

プロジェクト名：宇宙元素合成の解明 ～ Rare RI Ring プロジェクト ～

代表者：山口 貴之（理工学研究科・准教授）

1 はじめに ～背景と目的～

本研究の目的は、理化学研究所 RI ビームファクトリーに重イオン蓄積リングを建設し、不安定核の質量を精密に測定することである。これにより宇宙元素合成過程 **r-process** を解明することを目指している。

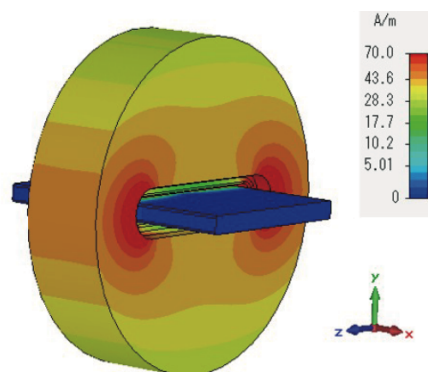
鉄より重い元素は、超新星爆発などの特殊な環境の下、原子核が急激に大量の中性子を吸収し、その後、ベータ崩壊することによって生成されたと考えられている。この過程は鉄からウランまでの元素の約半分を生成したとされているが、その詳細は実験的にまだ解明されていない。その中で **r-process** の経路は原子核の質量によって決定されるが、**r-process** の経路が極端に中性子過剰な領域であるため、関与する不安定核の質量は未知であった。原子核の質量はこれまでイオントラップを用いた精密実験が世界各地で行われているが、**r-process** に関与するような寿命の短い、かつ生成量の少ない不安定核の質量は測定することが困難であった。そこで、理研、筑波大、埼玉大を中心とする共同研究チームは、**r-process** 核の質量を精密に測定するための個別入射型重イオン蓄積リング法（**Rare-RI Ring**）を発明し、現在、RI ビームファクトリーに建設を進めている。

Rare-RI Ring は、現在、世界最高の不安定核ビーム強度を誇る理研の RI ビームを利用する。高エネルギーウランビームの核分裂によって生成される様々な **r-process** 核を破砕片分離装置によって粒子毎に分離、識別し、蓄積リングに入射する。蓄積リングは等時性に調整されているため、周回する粒子の周期がその質量に比例する。このように、**r-process** 核を選択的に蓄積リングに入射し、その周回周期から質量を精密 ($\delta m/m \sim 10^{-6}$) に測定することができる。

2 本年度の研究と成果

平成 24 年度は本助成を用いて、共鳴ショットキーピックアップの設計と製作を進めた。蓄積リングを等時性に調整するためには、セクター電磁石に導入されたトリムコイルの電流を微調整する。等時性を測定するために、蓄積リングに共鳴ショットキーピックアップを導入する。ピックアップはリング中を周回するイオンが誘起する電磁場を共鳴空洞によって検出する。得られた信号をフーリエ変換することで周波数スペクトルを得る。周回周波数は粒子の運動量に比例するため、入射粒子の運動量を変化させながら、周波数変化を観測する。共鳴周波数が粒子の運動量に依存しない条件が等時性となる。

本年度は 3 次元電磁場解析シミュレーションツールを用いて、共鳴空洞の設計を行った。ピルボックス型の空洞は超高真空のビームパイプからセラミックを介して接続される。空洞の大きさ等のパラメータを最適化し、1 粒子に対しても感度のあるものを得た。同様のピックアップはドイツ GSI 研究所にすでに導入されているが、単一イオン感度としては約 8 倍の改善を得ており、原子番号 15 の単一イオンの観測が可能となる。最終値として、共鳴周波数は約 185MHz、 Q 値は約 5000 を得た。右図はシミュレーションの一例である。カラーコードは誘起される磁場強度分布を示す。本研究の成果は国際会議 EMIS2012（XVI International Conference on Electromagnetic Isotope



Separators and Techniques Related to their Applications, 2012.12.2-7, Matsue, Japan) において発表した。装置は現在製作中である。

3 今後の課題と計画

Rare-RF Ring プロジェクトは順調に進んでおり、現在、セクター電磁石や真空系の整備が進行している。本研究で設計した共鳴ショットキーピックアップは H25 年度中に蓄積リングに導入される。設計値を確認するため、製作された空洞のオフライン試験を行う準備を進めている。H25 年度中に **First beam** のリング蓄積を目指している。