

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

(6-1) 大強度低速イオンビーム加速用超伝導線形加速器の開発

Reduction and Resource Recycling of High-level Radioactive Wastes through Nuclear Transmutation

(6-1) Development of Prototype Superconducting-Linac for Intense Low-beta Ion Beams

*坂本 成彦¹, 山田 一成¹, 須田 健嗣¹, 大関 和貴¹, 渡邊 裕¹, 上垣外 修一¹, 奥野広樹¹

理化学研究所 仁科加速器科学研究センター¹

近代の大強度粒子加速器において、その高加速勾配、低電力損失の性能から超伝導高周波空洞の技術が欠かせないものとなっている。国内で初めてのバルクニオブ材による超伝導空洞を用いた大強度低速イオンビーム加速のための超伝導線形加速器プロトタイプの開発を行った。

キーワード: 超伝導、線形加速器、イオンビーム

1. プロトタイプ開発

超伝導線形加速器は大きくわけて、高加速勾配を発生する超伝導空洞と空洞をヘリウム温度まで冷却するためのクライオスタット真空容器とその高周波励振系からなる。本研究は、空洞単体で目標性能（加速勾配、低高周波損失）を達成すること、空洞をクライオスタットへ組み込んで空洞の性能をどのレベルまで保持できるか、さらに、長時間安定して加速勾配を発生させることができるかがポイントとなる。

2. 超伝導空洞線形加速器の要素開発

2-1. 超伝導空洞とクライオモジュール

空洞は $\lambda/4$ 波長型で共振周波数は 75.5 MHz。高周波損失 1.6 W で 4.5 MV/m の高加速勾配を発生させる高い性能の実現に成功した[1]。空洞の共振周波数は、加速ギャップを縮めることにより 5 kHz の範囲で精密に調整される。

空洞を超伝導状態になる 8.2 K 以下に冷却するために液体ヘリウム(4.2 K)を用いる。外気から低温部への熱侵入を最小限に抑えるため、断熱真空部に熱シールド・アンカを配置する。空洞へのケーブル・ビームパイプ・真空排気ポート接続は、内部への埃や金属屑などの異物が混入しないよう、十分な注意を払ってクリーンな環境で実施した。



図 1 完成後、冷却試験中の超伝導線形加速器プロトタイプ

2-2. 高周波電源とデジタル回路

高周波電源は 4.5 kW のものを開発。超伝導空洞周波数帯域約 100 Hz をもたせるため、空洞単体で 9 乗ある Q 値に対して、外部 Q を 10 の 6 乗程度に落として運転する。また、100 Hz という狭い帯域で、短い時間で加速勾配を発生させることができるよう、自励振モードを取り入れたデジタル回路を開発した。

3. 総合試験

超伝導空洞、クライオモジュール、高周波電源・デジタル回路を組み合わせる総合試験を行った。具体的には、空洞を 4.2 K まで冷却し超伝導状態にすることに成功し、開発した高周波電源・デジタル回路を組み合わせる規定の加速勾配で約 12 時間連続の励振試験を実施した。汚染に起因する空洞からの強い X 線放射は観測されなかったことから、空洞のモジュールへの組み込みに成功したと言える。

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)の一環として実施したものです。

参考文献

[1]坂本 成彦 他 日本原子力学会 2018 年秋の大会 C000699

*Naruhiko Sakamoto¹, Kazunari Yamada¹, Kenji Suda¹, Kazutaka Ozeki¹, Yutaka Watanabe¹, Osamu Kamigaito¹, and Hiroki Okuno¹

¹RIKEN Nishina Center