

## Status and future plan of Center for Accelerator and Beam Applied Science of Kyushu University

Nobuo Ikeda<sup>1,A)</sup>, Kenji Ishibashi<sup>A)</sup>, Tetsuo Noro<sup>B)</sup>, Kenshi Sagara<sup>B)</sup>, Yujiro Yonemura<sup>A)</sup>, Hidehiko Arima<sup>A)</sup>,  
Tomio Okai<sup>A)</sup>, Yusuke Uozumi<sup>A)</sup>, Keisuke Maehata<sup>A)</sup>, Yukinobu Watanabe<sup>C)</sup>, Nobuhiro Shigyo<sup>A)</sup>,  
Genichiro Wakabayashi<sup>A)</sup>, Takashi Teranishi<sup>B)</sup>, Tomotsugu Wakasa<sup>B)</sup>, Tsuneyasu Morikawa<sup>B)</sup>, Yukie Maeda<sup>B)</sup>,  
Akira Takagi<sup>D)</sup>, Hisayoshi Nakayama<sup>D)</sup>, Sadayoshi Fukumoto<sup>D)</sup>, Yoshitaka Kimura<sup>D)</sup>, Yoshiharu Mori<sup>E)</sup>,  
Takio Tomimasu<sup>F)</sup>

A) Department of Applied Quantum Physics and Nuclear Engineering, Kyushu University

744 Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 810-0395

B) Department of Physics, Kyushu University

6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581

C) Department of Advanced Energy Engineering Science, Kyushu University

6-1 Kasuga-kouen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580

D) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

E) Research Reactor Institute, Kyoto University

2-1010 Asashiro-nishi, Kumatori, Osaka, 590-0494

F) SAGA Light Source

8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

### Abstract

Kyushu University founded Center for Accelerator and Beam Applied Science in April 2007 to supply particle beams and gamma rays for users in such fields as nuclear, material, biological, and medical science and technology. A new facility of this Center, that includes a Fixed-Field Alternating-Gradient (FFAG) accelerator and <sup>60</sup>Co gamma-ray irradiation system, is decided to be constructed at Ito Campus of Kyushu University. Construction of a facility building (phase 1) and transport of the FFAG accelerator from KEK to Ito Campus are on schedule to be completed before the end of 2007 fiscal year.

## 九州大学加速器・ビーム応用科学センターの現状と将来計画

### 1. はじめに

九州大学には、工学部コッククロフト実験室にコッククロフトワルトン加速器、理学研究院原子核実験室にタンデム加速器、医学部附属病院に小型サイクロトロン、応用力学研究所にタンデトロンが設置されており、研究及び教育に用いられてきた<sup>1)</sup>。箱崎地区に設置されている前者2つは、ともに九州大学の研究者が手作りで建設した加速器であり、研究テーマに応じた加速器改良・開発を施しつつ特徴ある研究成果をあげてきた。しかしながらコッククロフトワルトン加速器については設置より40余年を経て既に維持費が切られ、運転を停止している。タンデム加速器は現在も高いアクティビティを保っているものの、建設より30年以上を経ており老朽化が著しく、また維持費削減により保守運営が困難な状

況になっている。

九州大学は、元岡地区に新たに伊都キャンパスを建設し、箱崎地区、六本松地区、原町地区のキャンパスを伊都キャンパスに総合移転する計画を進めている。キャンパス移転決定を機に、九州大学では、原子核物理学・工学の研究者を中心に、材料科学や生命科学など幅広い分野の研究者も含め、九州大学におけるビーム利用科学の発展方向について議論を重ねてきた。その結果、箱崎地区に現存する加速器施設を統合し、陽子エネルギーにして100~200 MeVの領域の加速器と加速器質量分析 (AMS) 等の学際研究に資する小型タンデム加速器を有する施設を伊都キャンパスに新設することが望ましいとの結論を得た。

キャンパス移転は平成17年10月より開始し、現在、伊都では工学系の活動が展開している。工学系

<sup>1</sup> E-mail: nikeda@nucl.kyushu-u.ac.jp

の移転に同期し、工学部コッククロフト加速器実験室と学内共同利用施設である量子線照射分析実験施設を統合し、新たに「加速器・ビーム応用科学センター施設」を伊都キャンパスに建設する計画が認められた。この計画は、高エネルギー加速器研究機構（KEK）において開発された固定磁場強収束（Fixed-Field Alternating-Gradient; FFAG）シンクロトン加速器を伊都キャンパスへ移設・整備することを柱としている。さらに平成26年に予定されている理学系の移転に合わせ理学研究院原子核実験室を加速器・ビーム応用科学センター施設に移設統合して本格的な加速器共同利用施設とし、九州大学における量子ビームを利用した教育や研究に広く資するとともに、将来的にはアジアの中核となる共同利用教育研究施設へと発展させることを目指している。

