

CONSTRUCTION OF THE VIRTUAL ACCELERATOR FOR THE IFMIF/EVEDA PROTOTYPE ACCELERATOR COMMISSIONING

Hiroyuki Shidara^{#,A)}, Masayoshi Sugimoto^{A)}, Christophe VERMARE^{B)}

^{A)} IFMIF/EVEDA project team (JAEA)

2-166 Obuchi-Omotodate, Rokkasho, Aomori, Japan, 039-3212

^{B)} IFMIF/EVEDA project team (CEA)

2-166 Obuchi-Omotodate, Rokkasho, Aomori, Japan, 039-3212

Abstract

The Engineering Validation and Engineering Design Activities (EVEDA) of the International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) are on-going and will deliver confirmations and knowledge required to start the construction. At the Rokkasho site in Japan, the prototype accelerator with output energy up to 9MeV and full beam current 125mA CW will be installed and commissioned. In order to prepare and follow the accelerator validation experiment efficiently, a virtual accelerator is planned to construct. The virtual accelerator is based on “TraceWin” code as the software platform bridging to the control system with the EPICS layer. This platform has the functionality of the on-line modeling for optics parameters, feeding back the information to the prototype accelerator commissioning.

IFMIF/EVEDA 原型加速器コミッショニング における仮想加速器の構築

1. 研究背景

日欧協力による核融合開発プログラムである BA (Broader Approach) 活動の一つとして、国際核融合材料照射施設 (IFMIF) における工学実証及び工学設計活動 (EVEDA) が現在進められている。EVEDA の主な目的は、IFMIF の建設判断に先立ち工学的に達成可能であるか、主要部の性能を検証することである。IFMIF 加速器の性能検証に関しては、青森県六ヶ所村に原型加速器が建設され、性能実証試験を行う予定である^[1,2]。原型加速器は、大電流加速器の課題が集中する低エネルギー部を検証するため、IFMIF 加速器の 9MeV までを建設し、その設計製作プロセスの実証、加速器としての定常運転性能を示すことが目標である。総合設計報告書 (2003 年)^[3]には、遠隔操作ではない現場での保守作業が可能であることが設計目標として要求されており、大電流加速器であるために、不要な放射化を抑制することが、必要不可欠である。そこで、大電流ビームの実証試験を円滑、効率的に行うために、

実際の加速器構成機器を模擬し、推奨パラメータを導出、直接反映できる仮想加速器の構築が必要である。

2. IFMIF、IFMIF/EVEDA 加速器の概要

IFMIF は、ITER 実験での知見を基に建設される原型炉の材料研究開発を行うための施設として計画されている^[4]。IFMIF は加速器駆動型の中性子源であり、核融合反応の D+T 反応による 14MeV の中性子照射を模擬するものである。施設の構成としては、加速器、Li ターゲット、テストセルなどの試験設備からなり、加速器は 2 基の平行に設置される同性能の加速ユニットで構成する。各ユニットは入射器 (100keV)、RFQ (5MeV)、SRF-Linac (40MeV) からなり、125mA CW の D⁺ を加速し、高エネルギービーム輸送系で最終的に液体 Li ターゲット上のビーム形状が矩形となるように整形し導く^[5]。Li と D との反応により得られる 10¹⁸ n/m²・s の中性子束をテストセル内の各試験片に当てることで最大

