

## IFMIF/EVEDA 原型加速器(LIPAc)の RFQ ビームコミッショニング RFQ BEAM COMMISSIONING OF LINEAR IFMIF PROTOTYPE ACCELERATOR (LIPAC)

近藤恵太郎<sup>#, A)</sup>, 赤木智哉<sup>A)</sup>, 一宮亮<sup>A)</sup>, 蛭沢貴<sup>A)</sup>, 春日井敦<sup>A)</sup>, 坂本慶司<sup>A)</sup>, 新屋貴浩<sup>A)</sup>, 杉本昌義<sup>A)</sup>,  
平田洋介<sup>A)</sup>, 前原直<sup>A)</sup>, ファゴッティ エンリコ<sup>B)</sup>, プルネリ ジュゼッペ<sup>B)</sup>, スカンタンビュエロ フランチェスコ<sup>B)</sup>,  
ヒメネス ダビド<sup>C)</sup>, マルチェナ アルバロ<sup>C)</sup>, ポダデラ イワン<sup>C)</sup>, ウェーバー モイセス<sup>C)</sup>, ボルゾン ベノワ<sup>D)</sup>,  
カラ フィリップ<sup>E)</sup>, ナスター ホアン<sup>E)</sup>, ジッコ エルベ<sup>F)</sup>, ジェックス ドミニク<sup>F)</sup>, ハイディンガー ローランド<sup>F)</sup>,  
ヨキネン アンティ<sup>F)</sup>, マルケタ アルバロ<sup>F)</sup>, モヤ イワン<sup>F)</sup>, フィリップス ガイ<sup>F)</sup>  
Keitaro Kondo<sup>#, A)</sup>, Tomoya Akagi<sup>A)</sup>, Ryo Ichimiya<sup>A)</sup>, Takashi Ebisawa<sup>A)</sup>, Atsushi Kasugai<sup>A)</sup>, Keishi Sakamoto<sup>A)</sup>,  
Takahiro Shinya<sup>A)</sup>, Masayoshi Sugimoto<sup>A)</sup>, Yosuke Hirata<sup>A)</sup>, Sunao Maebara<sup>A)</sup>, Enrico Fagotti<sup>B)</sup>, Giuseppe Pruneli<sup>B)</sup>,  
Francesco Scantamburlo<sup>B)</sup>, David Jimenez<sup>C)</sup>, Alvaro Marchena<sup>C)</sup>, Ivan Podadera<sup>C)</sup>, Moises Weber<sup>C)</sup>, Benoit Bolzon<sup>D)</sup>,  
Philippe Cara<sup>E)</sup>, Juan Knaster<sup>E)</sup>, Hervé Dzitko<sup>F)</sup>, Dominique Gex<sup>F)</sup>, Roland Heidinger<sup>F)</sup>, Antti Jokinen<sup>F)</sup>,  
Alvaro Marqueta<sup>F)</sup>, Ivan Moya<sup>F)</sup>, Guy Phillips<sup>F)</sup>

<sup>A)</sup> National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)

<sup>B)</sup> Italian Institute of Nuclear Physics (INFN) - Legnaro National Laboratories (LNL)

<sup>C)</sup> CIEMAT

<sup>D)</sup> CEA Saclay

<sup>E)</sup> IFMIF/EVEDA Project Team

<sup>F)</sup> Fusion for Energy (F4E)

### Abstract

Engineering validation and engineering design activities (EVEDA) of the International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF), an accelerator-based intense neutron source, is one of international collaborative projects in the field of nuclear fusion energy development by Japan and Europe, and the installation and the commissioning of the prototype accelerator (LIPAc, Linear IFMIF Prototype Accelerator) is in progress at the Rokkasho Fusion Institute of QST. LIPAc is composed of ion source - RFQ - MEBT - SRF - beam diagnostic - HEBT - BD and is a high current linear accelerator aiming for deuteron acceleration of 9 MeV, 125 mA, CW. The installation and the check-out of the RFQ, MEBT, beam diagnostic, and RF power system was completed by July 2017, and the RF conditioning of the RFQ cavity started. While having faced with various difficulties, we advanced the conditioning of RFQ and reached the inter-vane voltage required for deuteron acceleration in December 2017 with a short pulse, and from January 2018 the target of the conditioning switched to long pulse operation for proton acceleration. Finally, the first proton beam acceleration at 2.5 MeV was succeeded on 13<sup>th</sup> June 2018.