## 2. 九州大学加速器・ビーム応用科学センター

九州大学においては、量子ビーム科学の推進に向け、新たな学内共同教育研究支援組織として「加速器・ビーム応用科学センター」を平成19年4月に設置した。本センターは加速器開発・研究支援部門、ハドロン物質・エネルギー部門、粒子線学際科学支援部門、ガンマ線学際科学支援部門の4部門から成る。なお、伊都キャンパスにおける研究基盤が整備された後には生命科学部門を立ち上げるなど、研究・開発の進展に合わせて柔軟に部門の改変を行う予定である。

人員については、工学研究院、理学研究院、総合理工学研究院、農学研究院、薬学研究院、比較社会文化研究院、医学研究院を複担元とする九州大学の教員により構成されており、本学の幅広い研究分野の研究者が連携し教育・研究を推進する体制が整った。

## 3. 新加速器施設の加速器の概要

伊都キャンパスに新設される加速器・ビーム応用科学センター施設の主加速器として、KEKで開発された150 MeV FFAG加速器を譲受し、導入する予定である。150 MeV FFAG加速器のレイアウト及び設計パラメータを各々図1、表1に示す。このFFAG加速器は森らが世界に先駆けて実用性を実証したマシンであり<sup>[2,3]</sup>、繰り返し周波数100 Hzで陽子を10 MeVから100 MeVまで加速し約1 nAのビームを取り出すことに成功している。現在この加速器は解体され、KEKに保管されているが、加速器要素開発を大学等連携支援事業（KEK）の援助を得て精力的に進めているところである。

FFAG加速器は強収束シンクロトンの特徴を有するが、固定磁場でビームを加速するため通常のシンクロトンより速い繰り返しでの加速が可能であ

り、これにより大強度のビーム加速・取り出しが期待できる。産声をあげたばかりの荒削りな段階にあり様々な可能性を豊富に秘めるFFAG加速器は、上述の通り手作りの加速器を改良しつつ特徴ある研究成果を挙げて来た伝統と実績を持つ九州大学にうってつけの加速器であるといえる。九州大学への移設当初は、KEKで実現済みのビーム強度1 nA程度の100 MeV陽子を研究や教育に供する予定であるが、暫時加速器開発を進め、早期に150 MeV陽子加速の実現、ビーム強度の増強及び遅い取り出しの実現を図り、さらにはFFAG加速器独自の特徴を活かすべく新たな開発に取り組んでいく予定である。

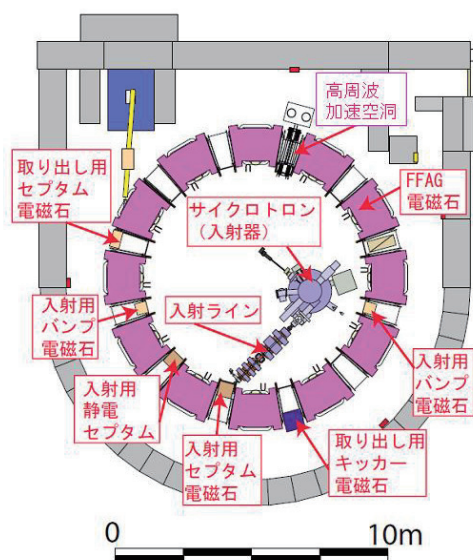


図1：KEKで開発された150 MeV FFAG加速器

表1：150 MeV FFAG加速器の設計パラメータ

電磁石	radial セクター型 (DFD-triplet)
セル数	12
k値	7.62
ビームエネルギー	12–150 MeV (10–125 MeV)
平均半径	4.47–5.20 m
ベータトロンチューン	水平方向：3.69–3.80 垂直方向：1.14–1.30
最大磁場 (軌道上)	F磁極：1.63 T D磁極：0.78 T
周回周波数	1.55–4.56 MHz
繰り返し	100 Hz