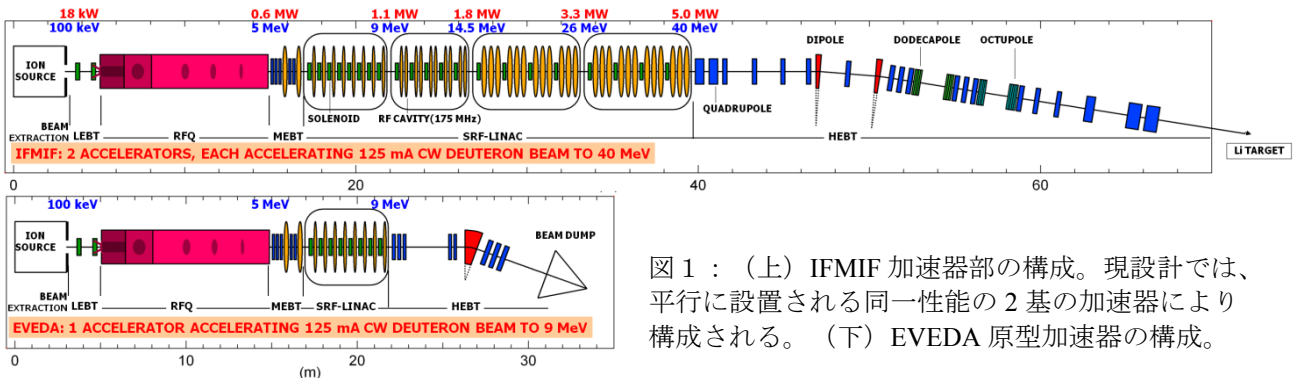


図 1 : (上) IFMIF 加速器部の構成。現設計では、平行に設置される同一性能の 2 基の加速器により構成される。(下) EVEDA 原型加速器の構成。

50 dpa/年の照射場を提供する。

一方、EVEDA 原型加速器は入射器、RFQ までは同じ機器構成であるが、最終加速段の SRF-Linac は IFMIF 加速器で用いる予定の機器、全 4 セクションのうちの初段のみを用い、125mA / 9MeV の D⁺ビームを生成する。また、Li ターゲットは用いず、銅製ビームダンプとなる。(図 1)

原型加速器のビーム コミッショニング計画内容は現在、詳細を検討中であり、取り纏めが行われている段階であるが、まず H⁺で各段を組み上げつつコミッショニングを行い、機器の健全性、ビーム品質の健全性を確認した後、D⁺でのコミッショニングを行い、CW-125mA での長時間運転を行うことが想定されている。(図 2)

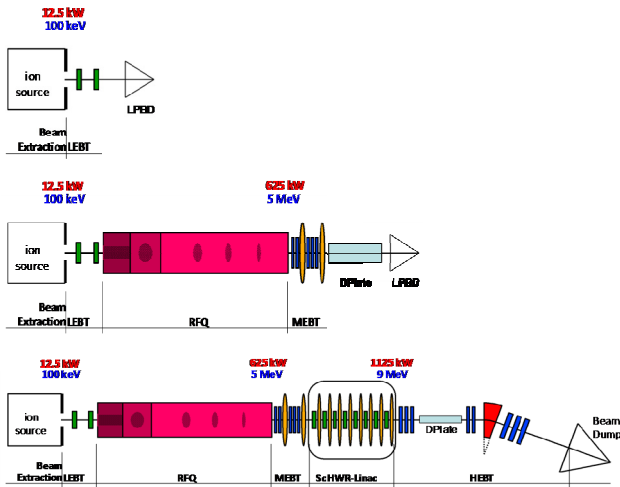


図 2：各加速段の段階的組上げコミッショニング。上から入射器のみ、入射器+RFQ、全段での試験時を示す。

3. 仮想加速器構築の目的

IFMIF 加速器の設計目標として挙げられている、遠隔操作ではない現場での保守作業 (hands-on-maintenance) を実現させるため、設計上想定されていない箇所での不必要な放射化を抑制すること、さらに機器の破損を防ぐためにも設計に基づいたビーム品質を運転時に維持することが必要である。これらは、原型加速器のビーム運転においても達成目標とする必要がある。IFMIF 加速器、EVEDA 原型加速器に関わる重要な課題として、大強度ビームを生成することから空間電荷効果が大きく、ビーム損失割合を 10⁻⁶ に抑えることが必要である。

ビーム損失の主な原因としては、RFQ、SRF-Linac への入射ビームのミスマッチ、空洞内電場の不均一性や時間的揺動などがあり、それらを最小限に抑えなければ加速器の運転、性能の検証を制限することになる。そして、加速器部 全段を結合した EVEDA 原型加速器全体での性能実証が重要である。機器の設定調整は計測系からのデータに基づいたものとなるが、遮断型計測器はパルス時、低電流時のみしか使用できず、また設置場所も限られるため得

