

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19340073

研究課題名（和文） 不安定核電荷分布測定のためのSCRITを用いた電子散乱実験

研究課題名（英文） Electron scattering for charge density distribution measurement for unstable nuclei using the SCRIT.

研究代表者

若杉昌徳（WAKASUGI MASANORI）

独立行政法人理化学研究所・実験装置開発グループ・グループディレクター

研究者番号：70250107

研究成果の概要：

短寿命不安定原子核の電荷分布を世界で初めて測定できる方法として、電子蓄積リングにおけるイオントラッピング現象を利用した SCRIT 法を発明した。SCRIT の原理実証を行うためプロトタイプを京都大学化学研究所の電子蓄積リング KSR に挿入して実験を行ってきた。その結果、わずか 100 万個の Cs 原子核を標的とした電子弾性散乱を起こさせ、その散乱断面積の測定に成功した。これによって数量の限られた短寿命不安定核の電子散乱実験法が確立した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
2008 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野： 数理系科学

科研費の分科・細目： 物理学 ・ 素粒子 原子核 宇宙線 宇宙物理

キーワード： 核物理、粒子測定技術、加速器、電子散乱、イオントラッピング

## 1. 研究開始当初の背景

加速器技術の発展とともに、安定領域から遠く外れた、短寿命不安定核の研究が盛んになり始めて四半世紀が経つ。この間原子核の構造研究では、安定核領域の研究から確立された原子核モデルを逸脱する奇妙な構造が次々と明らかになってきた。原子核構造をより統一的に理解するために電子散乱という実験手法は原子核とりわけ陽子の分布すなわち波動関数を直接測定できる唯一の方法であり、極めて有用である。安定核における

電子散乱実験は原子核の基本的性質を明らかにし、従来の原子核モデル構築に大きな貢献をしてきた。しかし、この手法は、数の少ない短寿命不安定核には全く適用されていない。標的となる原子核数の不足を補う方法として、ドイツの GSI 等で計画されているようにコライダーを用いることが、これまで唯一の方法と考えられてきた。しかしこの方法は巨大な装置と費用を必要とすることなどから遅々として進んでいない。そこで、コライダー方式に変わる新たな不安定核電子散

乱実験へのアプローチが待ち望まれていた。

2004年我々は全く新しい方法として、小型の電子蓄積リングにおけるイオントラッピング現象を応用したSCRITを提案した。この方法が有用であることを実証するために、プロトタイプを製作して、京都大学化学研究所の電子蓄積リングKSRへ挿入して研究を行っている。

## 2. 研究の目的

本研究の最終目標は、電子散乱の手法を用いて不安定核の内部構造とりわけ核電荷分布を精密に測定することにある。この手法は核構造研究に決定的な貢献をしてきたが、不安定核ではターゲットが作れないために未踏の領域であった。我々はこの殻を破り不安定核の電子散乱実験を実現し得る全く新しいターゲット生成法、SCRIT法を発明した。SCRITのターゲットとしての有用性を実証するための試験研究を安定核であるセシウム(Cs)イオンを用いて京都大学化学研究所の電子蓄積リングKSRにおいて行っており、CsイオンがSCRIT中にトラップされ電子ビームと衝突していることを確認した。本課題の目的は、SCRIT法を短寿命不安定核の実験に耐える様性能を向上させることにある。そのためにイオンビームを効率良くSCRITに入射し、イオンの蓄積数(密度)を増やし、長い蓄積寿命(秒オーダー)を実現するよう改良し、SCRIT中のCsイオンからの電子散乱測定を実現する。

## 3. 研究の方法

電子蓄積リングでは電子ビームを蓄積する際に、残留ガスが電子ビーム衝突によりイオン化され、電子ビームが作るポテンシャル井戸に捕まってしまう、そのまま電子ビーム軸上に蓄積される現象が起きる。これはイオントラッピングと呼ばれ、電子ビーム蓄積を妨げる大きな要因の一つである。トラップされた高密度のイオンと電子ビームが衝突し、Rutherford散乱によって軌道を逸脱した電子ビームは失われてしまう。この現象はまさに電子蓄積リング中で、我々の目指す電子散乱現象が常時起きていることを示している。SCRIT法は、トラップされる残留ガスイオンを、目的とする不安定核イオンに置き換えることで、電子散乱のための不安定核ターゲットを形成する技術である。

