

プログラム名：核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化

PM名：藤田 玲子

プロジェクト名：核変換システム評価と要素技術開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 27 年度

研究開発課題名：

加速器及び標的の要素技術開発

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者：

上垣外 修一

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

大強度重陽子加速器

H27年度の目標は、前年度までの検討に基づいて空洞の低温部を製作すること、具体的には、約 75 MHz の共振周波数を持つ 1/4 波長型超伝導空洞の低温部品を、バルクニオブを用いて一台分製作することであった。これとともに、断熱真空とビーム真空が分離されたクライオモジュールの設計を行い、一部の製作を始めることを目標とした。

大強度ビーム加速の効率化

高周波四重極加速器およびドリフトチューブ型加速器をマルチビーム化したときのビームダイナミクスの検討を H27 年度に進め、またクライストロンにおけるコレクタでの廃熱を減らすべく、電子管のビーム挙動に関する研究を開始する。

大強度中性子発生標的および窓なし真空封止技術

大強度中性子発生標的における H27 年度の目標の一つは、IFMIF における液体リチウム標的など、様々な開発事例における到達点を確認するとともに、それらを幅広く検討し、さらなる大強度化のための技術課題を抽出することであった。もう一つの目標は、重陽子分解反応を利用した中性子の発生標的として有望な液体リチウム膜に関する予備試験を行い、技術課題を抽出することであった。

窓なし真空封止技術については、まずは、プラズマウィンドウの特性を調べ大口径化への課題を抽出するとともに、他の真空封止技術についても調査し、技術開発課題を抽出することが目標であった。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

大強度重陽子加速器

超伝導空洞の低温部の製作はほぼ計画通りに進んでいる。具体的には、周波数を 75 MHz に調整し

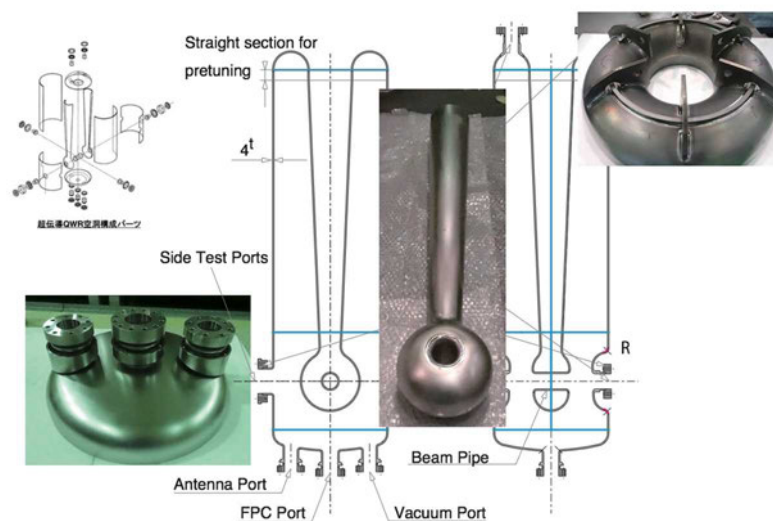


図 1 : 製作段階における 1/4 波長型超伝導空洞の低温部分部品

た空洞部品を完成させた(図1)。また、製作段階での周波数微調整法について新しい方法を考案した。H28年度早々に特許出願を行う見込みである。クライオモジュールの詳細設計も同時進行で進めており、製作を開始する段階に入っている。4月以降に予定している空洞性能試験設備の整備もほぼ完成させた。

大強度ビーム加速の効率化

高周波四重極加速器およびドリフトチューブ型加速器をマルチビーム化したときのビームダイナミクスの検討を進め、またクライストロンにおけるコレクタでの廃熱を減らすべく、電子管のビーム挙動に関する研究に着手した。

大強度中性子発生標的および窓なし真空封止技術

今年度、ERIT (Energy Recovery Internal Target) という、加速器によるエネルギー回収を伴う内部標的のアイデアをLLFPの核変換に適用する事が検討され始めた。この方式はエネルギー効率(中性子を作るのに必要なエネルギー)の観点から有望である。ERITで用いられる標的の熱負荷は非常に大きくなるため、液体リチウム液膜を用いる事が検討されているが、この液体リチウム液膜は加速器内部に設置される。したがって、国際核融合材料照射施設(IFMIF)のように加速イオンが液体リチウムの内部に停止するのではなく、液膜を通過するにしなければならない。すなわち、液膜の厚みの均一性は加速器の性能を大きく左右することになる。また、通過型であるため、IFMIFのように液膜を安定化させるための裏板を設置することが出来ない。そこで我々はまず、裏板を沿わずに、ノズルから直接噴射して生成されるリチウム液膜を生成し、その状態の調査を開始した。とくに、液膜の状態を定量的に把握するため、レーザー変位計を用いて液面の揺らぎを測定することを試みた。