られる情報も限られる。円滑、効率的な EVEDA 原型加速器の検証試験を行うことで、IFMIF の建設という次の段階に滞りなく進むことが可能となる。

円滑、効率的に検証試験を行うためには、各計測系から得られたビーム品質に関するデータを基に、磁石の電流値、RF 源の電力、位相等の設定値の調整を、不要な機器の放射化を抑えるため、機器に損傷を与えない状態での設定値調整を確実に行うことが必要である。そして経験が豊富でなくともソフトウェアを用い半自動化させることにより、設定値調整を確実に行うことが望ましい。そこで各々の設定値調整に指針、目安を与えるために、ビーム軌道シミュレーション計算に基づく調整指針を与え、調整設定値を機器の設定値に直接反映出来る手法^[6,7,8]とし、EVEDA 原型加速器において仮想加速器の構築、適用を計画している。

4. 仮想加速器の構築

本仮想加速器は、CEA が開発した TraceWin コードを用い EPICS 制御プラットフォームを介し、実加速器と同等に加速器制御端末から扱えるようにする想定である。(図 3) 仮想加速器の機能としては、光学パラメータのオンライン モデリング、そして確度の高い設定情報を機器運転へのフィードバックが可能であることが必要となる。これら設定調整値を入力、実機器に確実に値を反映させる。

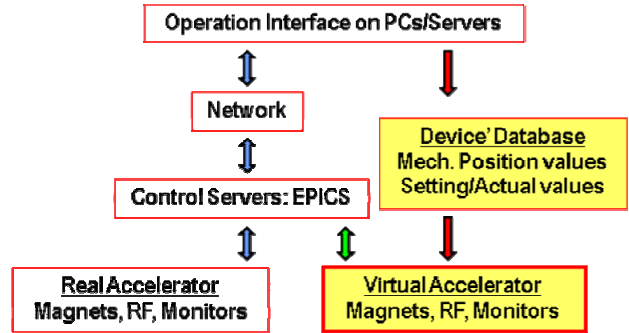


図 3：システム構成上の仮想加速器の配置。

ただし、空間電荷効果が大きい場合、TraceWin が対応しない粒子軌道計算コードを使う必要もあり、リアルタイムで設定値の調整は行わない。また重要なパラメータの調整時には粒子数を増やしたオフライン計算により注意深く推測することが必要になる。そのため MPS、PPS とのリンクは持たせない。

4.1 ソフトウェア構成

TraceWin コードは、ビームエンベロープの計算コードであるが、マクロ粒子の輸送計算を行う Toutatis コード、Partran コードを実行するための GUI としての利用が可能である^[9]。(図 4) また、IFMIF、EVEDA のビーム光学設計はこれらのコー

ドを用いて設計されており、本仮想加速器の構築にもこれらコードを用いることで、より円滑な構築が可能である。また制御系構築ツール EPICS との連携機能を装備しており、EPICS を介し設定値を直接反映させることが出来るため、時間の短縮、そして人的誤操作を最小限にすることが可能である。

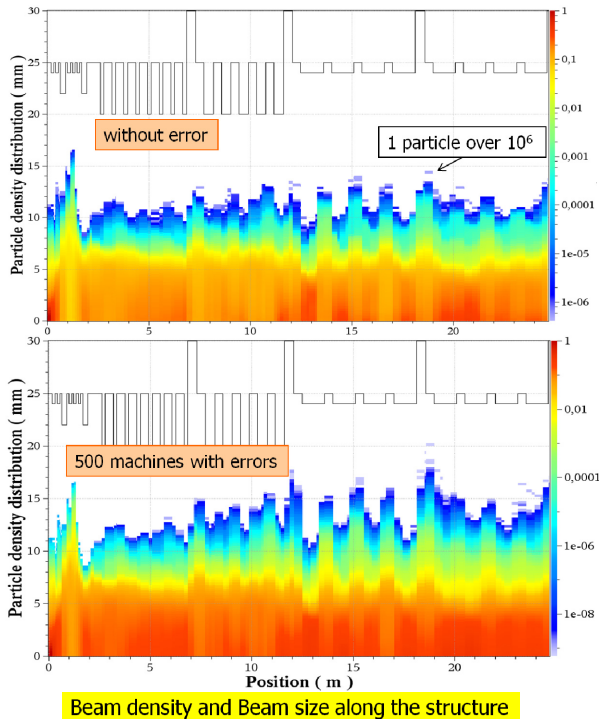


図4：TraceWin コード計算例。MEBT-SRF-Linac 部でのビーム密度分布。

4.2 検討課題

ビーム調整の目的もコミッションングが進行するに伴い、ビーム損失の抑制、またはビーム品質の向上、最適化、評価と、2つに分けられる。さらに設定される計測系の役割もビーム損失の抑制、またはビーム品質の評価と、2つの用途に分けられている。したがって、得られたデータをビーム損失の抑制、またはビーム品質の向上のどちらを優先して反映するかが、スケジュールと併せて考慮する必要がある。