SCRITプロトタイプは、イオン源、イオン入射ライン、SCRIT本体、取り出しイオン分析装置から構成されている。散乱電子はSCRIT本体下部のBe窓と通ってドリフトチェンバーで散乱軌跡が決定され、トリガ用プラスチックぬけてカロリメータで全エネルギーが測定される。カロリメータ

は散乱角30、40、60度に設置して広い角度領域の散乱現象を同時に測定できる。また、散乱させた原子核種を識別するために、散乱によって反跳した原子核イオンの検出器を装備している。衝突ルミノシティーをモニターするために超前方に散乱したプラスチックシンチレータレータと、制動輻射線を検出するためのBaF<sub>2</sub>シンチレータを設置している。イオン分析装置は一旦トラップしたイオンを取り出し、トラップ時間に応じて変化する価数分布を解析するためのものである。

## 4. 研究成果

2007年4月の実験において、初めてSCRITに蓄積したCsイオンからの弾性散乱電子の観測に成功した。このときSCRITには約600万個のCsイオンがトラップされており、衝突ルミノシティーは $4 \times 10^{25}/\text{cm}^2\text{s}$ であった。散乱断面積から原子核の電荷分布を測定するために我々が目標としていたルミノシティーの数分の1であったが、SCRIT法による電子散乱実験の可能性が実証された瞬間であった。

装置の改良をかさね、特に入射イオンをより効率的に入射するための改良のほか、検出器等の改良を行った。その結果2007年12月および2008年6月の実験においてルミノシティーは $2 \times 10^{26}/\text{cm}^2\text{s}$ まで改善され目標を達成した。このときSCRITには約1000万個のCsイオンを蓄積し、散乱角25度~60度の広い領域にわたって弾性散乱断面積を測定することに成功した。このデータからCs原子核の電荷分布の導出が可能であることも明らかになった。また、1000万個のCsイオンの内、約100万個だけが散乱事象に関与していることが判明した。その理由としては、イオンの入射条件の最適化が不十分であることが主である。さらに蓄積中のCsイオンが電子ビームの衝突によって多価イオンになるにつれてルミノシティーがより向上することが判明した。このような現象を理解してより最適なイオン蓄積条件を整えることによって、さらに少数の標的イオンに対しても電子散乱実験が可能であることが明らかになった。

この研究によって、世界で初めて短寿命不安定核の電子散乱実験を可能にする技術が確立した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

M.Wakasugi, et al., Novel Internal Target for Electron

Scattering off Unstable Nuclei,  
Physical Review Letter, 100,  
164801, 2008, 査読あり

T.Suda, et al. (2/10), First  
Demonstration of Electron  
Scattering using a Novel Target  
Developed for Short-Lived Nuclei,  
Physical Review Letter, 102,  
102501, 2009, 査読あり

〔学会発表〕(計 1件)

M. Wakasugi, Electron scattering  
using novel internal target SCRIT,  
5<sup>th</sup> International Conference on  
Exotic Nuclei and Atomic Masses,  
Sep. 11, 2008, Poland.

〔その他〕

プレスリリース:

2008年

4月25日 日刊工業新聞、電気新聞

5月9日 朝日新聞

5月26日 新潟新聞、山陰中央新聞、

5月27日 山陽新聞

5月28日 福井新聞

6月3日 琉球新聞、熊本日々新聞

6月4日 神戸新聞

6月9日 大分合同新聞

6月10日 北海道新聞

6. 研究組織

(1)研究代表者

若杉昌徳 (WAKASUGI MASANORI)

独立行政法人理化学研究所・実験装置開発

グループ・グループディレクター

研究者番号: 70250107

(2)連携研究者

玉江 忠明 (TAMAE TADAAKI)

東北大学・原子核理学研究所・准教授

研究者番号: 1130188427

栗田 和好 (KURITA KAZUYOSI)

立教大学・理学部・准教授

研究者番号: 3268640121

野田 章 (NODA AKIRA)

京都大学・化学研究所・先端ビームナノ科  
学センター・教授

研究者番号: 1430184320

白井 敏之 (SHIRAI TOSHIYUKI)

独立行政法人放射線医学総合研究所・重粒

子医科学センター・主任研究員

研究者番号: 8250299924

頓宮 拓

京都大学・化学研究所・先端ビームナノ科

学センター・技術職員

研究者番号: 1430184325