

核融合工学部会セッション

核融合中性子源用加速器開発 (LIPAc) の現状

Current Status of Accelerator Development for Fusion Neutron Source (LIPAc)

(1) LIPAc の概要

(1) Outline of LIPAc

*長谷川 和男¹, LIPAc ユニット¹⁻⁶¹QST, ²IFMIF/EVEDA Project Team, ³F4E, ⁴CIEMAT, ⁵CEA, ⁶INFN

1. はじめに

「核融合炉による発電実証」を目的とした核融合炉原型炉 (DEMO) の検討が進められている。DEMO の炉心では 14MeV という非常に高いエネルギーの中性子が連続的に発生し、炉を構成する材料に照射損傷等の影響をおよぼす。したがって DEMO の実現には、14MeV の高エネルギー中性子に耐えうる材料の開発が課題の 1 つとなる。この課題克服のため、加速器を用いた核融合中性子源が検討された。その技術実証を目標とし、2007 年より日欧の共同事業である“幅広いアプローチ活動 (BA 活動)”の一環として、IFMIF/EVEDA (IFMIF: International Fusion Materials Irradiation Facility 国際核融合材料照射施設、EVEDA: Engineering Validation and Engineering Design Activities 工学実証・工学設計活動) 事業が開始された[1-3]。

2. IFMIF

図 1 に IFMIF の概念図を示す。図では加速器は 1 本であるが、定常 (デューティ 100%, CW) 加速を行う重陽子加速器 (電流は 125mA) 2 本を有し、それぞれの加速器は、100 keV で重陽子を引き出す入射器、5 MeV まで加速する高周波四重極加速器 (RFQ)、さらに 40 MeV まで加速する超伝導線形加速器 (SRF) から構成される。加速された 40 MeV の重陽子ビームは液体リチウムターゲットに照射されて中性子が発生し、この下流に試験材料を置き照射試験を行うものである。

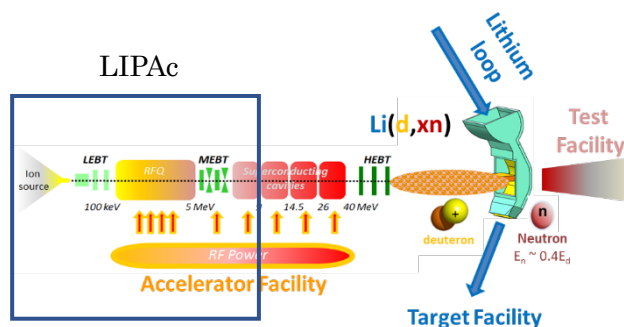


図 1: IFMIF の概念図 (図では加速器が 1 本であるが、IFMIF としては 2 本で設計・検討が進められた)

3. LIPAc の概要と体制

125mA の定常加速は、これまでの加速器技術の達成パラメータからの技術ギャップが大きい。そのため段階的に建設・実証するとして、IFMIF 原型加速器 (Linear IFMIF Prototype Accelerator, 以下 LIPAc) と呼ばれる 9 MeV, 125 mA の技術的実証を目的とした大電流加速器の研究開発を日欧協力で行っている。

図 2 に LIPAc の機器配置と貢献国・機関を示す。LIPAc は、図 1 の IFMIF

用加速器の上流部に相当し、入射器、RFQ、超伝導加速器の初段の 1 台までを実証するものである。2007 年にプロジェクトが始まって以来、具体的な体制、作業分担、R&D 項目などの協議を行ってきた。QST 六ヶ所

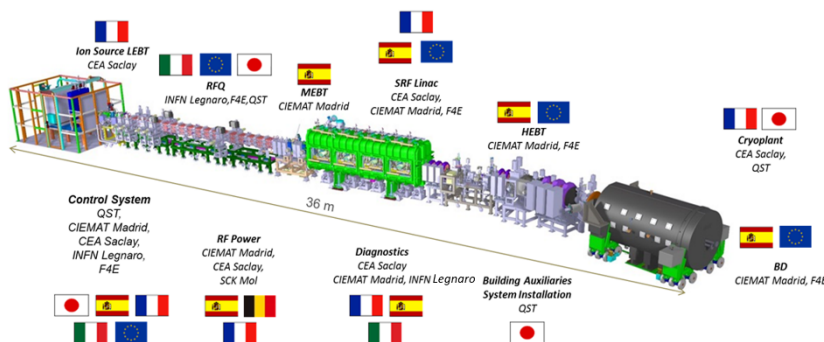


図 2: LIPAc の機器配置と貢献国・機関

研究所でサイト整備を行い、実際の機器製作、製作拠点からの輸送、据付・調整試験(コミッショニング)を日欧共同で行ってきた。加速器の主な機器は欧州が担当し、日本は、中央制御系、RFQ の高周波入力カプラ、建屋などのインフラ設備の整備を行った。事業の実施にあたっては、IFMIF/EVEDA 事業チーム、および日欧のホームチームからなる統合的な実施体制が取られている。