### 1. はじめに

IFMIF(International Fusion Materials Irradiation Facility, 国際核融合材料照射施設)は重陽子-リチウム(d-Li)核反応を用いた加速器駆動型の強力中性子源であり、20年以上前から国際協力で研究開発が進められてきた。現在は、2007年から開始された、ITERの後方支援のための日欧共同事業である幅広いアプローチ(BA)活動の枠組みの基で、IFMIFの工学実証・工学設計活動(Engineering Validation and Engineering Design Activities, EVEDA)が進められている。IFMIF/EVEDAでは、IFMIFの工学設計・主要機器の設計・製作・試験を行い、IFMIFの建設判断に必要な技術実証を行うことがミッションである[1]。このための最大の課題が大電流重陽子加速器の原理実証であり、IFMIF加速器のプロト

タイプである原型加速器の設計・製作が欧州主導で行われ、六ヶ所核融合研究所においてQSTが主体となって据付・調整・コミッショニングが実施されている。

このIFMIF原型加速器は、LIPAc(Linear IFMIF Prototype Accelerator)と呼ばれ、重水素イオン源(入射器)-RFQ-MEBT-超伝導(SRF)加速器-ビーム診断系(D-Plate)-HEBT-ビームダンプ(BD)から構成された全長約36mの大電流重陽子線形加速器である(Fig. 1)。

IFMIFでは2本のビームラインを用い、各ラインで4段のSRFモジュールを用いて40MeV-合計250mAの重陽子ビームをCW運転する設計であるのに対し、LIPAcは1本のビームライン、初段のSRFモジュールのみで9MeV-125mAの重陽子ビームをCW運転する計画となっている。IFMIF加速器の成否の鍵を握るのは、空間電荷によるビーム発散力が大きい低エネルギー部の大電流加速実証である。そのため、RFQまでの5

<sup>#</sup> kondo.keitaro@qst.go.jp

MeV 以下の低エネルギーセクションについては、IFMIF 加速器と LIPAc は同じ構成となっている。100 keV の重水素ビームによる入射器の性能確認試験(フェーズ A 試験)はすでに完了した[2]。2017 年 7 月までに RFQ、MEBT、D-Plate や高周波源機器、冷却設備等の据付調整が完了し、陽子 2.5 MeV / 重陽子 5 MeV までの短パルスビーム加速試験(フェーズ B 試験)に向けて、RFQ の RF コンディショニングを開始した。コンディショニングでは様々な困難に直面したものの、陽子ビーム加速に必要な条件を達成し、2018 年 6 月に初のビーム加速に成功した。本稿では、これまでのフェーズ B ビーム試験に向けての調整試験の進展と、ビーム試験の初期結果について述べる。

## 2. LIPAc の機器製作と据付調整

BA 活動は、全体では欧州と同じ負担割合での国際協力を行っており、調達取り決めにタスクごとに日欧で締結して管理している。LIPAc についても同様であり、13 に分けたサブシステムごとに調達取り決めに日欧で締結し、その取り決めに応じて設計・製作・試験を進めている。加速器を構成する各機器の製作・調達は、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)サクレー研究所、イタリア国立核物理学研究所(INFN)レニャーロ研究所、スペインエネルギー環境技術センター(CIEMAT)の 3 機関が主に担当し、Fusion for Energy (F4E)という欧州の実施機関が欧州側の各研究所を取りまとめている。

