

4-6 核融合用強力中性子源の加速器実現に向けて —高周波四重極加速器の高周波結合系用ループアンテナの開発—

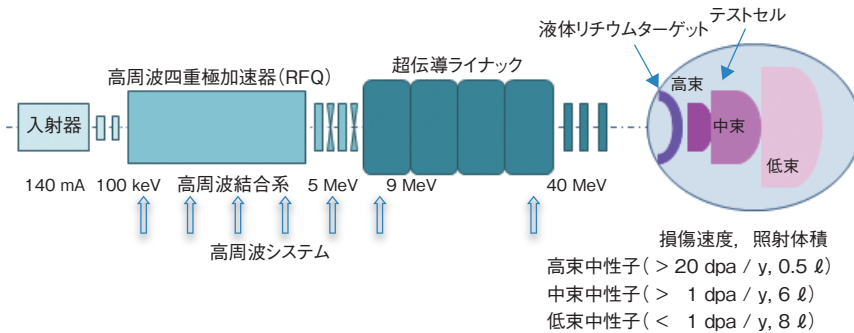


図4-13 核融合材料中性子照射施設の構成

40 MeV-250 mA の重陽子イオンビームを加速して液体リチウムに入射します。このとき、ストリッピング反応により生成される 14 MeV の中性子を材料に照射して核融合材料の健全性を評価します。

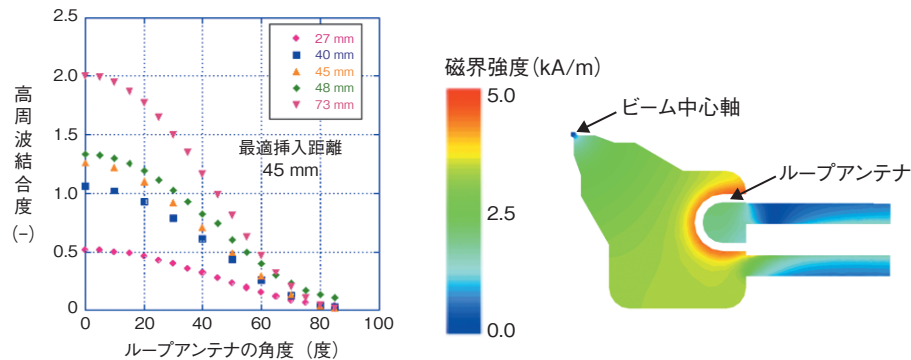


図4-14 ループアンテナの挿入距離及び角度に対する高周波結合特性の測定結果

図4-15 三次元電磁界解析による磁界分布設計条件を満たす RFQ の磁界強度分布です。

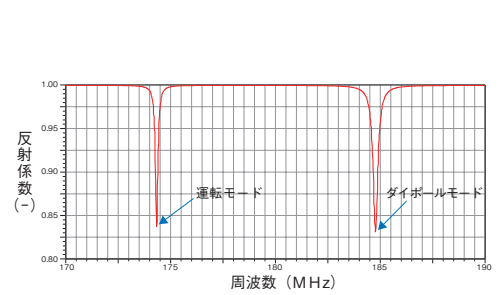


図4-16 ループアンテナ挿入による RFQ の反射係数

ループアンテナ挿入による運転モードの周波数変移を 0.1% に抑制し、不要なダイポールモードを近づけないことが必要です。

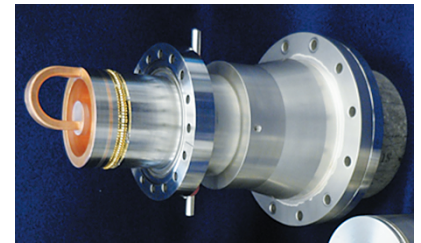


図4-17 我が国の先端技術により製作に成功したループアンテナ先端部

核融合炉の実用化には、14 MeV の中性子による核融合炉材料の健全性評価が必要不可欠です。このために BA 活動のもと、日本と欧州連合が共同で International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) 計画を進めています。IFMIF では重陽子 (d) とリチウム原子 (Li) との反応で作られる中性子を用います。このためには重陽子イオンビームを加速し、液体リチウムに入射する加速器(図4-13)の実現が鍵です。この加速器は 125 mA の二つのビームラインを用いて加速します。しかも定常運転が要求されることから、ライナックの分野では世界最大電流となる試みです。加速器は 100 keV 出力の入射器、100 keV から 5 MeV まで加速する高周波四重極加速器 (RFQ) 及び 5 MeV から 40 MeV まで加速する超伝導ライナックから構成されます。原子力機構では、この構成の中で定常運転・大電流加速の実現を左右する RFQ の開発研究を行っています。この RFQ では定常運転で 125 mA の大電流を加速するために、周波数が 175 MHz の高周波電力 1.4 MW を入射する必要があります。安定

かつ定常的に高周波電力を供給するためには、高周波電力を結合するためのループアンテナの熱変形を軽減して、その形状による運転モードの変移を抑制することが必要です。このためには小さなループアンテナで挿入距離を抑えた高周波設計を行い、いかに高周波特性を定常的に維持できるかが開発の鍵となります。

今回、ループアンテナの熱負荷を軽減するために、実機大寸法の RFQ モックアップモジュールによる高精度の高周波特性評価 (図4-14) と三次元電磁界解析 (図4-15, 図4-16) を行い、アンテナの挿入距離の最適化に成功しました。更に世界で初めてループアンテナ内部に冷却チャンネルを設けて積極的に冷却する工学設計を行い、ループアンテナの曲面に均等な冷却チャンネルを設けるために均一な超微小砂を応用するなど我が国の先端技術によりこの製作に成功しました(図4-17)。これらの結果、世界に先駆けて定常化高周波結合系の開発に目処をつけました。

●参考文献

Maebara, S. et al., Engineering Design of the RF Input Coupler for the IFMIF Prototype RFQ Linac, Fusion Engineering and Design, vol.88, issues 9-10, 2013, p.2740-2743.