

## DEVELOPMENT PLAN OF PROTOTYPE ACCELERATOR FOR IFMIF

Masayoshi Sugimoto<sup>1,A)</sup>, Sunao Maebara<sup>A)</sup>, Ryuji Kubo<sup>A)</sup><sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Agency

801 Mukouyama, Naka, Ibaraki, 311-0193

## Abstract

IFMIF project employs a 40MeV-125mA deuteron linac to produce neutron irradiation field for developing the fusion materials. After the ITER site selection, the IFMIF-EVEDA was nominated as one of three projects under the Japan-EU Broader Approach activities in the field of fusion energy research. The EVEDA aims at finalizing the engineering design and obtaining the validation data for the essential component technology. A prototype accelerator up to the first DTL tank, ~10MeV-125mA, will be newly built and tested in Japan within the next 6 years.

## IFMIF加速器プロトタイプの開発計画

## 1. はじめに

国際核融合材料照射施設(International Fusion Materials Irradiation Facility, IFMIF)は40MeV-250mA重陽子ビームをLiに当てることで発生する中性子を用いて核融合炉の中性子照射場を模擬する材料照射施設であり、1980年代の米国FMIT計画の中止以来、その実現は核融合材料開発に携わる者の長年の夢となっている。これまで、IEAの国際協力の下で概念設計と重要要素技術の開発研究が行われてきたが、このたび、ITERの建設サイトの決定に伴う措置として、ブローダーアプローチ(BA)と称する一連の日欧共同事業を日本国内で実施する方向で合意が得られつつあり、その一環として、IFMIFの工学実証・工学設計活動(Engineering Validation and Engineering Design Activities, EVEDA)を6年計画で執り行う予定である。EVEDAの目的は、将来のIFMIF建設判断に資する施設全体の工学設計、並びに、その裏付けとなるデータを整備するとともに、各サブシステムの連続安定運転の実現を見通せる性能実証試験を行うことである。特に、加速器システムにおいては、主加速器であるDTLの初段タンクまでを含むプロトタイプ(10MeV-125mA)を製作し、総合試験を日本で行うことが想定されている。EVEDA期間において実施すべき加速器開発の概要と取り組むべき課題をまとめる。

## 2. IFMIF加速器の概念仕様

IFMIFの設計概念[1]に基づく加速器の概略仕様を表1に、加速器システムのレイアウトを図1に示す。加速器システムは40MeV-125mAの加速性能を有する同一の加速器2式からなる。特徴としては、重陽子用5MeV/175MHzのRFQを採用している点があげられ、空洞長が全長12.5mに達するため、APT-LEDAに採用された空洞結合板を2箇所入れる構造となる。重要な工学的課題は、照射施設全体で実稼働率70%以上、

加速器システムだけでは、88%以上を実現するように求められていることであろう。

表1 : IFMIF 加速器の要求仕様[1]

加速ビーム	平常運転 D <sup>+</sup> ; ビーム試験時 H <sub>2</sub> <sup>+</sup>
ビーム特性 分布 稼働率	40MeV-125mA CW (x 2 式) 幅 20cm x 高 5cm (一様), 88%以上
設計寿命	30 年
入射器	ECR 源, Solenoid 収束 LEPT, $\epsilon \sim 0.2 \pi \text{ mm mrad}$ (規格化 rms), 寿命 1000 時間以上
RFQ	175MHz, 4-vane, Ein/Eout 95keV/ 5MeV, 通過率>90%, $\epsilon \sim$ 横 0.4/ 縦 0.8 $\pi \text{ mm mrad}$ (規格化 rms)
DTL	175MHz, Alvarez, post coupler, Ein/ Eout 5/40MeV, $\epsilon \sim$ 横 0.4/ 縦 0.8 $\pi$ mm mrad (規格化rms), 分割タンク方式
高周波源	175MHz/1MW CW, 最終段増幅管 Diode (RFQ 2式, DTL 10式)

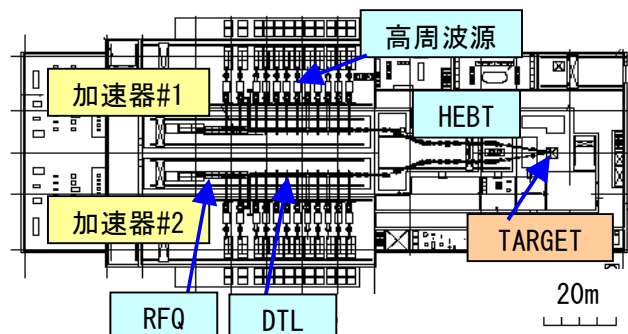


図1 : IFMIF 加速器システムのレイアウト

<sup>1</sup> E-mail: sugimoto.masayoshi@jaea.go.jp

年度	1995	2000	2005	2010	2015~
概念設計 (CDA/CDE)				IEA協力で実施 (日、欧、米、露が参加)	
要素技術確証 (KEP)			総合設計報告書 (IFMIF-CDR)		
工学実証・工学設計活動 (EVEDA)	日欧 BA 協定の下で実施予定			6年	加速器プロトタイプ、Liモデルリング等の実証試験と施設全体の工学設計
建設・運転・開発・廃止活動 (COEDA)				建設判断	建設 (~7年) 試験調整 (20~30年間) 運転・開発 (20~30年間) 廃止 (~5年)

