できる。システム全体の調整と特に高圧タンク内のイオン源の修理のために時間を要したが、ビーム利用が開始された。RBS 分析のほか、⁷Li(p, α)⁴He を利用した NRA (Nuclear reaction analysis)、PIXE 分析を行っている。今後パルス特性を持たせるなどの特徴的なシステムの開発を計画している。

6. おわりに

大阪府立大学地域連携研究機構の放射線研究センターは、加速器・密封放射線源利用施設など総合的な放射線・量子ビームの利用環境がある。OPU 電子ライナックおよびコッククロフト・ウォルトン電子加速器では、着実に基礎研究が進展している。またディスクトロンイオン加速器は、ビーム分析を中心に利用実験が開始された。これらの加速器施設は、センターの大学院教育、放射線知識普及、人材育成活動にも活かされている。

参考文献

- [1] <http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index.html>
- [2] 奥田修一, 日本加速器学会誌 2 (2005) 96.
- [3] 大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター平成 24 年度共同利用報告書.
- [4] <http://www.housyasenten.com/>
- [5] 奥田修一, 大阪府立大学における分野横断型研究の展開 -21 世紀科学研究所の挑戦-, 大阪府立大学 21 世紀科学研究機構編 (2010) 第 4 章.
- [6] 奥田修一, 高齢の加速器が生み出す超微弱電子ビーム・百舌鳥の知恵, 「産学官連携活動の実際」, 大阪府立大学, 編中央経済社 (2008) 165-175.
- [7] R. Taniguchi et al., Radiat. Phys. Chem. 76 (2007) 1779.
- [8] R. Taniguchi et al., Radiation Measurements 43 (2008) 981.
- [9] H. Shimomura et al., Progress in Nucl. Sci. Technol. 4 (2014) 721.