RFQ はイタリア国立核物理学研究所(INFN)レニャーロ研究所が製作を担当し、2016 年 2 月に六ヶ所核融合研究所に 3 分割の状態でも搬入された。精密なアライメント作業を行って一体化した後、ビーズ振動法による電界分布、共鳴周波数測定とチューニングが六ヶ所サイトで行われた。ダミーチューナーが最終チューナーに順次置き換えられ、2016 年 9 月 8 日に設計通りの分布が得られたことを確認してチューニングは完了した。その後、空洞を本設位置に移動し、真空系、冷却系、制御系の準備が順次行われた。高周波源(RF)システムの単体試験が完了した後、2017 年 7 月に同軸導波管を接続し、空洞の RF コンディショニングの準備が整った。

RFQ へ大電力高周波を供給する RF システムは、1 系統当たり 200kW、175MHz、CW の RF を出力する 4 極管式の増幅器が 8 機用いられる。電源設備、冷却設備を含むシステムはスペイン CIEMAT の調達責任の元、高周波増幅器モジュール(RF モジュール)はスペイン INDRA 社、終段四極管のアノード用高圧電源(HVPS)

及び付帯する電源設備はスペイン JEMA 社が製造を担当し、2014 年夏から述べ 10 回の海上輸送で六ヶ所サイトに順次輸送され、2016 年 9 月までに全ての据付を完了した。その後、制御系の動作確認から動作試験を開始し、2017 年 4 月からダミーロードを用いた大電力試験に移行した。この試験では、RF モジュール 1 系統ずつ定格の 200 kW、CW での発振試験、パワー校正(計測系の動作確認、キャリブレーション)、サーキュレーターの調整等を実施し、8 系統全ての試験が 7 月 3 日に終了した。

中エネルギービーム輸送系(MEBT)、ビーム診断系(D-Plate)はスペインエネルギー環境技術センター(CIEMAT)が製作を担当し、装置ごとの単体試験、精密なアライメント調整を経てビームラインに接続された。フェーズ B 試験では、機器の放射化を抑えるため、試験は duty 0.1% のパルス状ビームのみで行う。ビームは低出力ビームダンプ(LPBD)と呼ばれる、アルミ合金製のターゲットで全量を受ける。これらのフェーズ B ビーム試験に必要な機器の据付調整は 2017 年 9 月までに全て完了した。[3,4]

## 3. RFQ ビームコミッショニングに向けた準備

### 3.1 RFQ の RF コンディショニング

2017 年 7 月 13 日に RFQ 空洞への RF 初入射を行い、その後、8 系統の RF 源による同期入射に 7 月 31 日に初めて成功した。LIPAc の RF システムでは、フルデジタル方式の LLRF が使われており、2 系統以上の同期入射では、White Rabbit と呼ばれるサブナノ秒精度でのマスタースレーブ同期を実現するタイミング分配ネットワーク技術を用いて、同期入射を実現している。

LIPAc の RFQ は 9.8 m と極めて長尺で、かつ CW 運転までのコンディショニングが必要なことから、長期間を要すると予想されていた。空洞を製作した INFN では、RFQ を構成する 18 モジュールのうち、高エネルギー側の 3 モジュールを結合した 1/6 空洞に対して大電力試験(コンディショニング)を 2015 年に実施しており、この時は既定ベーン間電圧、CW までのコンディショニングに約 1.5 ヶ月を要した。この経験を元に、必要なコンディショニング期間を 14 週間(24 時間/日、7 日/週)と見積もった。コンディショニング期間を短縮するためには昼夜連続の RF 入射が必要との判断から、10 月から運転委託員の 3 交代勤務による直体制を組み、本格的にコンディショニングを開始した。