4. LIPAc の状況

コミッショニングは段階的に行っており[4]、RFQ の下流に低電力ビームダンプを設置した体系で、2019 年 7 月に RFQ の 5MeV、125mA、0.1%デューティの短パルス重陽子ビーム加速試験に成功した。その後、低電力ビームダンプを撤去し、RFQ の下流にビーム輸送系、大電力ビームダンプの設置と接続などを行った。

2020 年 2 月中旬以降、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、欧州研究機関から試験調整のために来所予定だった専門家等が来日できなくなるとともに、六ヶ所に滞在して統合試験を担当していた専門家が早期帰国することになった。この条件でもコミッショニングを進めるため、統合試験はリモート接続により実施した。LIPAc のコンディショニング(高電圧や大電力による調整)やビーム試験には欧州専門家の参加が不可欠であり、このために欧州への実時間データ転送システムを構築し、遠隔実験参加を可能とした(図3)。LIPAc の制御用ネットワークをインターネットに接続することはセキュリティ上の懸念があるため、複数のデータ中継用サーバを経由し、一方向のみのアクセスを許可することで、セキュアでかつ大容量・高速なデータ転送を実現した。これによって、欧州からも六ヶ所研内と同等にデータアクセスが可能となった。

ビーム試験再開に際し、各機器の設置、調整、動作試験などの機器レベルの調整・試験、単体や全体制御の試験、インターロック系の統合試験に加え、手順書の作成や教育といったソフト的なところも含めて準備を行った。

こうした準備、コミッショニング、コンディショニングを進め、長パルスビーム試験を 2021 年 7 月から開始した。ビームデューティが低い条件で全体システム確認やビーム診断機器の調整が終了した段階にあり、次にデューティを上げた試験に入る予定である。

本企画セッションでは、これまでのビーム試験の経過や今後の計画、および LIPAc 各機器の仕様や状況について報告する。

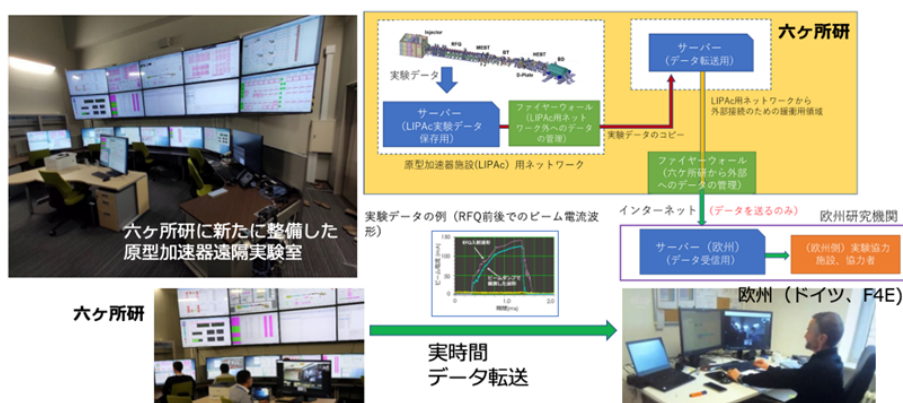


図3:欧州への LIPAc データの転送によるデータ共有の概念

- [1] H. Dzitko et al., Fusion Eng. Des. 168 (2021) 112621.
- [2] P. Cara et al, “IFMIF/EVEDA Project: Achievements and Outlooks beyond 2020”, presented at FEC 2021.
- [3] 坂本慶司他, 「IFMIF 原型加速器の現状」, 100-108 「加速器」 Vol 16, No.2 (2019)
- [4] 増田開他, 「核融合中性子源用加速器開発 (LIPAc) の現状 (2) ビーム試験計画」、本大会予稿集。

*Kazuo Hasegawa¹, on behalf of LIPAc Unit¹⁻⁶

¹QST, ²IFMIF/EVEDA Project Team, ³F4E, ⁴CIEMAT, ⁵CEA, ⁶INFN