

# PROGRESS OF THE IFMIF/EVEDA PROTOTYPE ACCELERATOR IN THE BROADER APPROACH ACTIVITIES FOR FUSION ENERGY IN FY2008

Katsuhiro Shinto<sup>1, A)</sup>, Christophe Vermare<sup>A)</sup>, Hiroo Asahara<sup>A)</sup>, Masayoshi Sugimoto<sup>A)</sup>, Pascal Garin<sup>A)</sup>, Sunao Maebara<sup>B)</sup>, Hiroki Takahashi<sup>B)</sup>, Hironao Sakaki<sup>B)</sup>, Toshiyuki Kojima<sup>B)</sup>, Shigeru O'hira<sup>B)</sup>, Takayuki Kikuchi<sup>B)</sup>, Takashi Kubo<sup>B)</sup>, Kazuhiro Yonemoto<sup>B)</sup>, Haruyuki Kimura<sup>B)</sup> and Yoshikazu Okumura<sup>B)</sup>  
 A) IFMIF/EVEDA Project Team, B) Japan Atomic Energy Agency  
 2-166 Omotedate, Rokkasho, Kamikita, Aomori 039-3212, Japan

## Abstract

Progress of the IFMIF/EVEDA prototype accelerator in fiscal year of 2008 is described. All the sub-systems of the prototype accelerator have started to be designed, settled the plan of the manufacturing and component tests and fixed the design parameters. As a result of the analysis of planning for the engineering validation of the IFMIF accelerator system, the project duration to be extended to the end of 2014 was approved by the 5<sup>th</sup> BA Steering Committee meeting held in May 2009.

## IFMIF/EVEDA原型加速器の進捗状況

### 1. はじめに

国際核融合材料照射施設に関する工学実証及び工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)<sup>[1]</sup>は、2007年7月より始まった「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体 (EURATOM) との間の協定 (BA協定)」の3事業の1つである。IFMIF加速器<sup>[2]</sup>の低エネルギー部として試験される原型加速器は、この事業で行われる主な工学実証活動の1つである。この原型加速器では、ビーム強度125 mA、ビームエネルギー9 MeVの重陽子イオン (D<sup>+</sup>) の連続 (CW) ビームを生成する予定である。また、このときに得られる原型加速器試験の成果を反映してIFMIF加速器システムの工学設計が行われる。

本稿では、青森県六ヶ所村にある国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 内のIFMIF/EVEDA開発試験棟と加速器機器群とのインターフェースや、工学実証のために現在提案されている原型加速器の総合試験計画について報告する。

### 2. IFMIF/EVEDA原型加速器

六ヶ所村のIFERCに設置及び試験される原型加速器は、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 型D<sup>+</sup>イオン源と低エネルギービーム輸送系 (LEBT) を備えた入射器、ビームを5 MeVまで加速する高周波四重極 (RFQ) リナック、9 MeVまでの加速を行うHalf Wave Resonator (HWR) 型超伝導リナックの初段 (IFMIF実機では4段構成で設計されている)、高エネルギー輸送系 (HEBT) 及びCW運転時に最大1.2 MWのビームパワーに耐えうるビームダンプ、高周

波源などの機器群で構成されている。この原型加速器は、フランスのCEA、スペインのCIEMAT、イタリアのINFN、ベルギーのSCK・CENと日本のJAEAの国際協力により調達される。この内、JAEAはRFQリナック用の高周波結合器<sup>[3]</sup>、加速器制御システム<sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup>及び加速器建屋<sup>[6]</sup>を担当する。加速器構成機器群の各担当については図1に示す通りである。

2008年の主な活動として、

- 主リナックの超伝導化
- 原型加速器の各機器群の設計の進展
- 加速器構成機器群と建屋間のインターフェースの進展
- 日本での機器群の設置や試験のための日欧合同安全作業会の設置