コンディショニングは、まず短パルス(<50  $\mu$ s)、低い繰り返し(1-5 Hz)で重陽子加速に必要なベーン間電圧

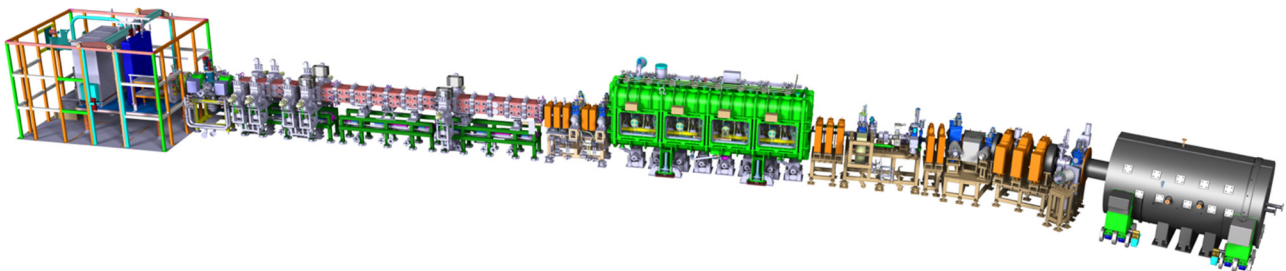


Figure 1: Configuration of LIPAc.

(132kV、空洞内蓄積パワー約 560 kW に相当)を達成することを目標とし、少しずつピークパワーを上げていく方針が進められた。しかし、コンディショニングを進めていくにしたがって、RF システムの様々な問題点が明らかとなった。特に問題となったのは、LLRF の反射インターロックによって、RF が頻繁に停止する事象である。RF 反射は空洞内および伝送系でのマルチパクタリング放電によって引き起こされ、これはコンディショニングを進める上で不可避であるが、LIPAc の RFQ は 8 系統の高周波系が結合していることから、様々な特有の事象が発生し、対応が必要となった。

- 特にコンディショニング初期は不均等な反射によるインターロックに悩まされた。例えば、どこか 1 つの伝送系(導波管、RF カプラー)でマルチパクタリングが起ると、他の 7 系統からの RF が合成されてこの系統に反射することになり、場合によっては LLRF の反射インターロックで RF が停止する。インターロック閾値を上げれば回避できるが、1 系統での運用に比べて高い値を設定することになるため、注意深い運用が必要である。

- 前項とも関係するが、当初は、なるべく各系統の進行波パワーを均一化するよう、フィードバックを調整していたが、システムを安定させるためには、むしろ各系統からの反射パワーを均一化すると良いことが経験的に分かってきた。これは、進行波と反射波の割合が系統によって異なることを意味するが、この原因はカプラーの微妙な個体差によると推測されている。

- パルス状に RF を入射すると、RF がオフになった瞬間、空洞内に蓄積されたパワーが解放され、入射ピークパワーの 2 倍のピークパワーの反射波が各系統に戻る。通常、この立下り部分はインターロックにかからないようにマスクするべきだが、LIPAc の LLRF には、マスク機能が実装されておらず、この反射波によるインターロックを回避するため、インターロック閾値を上げざるを得なかった。しかし、このことは閾値を 1 系統運用時の 2 倍以上に引き上げることを意味し、大きなリスクを伴う。

- LIPAc の RF システムは元々 CW 運用のみを想定して設計され、パルス条件での運用に柔軟性がないことが判明した。特に、終段四極管の陽極電源の安定動作条件は狭く、高繰り返し(>10Hz)条件では、電圧制御のフィードバックが誤動作して電圧が突然変動することがあ

り、危険である。

- 一旦 LLRF のインターロックで停止したときに再起動する機能が備わっていない。このため、制御システムのプラットフォームである EPICS 上で簡便なスクリプトを組み、自動的に RF 入射を再開するようにしてコンディショニングの自動化を図った。しかし、ソフトウェアとネットワークを介した操作であり、動作速度には限界があり、また RF 入射時には入射が安定した後にフィードバックループを閉じるステップが必要で、どうしても時間がかかる。現在は、インターロックからの再立ち上げに 1 分程度要している。

