

## IFMIF/EVEDA原型加速器におけるRFQビーム加速試験 RFQ beam commissioning on the IFMIF Prototype Accelerator

新屋貴浩<sup>1</sup>, 赤木智哉<sup>1</sup>, 蛭沢貴<sup>1</sup>, 春日井敦<sup>1</sup>, 近藤恵太郎<sup>1</sup>, 坂本慶司<sup>1</sup>, 下崎義人<sup>1</sup>, 杉本昌義<sup>1</sup>,  
平田洋介<sup>1</sup>, 前原直<sup>1</sup>, Enrico Fagotti<sup>2</sup>, Francesco Grespan<sup>2</sup>, Francesco Scantamburlo<sup>2</sup>,  
Moises Weber<sup>3</sup>, Antti Jokinen<sup>4</sup>, Alvaro Marqueta<sup>4</sup>, Ivan Moya<sup>4</sup>, Philippe Cara<sup>5</sup>  
SHINYA Takahiro<sup>1</sup>, AKAGI Tomoya<sup>1</sup>, EBISAWA Takashi<sup>1</sup>, KASUGAI Atsushi<sup>1</sup>,  
KONDO Keitaro<sup>1</sup>, SAKAMOTO Keishi<sup>1</sup>, SHIMOSAKI Yoshito<sup>1</sup>, SUGIMOTO Masayoshi<sup>1</sup>,  
HIRATA Yosuke<sup>1</sup>, MAEBARA Sunao<sup>1</sup>, et al.

<sup>1</sup>量研六ヶ所、<sup>2</sup>INFN、<sup>3</sup>CIEMAT、<sup>4</sup>F4E、<sup>5</sup>PT  
<sup>1</sup>QST Rokkasho、<sup>2</sup>INFN、<sup>3</sup>CIEMAT、<sup>4</sup>F4E、<sup>5</sup>PT

国際核融合材料照射施設(IFMIF)を構成する加速器の設計を基に、そのプロトタイプであるIFMIF原型加速器(LIPAc)の据え付け及び実証試験が六ヶ所核融合研究所で進められている。重陽子ビームをCWで40MeV/125mA×2系統まで加速するIFMIFに対して、LIPAcではCWで重陽子ビームを9MeV/125mA×1系統まで加速する。これにより、空間電荷効果によるビームの広がりが増大するためビームシミュレーションで完全に予測することが難しいとされるIFMIF加速器の低エネルギー部(9MeVまで)を試験することができる。これまでにLIPAcでは、Phase-Aとして開始された100keVの重陽子ビームを引き出す入射器の試験が完了し、ついに、Phase-Bとしてその下流に設置された高周波四重極線形加速器(RFQ)の試験が開始された(図1)。Phase-BではRFQの他に、ビーム輸送系のMEBT、ビーム診断系のD-Plate、ビームダンプのLPBDも試験対象である。

LIPAcのRFQは、175MHzを共振周波数とする、TE210モードの共振空洞を利用した加速器である。最大1.2MWの高周波(RF、175MHz)をRFQ空洞に入射することで、大電流130mAの重陽子ビームを100keVから5MeVまでCWで加速する。ビーム透過率の要求値は、出口電流/入口電流 = 130mA/140mA = 93%である。それを可能にするため、全長9.8mを有し、世界最多の8つのRF入射ポートから合計1.2MWのRFを同時同位相入射するというチャレンジングな設計を採用した。これにより、RFシステムは最大200kW×8系統が同期システム(White Rabbit)とフィードバックシステム(LLRF)を用いてRFを同時同位相入射する設計となっている。Phase-Bでは、RFQを慎重に試験するため、重陽子ビーム試験の予備試験として陽子ビーム試験を実施する。

陽子ビーム試験の有利な点は、機器の放射化が無視できる程度であること、ビーム加速に必要なRFパワーが重陽子ビームの四分の一であることなどが挙げられる。

まず、陽子ビーム加速に必要な160kW以上のハイパワーをRFQ空洞内に供給するため、RFコンディショニングを実施した。少しずつRFパワー及びパルス幅を上げていき、1Hzの繰り返し周期、500μsのパルス幅で約200kWのRFパワーをRFQ空洞内に供給することに成功した。White RabbitとLLRFによって、8系統RFシステムによる同時同位相入射が可能であることも確認した。

RFQ空洞の準備が整い、陽子ビーム試験を実施した。RFのパルス幅は500μs、陽子ビームはRF入射から100μs遅延して300μsのパルス幅でRFQに入射した。ビームの質を示す規格化エミッタンスが要求値の0.25 π-mm-mradを十分に満した引き出しビーム電流13mA、30mA、35mAの三つのケースにおいては、90-95%のビーム透過率が得られた。ビーム加速で消費されるRFパワー分を自動補充するLLRFのプログラムも正常に動作することを確認した。今後は、ビーム物理的に重陽子ビーム125mAと同等である陽子ビーム62.5mAの加速試験を完了後、重陽子ビーム試験に移行し、最終的にデューティー比0.1%を上限目標として、125mAの加速試験を目指す。

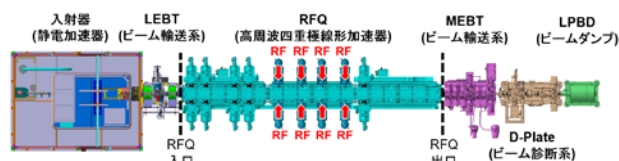


図1 Phase-BにおけるLIPAcの構成