などが挙げられる。

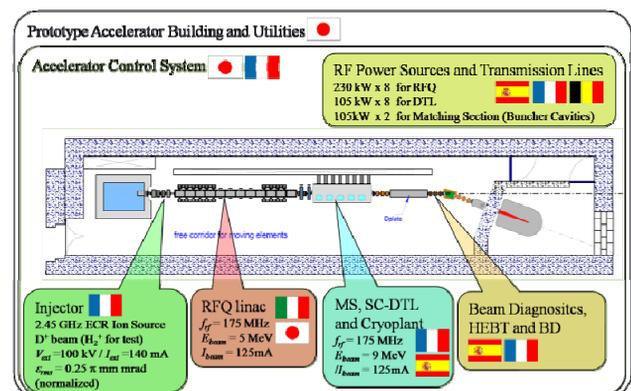


図 1: IFMIF/EVEDA 原型加速器

<sup>1</sup> E-mail: katsuhiro.shinto@ifmif.org

## 2.1 IFMIF/EVEDA加速器システムに関する承認事項

日欧の政府代表、専門家及びアドバイザーで構成されるBA運営委員会が、3事業の活動について承認を与える。この委員会は、年2回（5月、12月）に行われ、各事業の全体計画、前年度の活動報告、次年度の作業計画等について議論される。

IFMIF/EVEDA加速器システムに関しては、

- HWR型超伝導リナックの提案
- 工学実証活動の2014年末までの延長などが、これまでの委員会で承認された。

## 2.2 加速器建屋と加速器構成機器群とのインターフェースの進展

多くの機器はEUが調達し、一部の機器と六ヶ所村の加速器建屋は日本が調達するため、原型加速器の試験を行うために、インターフェースの議論は非常に重要な作業の1つである。

これまでの議論によって得られた加速器機器群を設置したときのIFMIF/EVEDA開発試験棟の3次元CAD図を図2に示す。

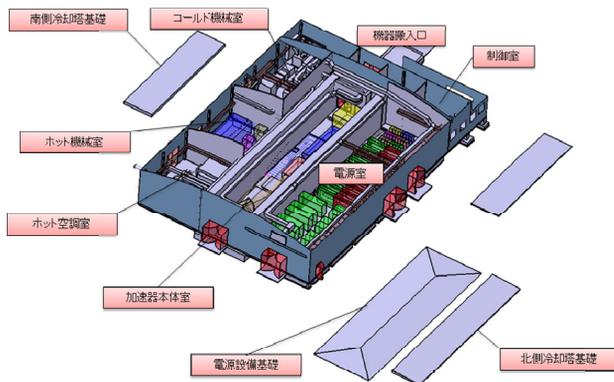


図 2: IFMIF/EVEDA 開発試験棟の 3 次元 CAD 図

加速器建屋は平屋建てであり、加速器本体室は1.5mのコンクリート壁で覆われている。放射線レベルを管理区域境界で基準値以下にするために、ビームダンプ設置後に、ダンプ周辺部には補助遮蔽を設ける。加速器の試験を段階的に行う必要があり、物品を容易に搬入できるように、搬入口は加速器本体室の直ぐ横にある。電源室と加速器本体室の間には地下ピットを設けて、RF導波管や同軸線、電気ケーブル、制御ケーブル、信号ケーブルが通る構造になっている。冷却水配管は、当初地下ピットを通す設計であったが、管理区域内補助施設室-加速器本体室間の壁を貫通するように設計変更した。

## 3. 六ヶ所IFMIF/EVEDA開発試験棟での原型加速器総合試験計画

2007年7月より始まったIFMIF/EVEDA事業であるが、現在までの2年間に原型加速器の各機器について設計が進められており、設計後に製作、EUの各実施機関にて個別試験を行ってから日本へ輸送し、青森県六ヶ所村IFERCのIFMIF/EVEDA開発試験棟に設置して、ビーム加速を含めた総合試験を行う。

日本での原型加速器のビーム試験では、最大9 MeV/125 mAのD<sup>+</sup>ビームのエネルギー及び電流をCWで発生させるため、僅かなビーム損失でも装置の放射化や、ビームパワーによる装置の破損などの問題が生じる。また、限られた時間及び予算で効率よく成果を出して、IFMIF加速器としての工学実証を行わなければならない。これらの課題を考慮して、許容される放射化レベルを見極め、一方で取得すべき実験データを明確にし、将来のIFMIFの定常運転への目処をつける必要がある。このため、加速器のビーム試験を、