これらの課題に対処するため、LLRF を含む RF システムに少しずつ改良を施しながらコンディショニングを進めた。Figure 2 に、ある日の RF コンディショニング時の履歴を一例として示す。青はマスターである 1A 系統の進行波パワー、赤が RFQ 空洞内の真空度、紫が RFQ 空洞内蓄積パワーを示している。少しずつパワーを上昇させているが、頻繁に放電で停止し、そのたびに再立ち上げしている様子が見える。

特にパルスの繰り返しの制約を伴ったため、コンディショニングは必ずしも効率的には進まなかったが、忍耐強く少しずつピークパワーを上昇させた結果、12月18日に目標としていた、ベーン間電圧 132 kV に到達した。年末年始の中断を挟み、2018 年 1 月初旬はさらにマージンを加えた 145 kV(空洞内蓄積パワー約 670 kW)までのコンディショニングを行った。Figure 3 に、2018 年 2 月初旬までのコンディショニング履歴を示す。横軸は時間を、赤点は空洞内蓄積パワーのピーク値を、青点は入射パルスの幅を示している。これを見ると、1 月中旬までの短パルスでのコンディショニングでは、順調にピークパワーが高まっている様子が見える。

2018 年 1 月中旬以降は、陽子ビーム加速試験の開始を目指し、コンディショニングの方針を長パルス化に切り替えた。陽子ビーム加速にはベーン間電圧 66 kV(空洞内蓄積パワー約 140 kW)が必要だが、当初は、RF は CW 入射とすることを目指していた。このため、まずパルスの繰り返しを高くすることを試みたが、この運転を始めた直後に終段四極管を損傷する事象が発生した。前述したように、陽極電圧が突然変化していることが確認されたため、電源定格の 10 Hz を超える運転は行わず、パル

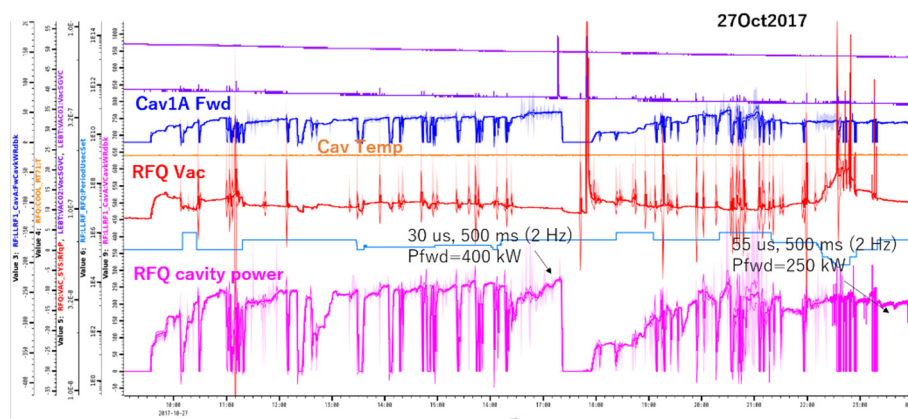


Figure 2: Example of the RFQ RF conditioning history on day.



ス長を少しずつ延ばす方針に切り替えた。しかし、パルス長が  $100\ \mu\text{s}$  を超えると、やはり当該の陽極電源が不安定となり、電源のインターロックで頻繁に RF が停止するようになった。電源を安定化する方法を探った結果、CW で少しずつパワーを上げてコンディショニングし、ある程度のパワー(50 kW 程度)に到達したら、ピークパワーの大きいパルスを重畳する方針にたどり着いた。後述するように、フェーズ B の陽子ビーム試験では、チョッパーを用いて  $300\ \mu\text{s}$  長のパルスを RFQ に入射することとし、このために  $500\ \mu\text{s}$  以上の RF パルス入射を目標とし、コンディショニングを進めた結果、2 月上旬にベーン間電圧 69 kV、パルス幅 1 ms、繰り返し 1 s での RF 入射が可能となった。

