

5

京都大学工学研究科加速器施設の紹介 (京都大学大学院工学研究科 附属量子理工学教育研究センター)

京都大学大学院工学研究科 准教授 土田 秀次

本加速器施設は京都大学宇治キャンパスにあり、半世紀にわたり共同利用施設として教育研究に活用されている。イオンや電子を光の速さの1/10 から 1/100 程度まで加速できる加速器が複数台あり、加速器からのビームを用いて、原子、分子、液体、固体物質に照射した際に生じるミクロな反応を調べる研究を行っている。講演では、施設の紹介、共同利用の現状、及び生命・物質科学に関する最近の研究成果を紹介する。

京都大学工学研究科加速器施設の紹介

京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター

土田 秀次

1. はじめに

本講演では、京都大学宇治キャンパスにある工学研究科原子核工学専攻放射実験室の加速器施設を紹介する。この施設は、放射性同位元素等取扱施設として約 50 年前に建設され、RI や加速器を用いた多様な実験研究が実施できる施設である。本講演では、加速器に関わる話を中心に、加速器の構成、利用方法、維持管理体制、および最近の研究例を紹介する。

2. 加速器の構成

本施設にある加速器の一覧を図 1 に示す。イオン加速器が 3 台、X 線照射用電子加速器が 1 台を有した国内外の大学において類を見ない充実した施設である。1969 年に「重イオン核物性実験装置」（三菱電機の 1 号機となる 4 MV バンデ・グラフ型イオン加速器と 2 MV 電子加速器）が設置されて以降、約 20 年毎に、1988 年に「イオンビーム分析実験装置」（1.7 MV タンデトロン加速器）が、2010 年に「マイクロイオンビーム解析実験装置」（2 MV ペレトロンタンデム加速器）が導入されている。

イオンバンデは、5 本の専用ビームラインを有し、主に H や He などの軽イオンビームを用いて、原子衝突実験、材料照射実験、大気圧下試料の元素分析、高速イオンと表面の相互作用に関する実験が行われている。電子バンデは、制動 X 線の照射実験に利用されている。

タンデトロンは、4 本のビームラインを有し、H から Au までの軽から重イオンビームが利用でき、多原子分子に対する衝突実験、表面相互作用、陽電子消滅分光や X 線回折その場観察による材料照射実験、イオンビーム分析が行われている。

マイクロは、4 本のビームラインを有し、H から Au までのイオンビームに加え、クラスタ



タイプ	バンデ・グラフ型 イオン加速器 (通称:イオンバンデ)	コッククロフト・ワルトン型 タンデム加速器 (通称:タンデトロン)	バンデ・グラフ型 ペレトロンタンデム加速器 (通称:マイクロ)	バンデ・グラフ型 電子加速器 (通称:電子バンデ)
メーカー	三菱電機	セイコー電子工業	米国NEC	三菱電機
最高電圧	2.5 MV	1.7 MV	2.0 MV	2.0 MV
設置年	1969	1988	2010	1969

図 1 : 加速器の一覧

ーイオンビームが利用できる。この加速器の特徴は、イオンビーム分析専用ラインにおいてマイクロビーム（ビーム径：約 30 μm ）が利用でき、全ての種類の分析（薄膜の厚さ分析に用いる RBS、軽元素の深さ分析に用いる ERDA、軽元素分析に用いる NRA、重元素分析に用いる PIXE）ができる。また、クラスタービーム専用ラインでは、C、Al、Si、Cu などの少数原子から成るクラスタービームを用いた実験ができる。この他、真空内液体標的（液体ジェットおよび液滴）へのイオンビーム照射実験が行われている。

3. 利用方法

加速器は、学内外の共同利用装置になっている。利用は、申請の募集を 3 月に行い、4 月に相談会において 1 年間の実験日程が決定される。1 回あたりの実験日数（単位）は、加速器の種類ごとに異なり、イオンバンデは 1 週間（5 日）、タンデトロンとマイクロは 1/2 週（2.5 日）が 1 回あたりの実験日数の単位になっている。利用料金は、実験日数に応じて変わる。実験を行う際の加速器の運転は、実験者が行うが、初心者には、講習会を実施している。また、実験中にトラブルが生じた場合は、加速器維持グループがサポートする体制となっている。この他に、イオンビームによる委託分析も受け入れている。この場合は、依頼者の試料を維持グループが分析し、解析結果をお渡ししている。利用の詳細は[1, 2]をご覧ください。

4. 最近の研究のトレンド

イオンビーム分析では、ERDA 法による Li 電池内の分析が行われている。イオンビームを用いる利点は、充放電中の Li 挙動をその場観察できることで、電池性能の向上の鍵となっている電極近傍の Li の挙動の解明に貢献している。現在、深さ分解能を向上させるために、飛行時間型 ERDA 装置の整備を行っている。

一方、独自の研究の一つとして、粒子線がん治療に関する基礎研究を行っている。これは、液体内の生体分子の放射線損傷を分子レベルで解明する新しい試みで、生体を模擬するために、真空中に液体ジェットや液滴によって水中環境下の生体物質を作製し、これにイオンビームを交差衝突させ、液体内で起こる反応を調べている。アミノ酸や DNA 構成分子（ヌクレオチド）の損傷メカニズムをミクロな視点で理解することを目指している。

5. まとめ

本加速器施設は、これまで多くの学生や研究者に利用されてきた。装置や放射線施設の維持管理は、現在、教員 7 名と技術職員 2 名から成る「加速器維持グループ」のメンバーで協力して行っている。毎年 4 月に実施している加速器のタンク開け作業は学生と共に行い、加速器の仕組みを実際に見て習得する機会を設けている。また、国内の加速器施設のコミュニティーが集う研究会[3]に参加し、加速器技術や利用促進のための技術開発に関する情報交換を行っている。このように、多くの方々の支援の下で本施設の研究教育活動が長年続けられている。

参考資料

- [1] <http://www.qsec.kyoto-u.ac.jp/accelerators.html>
- [2] <http://www.qsec.kyoto-u.ac.jp/analysis.html>
- [3] <https://www.tac.tsukuba.ac.jp/tandem/>

講演者略歴



土田 秀次 (つちだ ひでつぐ)

所 属 京都大学大学院工学研究科 附属量子理工学教育研究センター 准教授

住 所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

連絡先 TEL/FAX : 0774-38-3974、E-mail:tsuchida@nucleng.kyoto-uac.jp

学 職 歴 1998年 京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 博士後期課程 単位認定学修退学

2001年 博士(工学)(京都大学)「高速イオンによるC₆₀分子の衝突反応素過程に関する研究」

1998年 奈良女子大学 理学部 助手

2004年 京都大学大学院 工学研究科 助手

2009年 京都大学大学院 工学研究科 准教授 現在に至る

研究・活動分野など 加速器からのイオンビームを用いて放射線と物質の相互作用を原子物理学の観点から研究している。最近、重粒子線がん治療に関する基礎研究として、水中における生体分子の放射線損傷を分子レベルで解明するための実験を行っている。