2022年秋の大会

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)

（5）超伝導リニアックおよび冷凍機システム

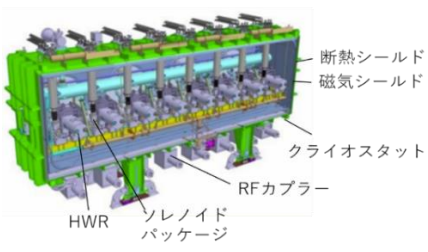
(5) Superconducting Linac and Cryogenic System

*蛯沢貴 [1], LIPAc ユニット [1-6]

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

LIPAc は、100 keV の入射器(Injector)、重陽子ビームを 5 MeV まで加速する高周波四重極加速器(RFQ)、中エネルギービーム輸送系(MEBT)、9 MeV まで加速する超伝導高周波線形加速器(SRF Linac)、ビーム診断器系(D-Plate)、高エネルギービーム輸送系(HEBT)と、125 mA (CW) / 9 MeV の重陽子ビームを受けるビームダンプ(Beam Dump)で構成される[1]。図１に示すように、LIPAc の SRF クライオモジュールは、ビームを加速するために 8 式のニオブ製の半波長共振器 (HWR: Half-Wave Resonator, 共振周波数: 175 Hz, 定格加速電場: 4.5 MV/m) 型空洞(図２)、８式の高周波(RF)カプラー、ビームを収束するため 8 式の超伝導ソレノイドコイルパッケージ(中心磁場: 6 T)が HWR と交互に周期的に配置され、ビーム加速･収束を繰り返す構造としている[2]。クライオスタットは、輻射熱を抑制する断熱シールド、地磁気を遮蔽する磁気シールドで構成される。HWR とソレノイドコイルパッケージは、多段クロードサイクル方式を用いたヘリウム(He)冷凍機システムによって生成される液体 He で、4.5 K まで冷却される。LIPAc の冷凍機システムとクライオモジュールはクローズドループを構成し、高圧ガス保安法冷凍則の規制を受け、特にニオブから構成される空洞は例示基準が適用できないため事前認可が必要である。超伝導加速空洞は、微粒子の混入により電界放出現象を誘発し、加速電場の劣化・クエンチを引き起こすので、組立作業は半導体工場レベルのクリーンルーム内で実施される。

SRF クライオモジュールを構成する各機器は、欧州の研究機関で製作・性能試験が完了した後、QST 六ヶ所研究所に搬入された。冷凍機システムは、2017 年に施工が完了し、2018 年に QST 主体の液化運転のトレーニングを実施した。クライオモジュールは 2019 年より、六ヶ所研究所内に整備された ISO-class5 のクリーンルーム内で欧州実施機関(F4E)により組立作業が開始され、一部の HWR と RF カプラーの接続作業などが実施された。ところがその後、新型コロナウイルス拡大による入国規制等で欧州の技術者が来日できず、組立作業が中断し、作業は延期されてきたが、2022 年夏より組立作業が再開される。クライオモジュールの組立作業は 2023 年春頃に完了する見通しであり、その後、加速器室への搬入、据付作業、冷凍機システムとの接続・液化運転、コミッショニングを開始する計画である。



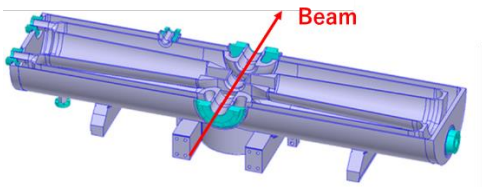


図１. LIPAc の SRF クライオモジュール(左)と冷凍機システム(右).　図２. LIPAc の HWR 空洞.

[1] H. Ditzko *et al.*, “Status and future developments of the Linear IFMIF Prototype Accelerator (LIPAc)”, Fusion Engineering and Design, 168-112621 (2021).

[2] N. Bazin, *et al.*, “Status of the IFMIF-EVEDA superconducting linac”, Proc. SRF2019, Dresden, Germany, 735-741 (2019).

*Ebisawa Takashi[1] on behalf of LIPAc Unit[1-6]

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