窓なし真空封止技術については、プラズマウィンドウの長さを変更した場合の圧力差の変化に関する調査を行った。また、プラズマウィンドウ内に生じるアークプラズマの特性を正しく把握するため、プラズマ分光を開始した。プラズマ分光により、電子の温度・密度・プラズマの放出速度に関する情報が得られると期待される。

2-2 成果

大強度重陽子加速器

H26年度の検討に基づいて空洞の低温部の製作が順調に進んでいる。これまで4ミリ厚の純ニオブでQWR型の空洞を作った例がなく(通常もっと薄い材料を用いる)、プレス加工や電子ビーム溶接のR&Dが行われ、新たな知見を得た。また、最終段階の溶接を残し、仮組み立てによって周波数を測定し、常温ではあるが計算通りの無負荷 Q を得た。クライオモジュール設計においては、外部からの熱侵入(主に、ビームパイプと大電力カプラーから)を極限まで減らす設計を得た。その結果、クライオモジュールを小型冷凍機を用いて冷却できる目処が立ち、材料手配・部品の製作を開始している。

一連の開発は注目を集めるところとなり、9月にカナダで開かれた「第17回超伝導加速器国際会議」(当該分野最大の会議)で開発状況について招待講演を行った。

大強度中性子発生標的および窓なし真空封止技術

液体リチウムの予備試験より、表面張力によって液膜の幅が狭まっていく現象が顕著であること、流速が増すに従って液膜の厚みのばらつきが顕著になっていくことがわかった(図2)。これらの液面の歪みや揺らぎによって生じる通過粒子のエネルギー広がりERIT内で許容できるものではない。よって、何らかの方法で液膜を安定化させることは必要不可欠であることがわかった。

窓無し真空封し技術については、プラズマウィンドウの長さ依存性を取得することにより、大口径化するに当たっての指針を得る事が出来た。また、10cm レベルの大口径窓を作ることが期待される、新たな「液体金属真空窓」を着想した。これは、一様磁場に沿って流れる均一な液膜に対して、一様磁場に対して垂直の向きに磁場をかけることにより、液膜に真空力に対抗する力を与えることができ、この液膜で仕切られた2つの空間の間に差圧を生じさせることが出来るというものである。

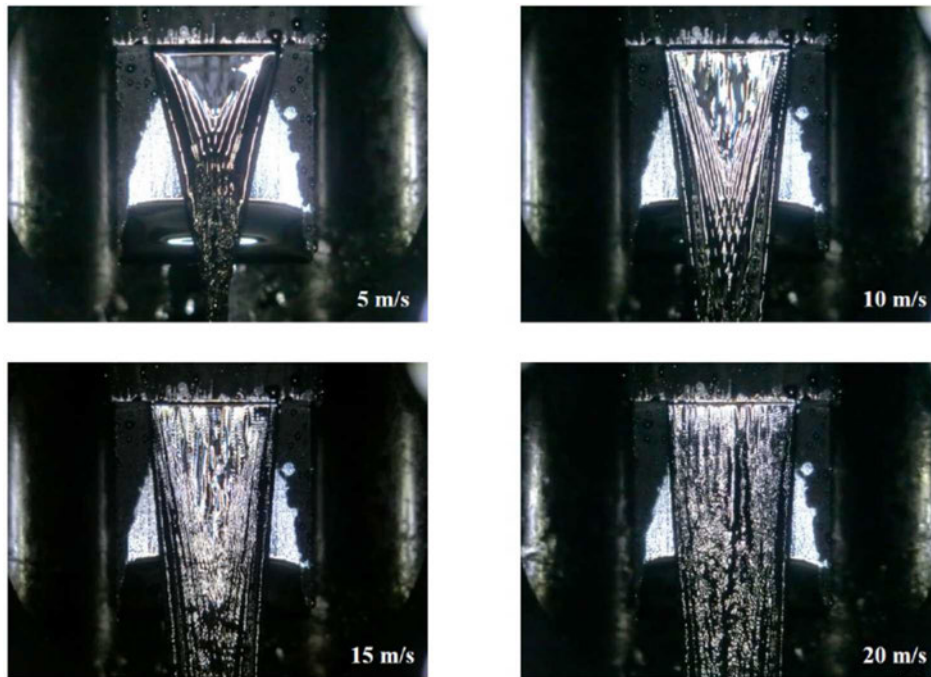


図2：液体リチウム自由表面流の表面状態（ $10\mu\text{s}$ の高速ストロボによる撮影）

2-3 新たな課題など

大強度重陽子加速器

空洞を実際に製作するに当たり多くの課題が顕になった。中でも、量産する場合の製作コストを減らすため、空洞の材料や部品分割の最適化が重要であることがわかった。これを検討すべく、2台目のプロトタイプ空洞の製作を行い、例えば板厚の薄い材料を複合させて製作するなどの開発を行うことが望ましいと考えている。

3. アウトリーチ活動報告

大強度重陽子加速器

理研 RIBF 内において、一般の方が見学される場所に当研究のポスター及び部品展示のためのブースを複数箇所設けた。また、東北大学で行われた原子力学会年会の展示ブースにて空洞開発の説明を行った。