図2：IFMIF全体計画スケジュール (案)

### 3. 加速器関連のEVEDA実施タスク

IFMIF加速器関連の要素技術開発として、これまで入射器の連続運転試験や高周波源の試験など [2] を実施してきたが、加速空洞そのものの試作を含む開発が不足しており、加えて、実機製作の前にそれらを統合した試験が必要であること、また、照射試験を開始するまでのプロジェクト費用を合理化するためにも、日欧BAの下で実施するEVEDAにおいては、概念設計報告 [1] に示した5年計画を6年に拡張し、低エネルギー加速部のプロトタイプを建設する方針となった。図2に全体計画スケジュールを、図3にプロトタイプ加速器の構成を示す。プロトタイプ用機器 (高周波源等) を実機に再利用を図ることで建設に要する期間を数年短縮することを意図している。詳細な実施タスク内容は2007年内のEVEDA開始までに決定されるが、大筋として、工学設計作業を共同チームの主導で実施、加速器要素機器の製作は欧州が主担当、運転試験用建家を始めとする一般資源及び安全規制面を日本が主担当で対応する予定である。

#### 3.1 開発項目と課題

EVEDAにおける主たる開発項目の目的と課題を表2にまとめる。プロトタイプ加速器は図3に示すように、入射器から初段DTLタンクまで (~10MeV-125mA)

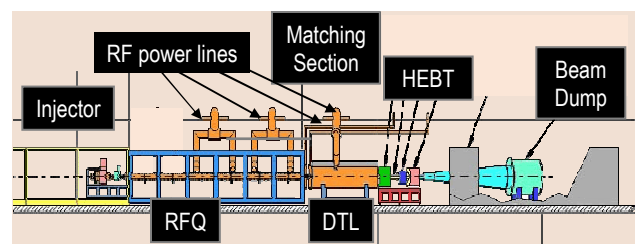


図3：プロトタイプ加速器の構成

の実機仕様の各機器とビームダンプ (~1MW) へ導く短いHEBTから構成される。試験建家には加速器本体を収める遮蔽コンクリート室 (L40mxW10mxH8m, コンクリート厚1-1.5m)、高周波源室 (1MWx3, 50kWx2)、ユーティリティー (ホットエリア用の水・電力・空調等)、組立て調整エリアが必要である。個別に製作・調達された各要素機器は順次、試験サイトに搬送され、据付作業を実施する。このため、建家への搬入が円滑に行われるよう組立て調整試験計画を練っておく必要がある。

運転試験は入射器部分、RFQ出口まで、全体を通して大きく3段階に分かれ、それぞれ、H<sup>+</sup>、H<sub>2</sub><sup>+</sup>、及びD<sup>+</sup>でビーム試験を行う。ターゲット入射開始時には、熱ショックを防ぐため、段階的にビーム電力を上昇させたいという要求があるので、パルス (ms以上) モードからCWに円滑に移行する方法を確立することも求められる。全体を通しての連続ビーム試

表2：加速器関連のEVEDAタスク (案)

項目	目的	課題
1) プロトタイプ加速器設計・製作	フルスペックの入射器、RFQ、マッチングセクション、DTL初段タンクの設計・製作	加速空洞の冷却・周波数同調システム。要素機器の放射化レベルの抑制。
2) プロトタイプ加速器の据付・試験	1) で製作した要素機器を3) の試験建家に搬入し、据付調整後、要素ごとの性能確認試験を経て、最終的にフルビームパワー試験を実施	日欧分担製作した要素機器と設備との取合。据付調整・試験時のPhysicsサポート。
3) プロトタイプ試験建家の建設	フルビームパワー試験が可能な建物と設備を建設、放射線発生施設として許認可を得る	基本仕様の早期確定。各要素機器の搬入時期・調整試験計画との調整。
4) 要素機器、サブシステムレベルの詳細設計	実証試験タスクの結果を踏まえ、加速器各要素の工学設計を完成、他のサブシステムの工学設計との整合性を保つよう調整	国際共同チームとの連携の確立。

験は最後の1年間に集中して実施する予定である。基本的に、 $D^+$ ビーム試験は機器の放射化を避けるため試験の最終段階に実施されよう。標準のECRイオン源では大電流の分子イオンビームを生成することが難しいため、 $H_2^+$ ビーム試験のためのイオン源が必要となることが予想される。その場合、 $H_2^+$ ビームの試験データから、 $D^+$ ビームの挙動を精度よく予測する手法の確立が重要となる。