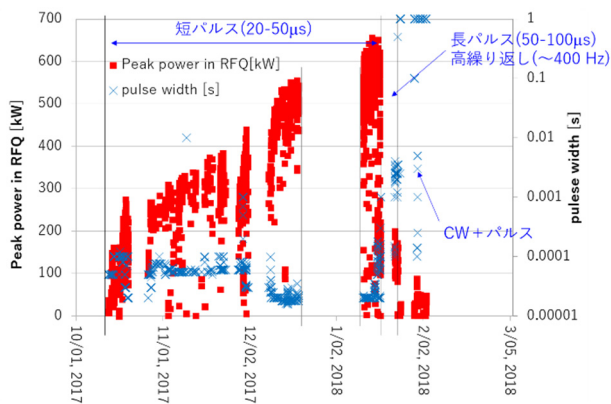


Figure 3: RF conditioning history from Oct 2017 to Feb 2018.

しかし、この後、様々なトラブルが発生し、およそ2ヶ月半の間、コンディショニングの中断を余儀なくされた。具体的には四極管の破損と、サーキュレーターに取り付けられたダミーロード(8 式中 4 式)の破損が判明した。さらに、高周波カプラーの 1 つのアルミナ製真空窓が割れ、空洞が大気圧となる重大トラブルが 4 月中旬に発生した。緊急作業を実施し、当該カプラーを空洞から取り外して真空封止した。後日、カプラーの真空窓を交換して、再度空洞に組付けた。約 6 時間の大気曝露があったため、コンディションの悪化が懸念されたが、幸いなことに修理後の真空度、残留ガス成分とも大きな変化は見られず、RF パワーも比較的スムーズにリカバリーすることができた。5 月下旬には目標とするベーン間電圧 66 kV、パルス幅  $500\ \mu\text{s}$  に到達し、さらにマージンを加えた 75 kV までのコンディショニングを行って、陽子ビーム加速試験の準備を整えた。[5]

### 3.2 入射器の再アライメントとビーム評価

入射器は 2016 年冬までに一連の試験を完了していたが[6]、一部、実験結果と引き出し系のシミュレーション結果に不一致が見られたため、電極の詳細な 3 次元計測を実施。さらに、加速カラムを分解し、3 次元計測器で計測しながら組み付けることで、精密なアライメント作業を実施した。一連の調査の結果、引き出し系の組み立ての際に、一部で設計者の意図しない寸法のずれが生じており、これが実験とシミュレーションの不一致の原因であったことが判明した。設計通りに組み立てた入射器で

の単体ビーム試験を実施した結果、これまで得られていたエミッタンスより大幅に小さい、極めて条件の良いビームが得られることが分かった。また、実験結果とシミュレーションの一致も改善した。

RFQ 試験用の陽子ビームでは、加速エネルギー 50keV、ビーム電流 54 mA (Duty 5%, 5ms ビーム幅)で、規格化 rms エミッタンス  $0.16\pi\text{.mm.mrad}$  が得られ、75mA の最大引き出し電流でも  $0.23\pi\text{.mm.mrad}$  が得られた。さらに、RFQ 入射試験を開始する際のプローブビームとして、可能な限り低い電流のビームを実現するための検討を行った。引き出し穴径の小さいプラズマ電極を新規に製作して試験を行った結果、引き出し電流 13 mA、25 mA、30 mA のそれぞれの条件で規格化 rms エミッタンスが  $0.10\pi\text{.mm.mrad}$  以下の極めて良好なビーム条件を見出した。

### 3.3 MEBT バンチャーのコンディショニング

MEBT の 2 式のバンチャー空洞について、2018 年 1 月に RF コンディショニングを実施した。目標電界である 350kV 連続動作に到達し、動作時間として合計で約 10 時間コンディショニングを実施して完了した[7]。