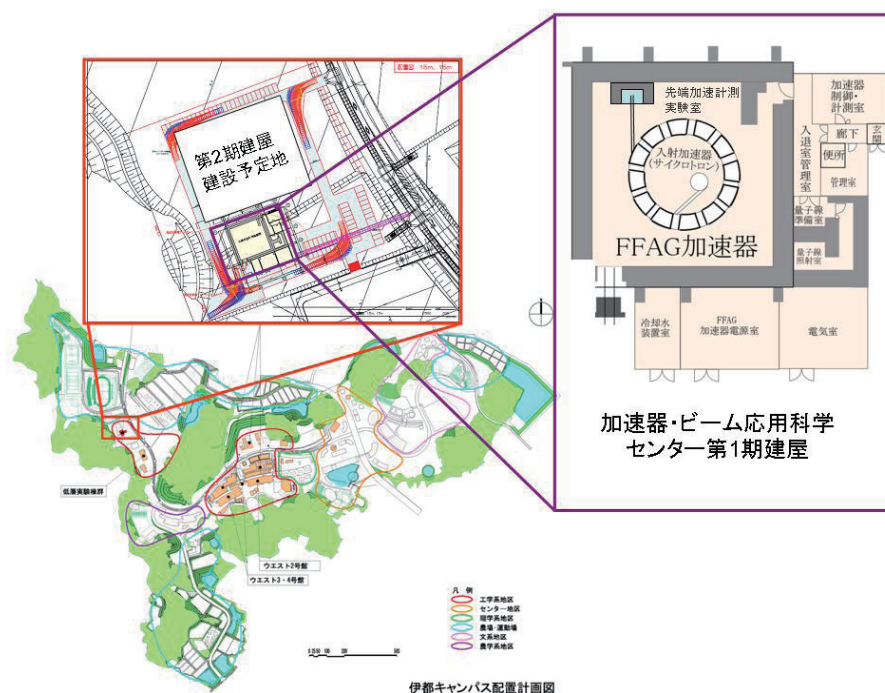


図2：伊都キャンパス加速器・ビーム科学センター施設の配置計画及び第1期建屋レイアウト

FFAG加速器移設時には、入射器として用いられていたベビーサイクロトロンもいただけることになっており、当面はこのサイクロトロンを入射器として用いる。しかしビームの大強度化、加速ビーム種の拡大を考えると、新たな入射器の導入が不可欠である。重イオン入射器としては、ターミナル電圧5 MV程度の小型タンデム加速器を導入する計画を立てている。タンデム加速器は単独でも利用し、AMSやPIXEなど学際科学研究にも資する。一方、大強度陽子ビームの加速を実現するには、大強度陽子入射器の導入が必須である。FFAG加速器が工学部コッククロフトワルトン加速器の代替として導入が決まり、小型タンデム加速器が理学研究院タンデム加速器の代替として導入される計画であるのに対し、大強度陽子入射器は全く新たに導入する必要がある。

#### 4. 施設の建設・整備計画

新施設は平成19年8月に第1期建屋建設が開始され、平成20年3月には一部インフラ整備を除き完成する予定である。平成19年度末にFFAG加速器をKEKから伊都キャンパスへ移設し、平成20年度に加速器の整備・調整を行う。また平成20年度にはコバルト60ガンマ線照射システムの整備も行うこととなっている。

伊都キャンパスにおける新施設の配置、並びに第1期建屋の平面図を図2に示す。第1期建屋では加速器ビームを利用する実験室が用意できておらず、移転計画に従えば、平成26年度に予定されている理学研究院の伊都キャンパス移転に合わせた第2期の建屋建設を待たなければならない。第2期建屋建設は平成25年を想定しており、小型タンデム加速器を導入するとともに、実験装置の導入・整備を行い、本格的な加速器施設とする長期的な計画となっている。しかし間断なく施設整備と研究の推進を実現するため、第1.5期として平成21年度を目処にいくつかの実験室の増設と大強度陽子ビーム入射器の導入を実現させたいと願っている。

#### 参考文献

- [1] 石橋健二. “九州大学における加速器に関わる研究”, Proceedings of the Workshop on Research and Development of Accelerators in Atomic Energy Science – Perspective of Accelerators and Beam Science in the 21st Century -, Kumatori, Aug. 7-8, 2001 (KURRI-KR-68)
- [2] Y. Mori, “Development of FFAF accelerators and their applications for intense secondary particle production”, Nucl. Instrum. and Methods A 562, 591-595, 2006
- [3] Y. Yonemura, et al., “Development of RF acceleration system for 150 MeV FFAF accelerator”, Nucl. Instrum. and Methods A 576, 294-300, 2007