- ① 入射器のみ
- ② 入射器+RFQリナック
- ③ 原型加速器全体

と段階的に行うシナリオが提案されている。ビーム試験を段階的に行いながら、後段加速器の設置を行っていくため、加速するイオン種としてH<sub>2</sub><sup>+</sup>を用いて、CW運転方式のみではなく、パルス運転方式を行うことで、装置の放射化を低減することを考える必要がある。図3に各ビーム試験時のイオン種、ビームエネルギー、ビーム電流及び運転方式を示す。

イオン種	エネルギー	ビーム電流	運転方式 (Duty)
H <sup>+</sup>	100 keV	125 mA	パルス(<1%)
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>		25 mA	CW
D <sup>+</sup>		10 mA / 125 mA	パルス(<1%)
		125 mA	CW

(a): 入射器

イオン種	エネルギー	ビーム電流	運転方式 (Duty)
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5 MeV	25 mA	パルス(<5%)
D <sup>+</sup>		10 mA	パルス (<0.1%)
		125 mA	パルス (<1%)

(b): 入射器+RFQ リナック

イオン種	エネルギー	ビーム電流	運転方式 (Duty)
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	9 MeV	25 mA	パルス(<1%)
			CW
D <sup>+</sup>		10 mA /125 mA	パルス(<1%)
		125 mA	CW

(c): 原型加速器全体試験時

図3: 六ヶ所でのビーム試験時の運転方式

入射器のビーム試験時には、イオン源及びLEBTの動作確認及びEUでの試験結果の再現性を確認し、加速器本体室の放射化を避けるために、D<sup>+</sup>ビームではビーム品質の確認を短期間で行う。RFQリナック

設置後、高周波加速のため $e/m$ 比がほぼ等しいH<sub>2</sub><sup>+</sup>ビームでRF周波数や電磁石など加速器の調整を十分行った後に、イオン種をD<sup>+</sup>に変えてビーム品質を調べる。後段の超伝導リナックの設置を考慮して、D<sup>+</sup>ビーム試験は低デューティ、短期間で行う。超伝導リナック設置後、再度H<sub>2</sub><sup>+</sup>ビームで加速器機器の調整、ビーム品質を確認して、CW運転について実証試験を行う。最後にイオン種をD<sup>+</sup>に変えて、パルス運転で微調整、ビーム品質を調べた後に、大強度CW運転を行うことで工学的にIFMIF加速器を製作することが可能であることを実証する。これを考慮して日本での総合試験計画は、図4に示すように2012年夏より入射器の試験を開始して、2014年末に工学実証活動を終了する予定である。

2011年		2012年				2013年				2014年				
3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	
入射器 EUで製作 ビーム試験		入射器 日本への輸送、六ヶ所に設置			入射器 ビーム試験			入射器+RFQ リナック ビーム試験				原型加速器 ビーム試験		予備期間
RFQリナック EUで製作、試験(ビーム無し)				RFQリナック 日本への輸送、六ヶ所に設置										
HWR超伝導リナック EUで製作、試験(ビーム無し)								HWR超伝導リナック 日本への輸送、六ヶ所に設置						

図4: IFMIF/EVEDA 開発試験棟での原型加速器試験スケジュール

#### 4. まとめ

IFMIF加速器システムの工学実証活動は、2007年7月より約2年間が経ち、原型加速器の全ての構成機器群の設計が進められてきた。日欧(欧州は4カ国参加)の国際共同研究であるが、加速器建屋と構成機器群のインターフェースの詳細がほぼ決まりつつある。

また、原型加速器の総合試験計画や方針の第一案が示されてきた。段階的に加速器の総合試験を行うので、装置の放射化を出来る限り抑えるために、D<sup>+</sup>ビームを用いる代わりに、H<sub>2</sub><sup>+</sup>ビームを最大限活用する必要がある。(スコープ、リスク、予算や時間などの)プロジェクト管理の観点からも、総合試験計画を今後更に最適化する必要がある。

#### 参考文献

- [1] P. Garin and M. Sugimoto, Fusion Engineering and Design, **83**, 971-975 (2008).
- [2] K. Shinto *et al.*, Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual Meeting of Particle Accelerator Society in Japan and the 33<sup>rd</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.255-258 (2008).
- [3] 前原直, 本発表原稿集
- [4] 高橋博樹他, 本発表原稿集
- [5] 小島敏行他, 本発表原稿集
- [6] 久保隆司他, 本発表原稿集