### 3.4 制御系の統合試験

ビーム加速に必要な機器保護システム(MPS)、人的保護システム(PPS)については、2018 年 2 月までに単体機能試験が完了した。ゲードバルブ管理システム(GVMS)、タイミングシステム(TS)を含め、各サブシステムを統合した動作試験を進めた。MPSについては一部、インターフェースに問題が判明したものの、改修後、MPS を発報させて入射器が停止することを確認する実動作試験を実施し、ビーム試験を始める準備が整った。

## 4. RFQ ビームコミッショニングの初期結果

前述の通り、RF コンディショニングが進展したことから、6 月 11 日から陽子ビーム加速試験のための調整を開始した。ビーム試験は LIPAc ユニットと呼ばれる、日欧共同のチームによって実施している。QST 職員、六ヶ所サイトに常駐している欧州研究機関(INFN, CIEMAT, F4E)の専門家に加えて、短期で INFN, CIEMAT, CEA, F4E から専門家が派遣され、チームに加わった。

まず、定められた手順書に従って、全てのサブシステムおよび制御系が予期された通り動作することを確認するリハーサルを実施した。小さなトラブルはあったものの、試験は順調に進展し、6 月 13 日午後、RFQ へのビーム入射を行う準備が整った。

Figure 4 に、フェーズ B ビーム試験時のビーム電流計測点を示す。図に示す 3 か所の ACCT の信号をオシロスコープで観測した。また、LPBD のコーンは絶縁されて電流を観測できるようになっており、負荷抵抗を介して同様にオシロスコープで観測した。入射器では引き出し電流 13 mA、幅 2ms のビームを生成し、LEBT のチョッパーで  $300\ \mu\text{s}$  長のパルスとした。

6 月 13 日の 15 時頃に初めて RFQ にビームを入射したが、LEBT の ACCT のみでしか信号が測定されず、

RFQ の透過は確認できなかった。その後、試行錯誤の末、LEBT のソレノイドとステアラーの調整を行った結果、17 時前に初めてビームが RFQ を透過し、LPBD まで到達したことが確認された。この時の電流値は LEBT-ACCT 5.3 mA、MEBT-ACCT 1.7 mA、LPBD 1.2 mA であり、RFQ 透過率は 30%であった。翌日、翌々日と同様に LEBT の最適化を行った結果、透過率が向上し、85%の透過が確認された[8,9]。このようになかなかビーム透過率が良くならなかった理由は、LEBT のステアラーを常識では考えられないぐらい強く効かせなければならなかったためである。現在のところ、LEBT までの機器の何らかのミスアライメントが疑われるが、今後、詳細な調査が必要である。

その後、ビーム試験は継続しており、現在までのところ、引き出し電流 13 mA、20 mA、30 mA のビームで透過率 90%以上が得られることを確認した。引き出し電流 30 mA の場合では、LEBT-ACCT 21.9 mA に対して MEBT-ACCT 20.7 mA となっており、透過率は 95%と、非常に良好であり、さらなる大電流化に対しても有望な結果である。なお、この時の H<sup>+</sup>比はおよそ 70%と見積もられており、LEBT-ACCT の値は妥当である。Figure 5 に、電流の観測結果の一例として、引き出し電流 30 mA の時の、3 つの ACCT と LPBD の電流をオシロスコープで測定した波形を示す。

これまでにベーン間電圧を変化させた際の RFQ 透過率の変化を測定し、シミュレーションとの比較を行っている。BPM (Beam Position Monitor) を用いたビームの飛行時間測定からは、RFQ 加速後のビームエネルギーはおよそ 2.5 MeV であることが確認された。また、FPM (Fluorescence Profile Monitor) による 2 次元ビームプロファイルの測定に成功した。

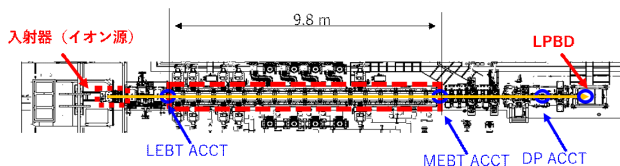


Figure 4: Current measuring points of the LIPAc Phase-B configuration.