### 3.2 分担協力の進め方

図3に日欧BA活動において想定される国際実施体制の考え方を示す。BAにおいて実施される3つのプロジェクトを統括する運営委員会がトップにあり、そこで各プロジェクトのリーダーが指名される。技術的な詳細事項については、プロジェクト委員会が組織されてリーダーに助言する。全体として、プロジェクトリーダーに強い権限を授与することを意識した構造となっている。

IFMIF-EVEDAプロジェクトでは、リーダーが専任の国際(日欧)共同チーム(専門家15名+補助スタッフ16名規模)を組織し、全体の統括と工学設計の監修作業を行う。このチームの所在場所は青森県六ヶ所村となる予定である。

個別の実施タスクは日欧の資金分担枠に沿って、それぞれの実施機関を通じて調達契約という形で実際の開発実施者へ流れる。これは、ITER活動に採用されている物納(in-kind)方式と同等の考えである。原則、欧州で製作された物品は日本に輸入した時点で日本に所有権が移転するが、IFMIF-EVEDA活動については例外を設けている(入射器、高周波電源、付随する制御システムの3種)。

細部のタスク分担は今後半年間の協議の結果、定められるであろうが、資金分担の大枠では、加速器本体の要素機器の大半を欧州が製作することになる。日本の製作分担としては、RFQ入力カップラや全体制御システム(安全系含む)・建家/ユーティリティー、等が見込まれるが、それ以上に重要なのは、工学設計の完成を目指す共同チーム及びプロトタイプ性能試験の実施チームに技術サポートの形で貢献することであろう。

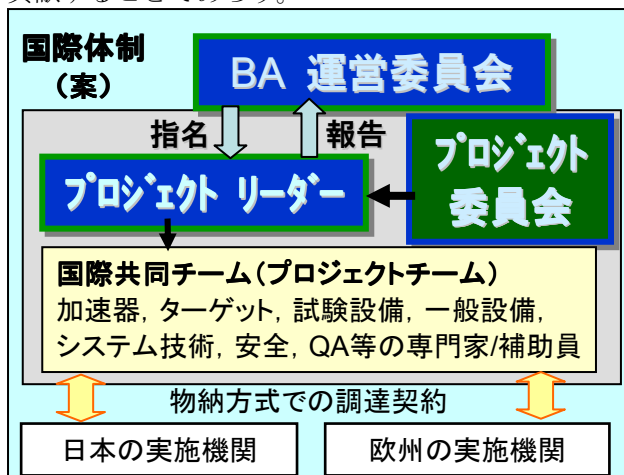


図3：EVEDA実施の国際体制（案）

### 3.3 EVEDA後に持ち越される課題

EVEDAの主要課題がプロトタイプ製作となったため、これまで組上に上った代替案の扱いについて、方針を定める必要がある。とりわけ、フランクフルト大で開発中の超伝導(CH)加速器とDTLとの比較、ターゲット上での矩形一様ビーム形成のためのビーム拡大系として多極静磁場方式とスキャン方式の比較、などはEVEDAで十分な実証ができないので、EVEDA後も継続して検討することになる。

また、EVEDAでは、加速器とターゲットの組合せ試験まではスコープに無いため、ビーム-オン-ターゲット計測(ビームプロファイル分布、散乱等によるビームロス異常検知等)関連の開発が持ち越されることになる。ターゲット直近のビームライン要素に対する保守方法についての実証もEVEDAの範囲外となる。

現在、実機の建設期間の律速となっているのは高周波源ユニットの製作であるとの認識であり、他の要素機器も含め、EVEDAにおける製作経験が納期の短縮に生かされることを期待している。しかし、EVEDA終了後、建設判断が下されるまでに長いリードタイムが生じると有効性が薄れるので、うまく維持できるような方策を検討しておき、EVEDA後に適用してゆく必要がある。

## 4. まとめ

概念設計及び要素技術開発の結果、IFMIFの建設判断に必要な工学設計、並びに、その裏づけとなる実証データの取得を行う目的でEVEDAが企画された。現在協議中の日欧BA活動の下でIFMIF-EVEDAが6年間実施される見通しとなっており、加速器関連の開発として、プロトタイプ製作試験が計画されている。日欧で分担製作したプロトタイプ加速器の要素機器を六ヶ所の試験建家で組上げ、最大10MeV/125mAまでの連続ビーム試験を目指す予定である。

## 参考文献

- [1] IFMIF International Team, IFMIF Comprehensive Design Report, (2004)  
[http://www.iaea.org/Textbase/techno/technologies/fusion/IFMIF-CDR\\_PartA.pdf](http://www.iaea.org/Textbase/techno/technologies/fusion/IFMIF-CDR_PartA.pdf)  
[http://www.iaea.org/Textbase/techno/technologies/fusion/IFMIF-CDR\\_PartB.pdf](http://www.iaea.org/Textbase/techno/technologies/fusion/IFMIF-CDR_PartB.pdf)
- [2] IFMIF International Team, Ed. H. Nakamura et al., IFMIF-KEP International Fusion Materials Irradiation Facility Key Element Technology Phase Report, JAERI-Tech 2003-005, Mar. 2003.