

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：核反応データ取得及び新核反応制御法

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

核変換処理のための高効率負ミュオン生成法の研究
-加速/貯蔵 ERIT リングの開発-

研究開発機関名：

京都大学

研究開発責任者

森 義治

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

本研究では、MERIT 法による高効率・大強度の負ミュオン生成法と有効性について、そのフィジビリティならびにその最適化について研究し、それらに基づき MERIT ミュオン生成法の根幹技術である 1 次ビームの加速ならびに貯蔵の両立について、その基本原理実証を行う。平成 27 年度の成果 (MERIT リングのビーム光学・力学設計、生成パイオン/ミュオンの捕獲/輸送/核変換の最適化、MERIT リング要素開発) にもとづき、H28 年度より 3 カ年で陽子ビームによる既存低エネルギー中性子生成用リング (陽子ビーム、11MeV) を改造し、MERIT 法の根幹技術である広いエネルギー範囲に亘るビーム加速/貯蔵によるエネルギー回復を実証する。具体的な研究開発項目は以下のとおりである。原理実証試験での達成目標は以下のとおりである。

- i) ビーム加速エネルギー範囲 11MeV ~ 13-14MeV
- ii) ビーム貯蔵周回数 ~100 ターン

これらを実現させるビーム加速/貯蔵を両立させるエネルギー回復法 (MERIT 法) の原理実証のために、本年度は、以下の各項目の研究開発を行った。

- (1) ビーム光学・力学評価
- (2) 電磁石磁極改造
- (3) 真空ビームダクト開発
- (4) 入射用ビーム輸送系開発
- (5) ビーム診断装置開発
- (6) 高周波加速装置整備

。

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

(1) ビーム光学・力学の評価/検討

MERIT 方式の原理実証に必要なビームパラメータの策定を行った。そのために既存の ERIT リングのビーム光学パラメータの変更・修正と最適化、MERIT 方式においても広い加速運動量範囲を確保するために必要な零色収差条件を満たすこと、MERIT リング周回の際に標的との衝突による多重散乱 (ラザフォード散乱) によるエミッタンス増大の評価、力学的口径ならびに後に述べる物理的口径 (真空ダクト内径) 内に収まることの確認、MERIT 方式の加速・貯蔵実証試験のための入射エネルギーを下げるための手法についての検討を進めることが出来た。

(2) 電磁石補正磁極の開発及び磁場測定

基本パラメータの策定に得られた k 値、エネルギー範囲、ビーム口径等を満たす磁場分布が得られる補正磁極形状を最適化し、最適化された補正磁極により期待通りの磁場分布が得られることをモデル補正磁極を製作し磁場測定を行うとともに、これらにより最終的な補正磁極構造を決定し必要な数量の補正磁極他を製作した。

(3)真空ビームダクトの開発・製作

入射器であるリナックからリングまでのビーム輸送系の真空ダクトの設計/製作を行うとともに、補正電磁石磁極の形状に合わせてできるだけ大きな物理的口径を確保する電磁石部（8箇所）の真空ダクトを設計し製作した。

(4)入射用ビーム輸送系の開発

入射器からリングへのビーム輸送系において、入射ビームがリングのビームパラメータと十分なマッチングがとれるようなビーム光学設計、ビームパラメータを満たすための偏向電磁石、ステアリング電磁石の設計・製作、荷電交換入射のための炭素薄膜位置調整ならびに交換をおこなうための装置の設計を進めた。

(5)ビーム診断装置の開発

ビームの周回性能、ビーム位置を正確に測定するためのビームモニターの検討を進めた。

(6)高周波加速装置整備

既存 ERIT リングで用いられた高周波電源について正常な運転性能が確保されるような整備・調整、高周波空洞において必要な高周波電圧が得られることを確認するための整備・調整を行い総合的な電圧発生試験を進めてきた。

(7)重陽子 MERIT リングの検討

重陽子加速を MERIT 方式で行う場合、リング 1 ターン当たり 2 倍の加速電圧が必要となるので、効率良く加速電圧を発生する高周波空洞について、想定されるいくつかの方式・形状について基本的検討を進めてきた。

2-2 成果

(1) ビーム光学・力学評価

ビーム加速・貯蔵に最適な幾何学的磁場係数 ($k+1$ 値) の最適化 (<1.5) を行った。これにより、ビームアクセプタンス (水平・垂直 $>2,000\text{mm.mrad}$) の確保が可能となった。

(2) 電磁石補正磁極改造

補正磁極開発、及び 3 次元磁場測定による検証を行った。加速/貯蔵エネルギー領域において $k+1$ 値として $\pm 5\%$ 程度を実証した。

(3) 真空ビームダクト開発

ビーム光学/力学パラメータで評価された必要アクセプタンス ($>2000\text{mm.mrad}$) に対して余裕有るビームダクト設計を行うとともに、一部開発製作を行った。

(4) 入射用ビーム輸送系開発：

入射器（リナック）からリングへの入射ビームラインに必要な偏向電磁石、ステアリング電磁石、ビーム真空ダクトの製作を行う。また、JAEA グループと協力して炭素薄膜入射装置開発に着手した。

(5) ビーム診断装置開発

ビームバンチ及び位置モニターに関する設計に着手する。また、3 次元ビームエミッタンス測定装置のための設計検討をおこなった。

(6) 高周波加速装置整備

既存高周波装置について高周波電源の出力試験を行い、高周波電力出力を確認した。高周波空洞へ高周波電力を導入し、必要とされる高周波電圧が発生できることを実証した。

2-3 新たな課題など

本研究開発を遂行するにあたり、今年度の研究開発を実施した限りでは、重大な課題は見出されていないが、重陽子 MERIT 用の高周波加速空洞については、今後冷却等の検討を進めて実用的な加速電圧の検討を進める必要がある。また、ERIT 型空洞は、 $R_{sh}=9.79\text{M Ohm}$ と大きいため空洞ロスの面で有利であるのでさらに最適化検討を進めたい。

リングのビーム光学・力学設計についてはさらに最適化を進める。また、パイオン発生用標的について、従来の固定標的でなくガス（重水素等）標的についての可能性を追求する。

3. アウトリーチ活動報告

当該年度の活動は特になし。