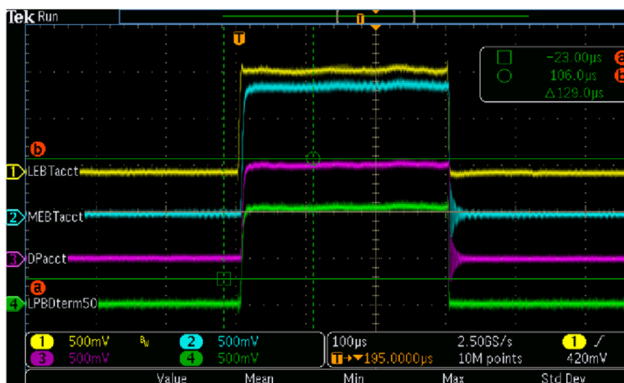


Figure 5: Beam pulse signal measured by ACCTs and LPBD when  $I_{ext}=30$  mA.

## 5. 今後の計画

8 月 10 日までの予定で実施されている現在の陽子ビームコミッショニングキャンペーンでは、SEM Grid を含むすべての計測系の動作確認、引き出し 40 mA までの加速試験と透過率の最適化が予定されている。その後、機器メンテナンス、一部装置の手直し、加速器室内の作業等が予定されているが、冬頃から陽子ビーム試験を再開し、定格である 65 mA の加速の実証を目指す。その後、今年度中に重水素ビーム試験に移りたいと考えているが、並行して重水素ビームレベルまでの RF コンディショニングをさらに進める必要がある。このためには、これまでの RF コンディショニングで判明した、RF システムの様々な問題点を改良しながら進める必要がある。

## 参考文献

- [1] J. Knaster *et al.*, “Overview of the IFMIF/EVEDA Project”, Nucl. Fusion 57 (2017) 102016 (25pp).
- [2] Y. Okumura *et al.*, “Operation and commissioning of IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) LIPAc injector”, Rev. Sci. Instrum. 87, 02A739 (2016).
- [3] A. Kasugai *et al.*, “国際共同プロジェクト IFMIF 原型加速器 (LIPAc) の開発”, Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Aug 1-3, 2017, pp. 85-89.
- [4] K. Kondo *et al.*, “Linear IFMIF Prototype Accelerator (LIPAc): Installation activities for Phase-B beam commissioning in Rokkasho”, Nuclear Materials and Energy, 15 (2018) pp. 195-202.
- [5] E. Fagotti *et al.*, “Beam Commissioning of the IFMIF EVEDA Very High Power RFQ”, Proceedings of the 9th International Particle Accelerator Conference (IPAC2018), Vancouver, BC, Canada, April 29 - May 4, 2018, pp. 2902-2907.
- [6] B. Bolzon *et al.*, “Beam diagnostics of an ECR ion source on LIPAc injector for prototype IFMIF beam accelerator”, Fusion Engineering and Design, in press, 2018; <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.04.128>
- [7] I. Podadera *et al.*, “Commissioning of the Lipac Medium Energy Beam Transport Line”, Proceedings of the 9th International Particle Accelerator Conference (IPAC2018), Vancouver, BC, Canada, April 29 - May 4, 2018, pp. 683-686.
- [8] A. Kasugai *et al.*, “Commissioning Status of Linear IFMIF Prototype Accelerator (LIPAc)”, Proceedings of HB2018, Daejeon, Korea, 17-22 June, 2018.
- [9] M. Comunian *et al.*, “Beam Dynamics Simulation and Measurements for the IFMIF/EVEDA Project”, Proceedings of HB2018, Daejeon, Korea, 17-22 June, 2018.