環境の気温、湿度等により、ビームの再現性が得られにくい精妙な設定を行う場合が出てくることも予想されるが、その場合の設定値の検討、例えば、ごく一部の外的パラメータ範囲に大きく依存する非常に幅の狭い安定領域を選び、さらにビーム調整を推し進めていくのか、またはより幅広い安定領域を持つが目標値よりも多少劣る値を選ぶか、なども必要となる。また実質的に、シミュレーションコードの有効性を検証することが、EVEDA 原型加速器の目標の一つであるため、ビーム光学計算コードの改良も同時に推し進めていく必要がある。

5. まとめ

ITER BA 活動の一つとして、EVEDA 原型加速器

の設計、開発が進められている。2012 年以降、六ヶ所にて上流側から順次、機器の設置、調整試験を行い、2015 年には加速器全体の CW 運転を含む実証試験を行う予定である。

実証試験を円滑、効率的に行うために、仮想加速器を効率的に構築するために、TraceWin コードを用い、さらに EPICS の連携機能を活用する。実際の加速器の機器設定パラメータを模擬し、パラメータ設定を直接的に反映できる仮想加速器の構築を目指している。実証試験においては、まず H⁺でパルス低電流値から試験を行う予定である。D⁺での試験に先立ち予定されている、H⁺での試験において仮想加速器の性能検証、設定値への補正情報の知見を得ること、そして D⁺試験では仮想加速器の動作の健全性確認、設定値の妥当性を確認後、不要な放射化を抑制しつつビーム調整制御を円滑かつ効率的に達成することが必要である。このように不要な放射化を抑制できるビーム調整制御を達成させ、円滑、効率的な検証試験を行うことで、IFMIF 建設という次の段階に滞りなく進むことが可能となる。

参考文献

- [1] A. Mosnier, et al., “The Accelerator Prototype of the IFMIF/EVEDA Project”, 1st IPAC 2010, Kyoto, May 20 – 28, 2010.
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC10/papers/mopec056.pdf>
- [2] Ch. Vermare, et al., “Commissioning of the IFMIF/EVEDA Accelerator Prototype – Objectives & Plans”, 1st IPAC 2010, Kyoto, May 20 – 28, 2010.
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/IPAC10/papers/mopd042.pdf>
- [3] IFMIF International Team, “IFMIF Comprehensive Design Report, an activity of the International Energy Agency, Implementing Agreement for a Program of Research and Development on Fusion Materials,” January 2004.
- [4] K. Ehrlich, E. Bloom and T. Kondo, J. Nucl. Materials 283 – 287 (2000) 79-88.
- [5] H. Shidara, et al., “Some error studies for interface management in the HEBT of the IFMIF accelerator”, Fus. Eng. Design, article in press.
- [6] M. Sugimoto, “Virtual Accelerator Control System for Development Stage of Application-oriented Projects”, 2nd WS on PCs and Particle Accelerator Control, Tsukuba, January 12 - 15, 1999.
<http://conference.kek.jp/pcapac99/cdrom/paper/poster/p29.pdf>
- [7] A. Shishlo, et al., “The EPICS based Virtual Accelerator – Concept and Implementation”, PAC 2003, Portland, May 12-16, 2003.
<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/p03/PAPERS/WPPE017.PDF>
- [8] H. Harada, et al., “Construction of the Virtual Accelerator and Beam Study by SAD at J-PARC RCS”, 3rd PASJ, Sendai, August 2 – 4, 2006.
<http://www.hepl.hiroshima-u.ac.jp/member/record/harada/WP65.pdf>
- [9] TraceWin,
<http://irfu.cea.fr/Sacm/logiciels/index3.php>