

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26287036

研究課題名(和文)蓄積された多価イオン状態の不安定核ベータ崩壊と宇宙元素合成の環境

研究課題名(英文)Beta decay study of stored highly charged ions

研究代表者

山口 貴之(YAMAGUCHI, Takayuki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10375595

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は宇宙で起こっている元素合成過程をよりよく理解するために、不安定核のベータ崩壊を宇宙により近い、現実的な環境で観測するものである。具体的には、高エネルギー多価イオン状態RIを蓄積リングに入射し、蓄積し、飛行中にベータ崩壊を観測する。我々はドイツGSI研究所において、核子あたり400MeVの水素様多価イオン電子状態 ^{142}Pm を蓄積リングESRに貯蔵し、電子捕獲崩壊を観測した。また、この研究を日本で進めるために、理研RIBFの稀少RIリングにおいて、共鳴ショットキーピックアップ、速度選択型チェレンコフ検出器、ファイバーシンチレーション検出器およびデルタ線による蓄積リング周回モニターを開発した。

研究成果の概要(英文)：The present study aims at the beta-decay observation of highly charged radioactive ions stored at the storage ring, towards a deep understanding of nucleosynthesis. A high-resolution resonant Schottky pickup coupled with particle detectors enables the measurements of in-ring decays of stored ions, which would be similar to those in a stellar environment. We have precisely measured in-ring electron capture decays of hydrogen-like ^{142}Pm , produced and separated by the in-flight fragment separator FRS, stored at the storage ring ESR for an extended period of time. In parallel, we have developed the particle detectors such as a resonant Schottky pickup, a velocity-selective Cherenkov detector, fiber scintillation detectors, and a beam monitor using delta-ray emission for the Rare-RI Ring facility at RIBF.

研究分野：原子核物理学(実験)

キーワード：多価イオン 蓄積リング ベータ崩壊 元素合成

1. 研究開始当初の背景

鉄からウランまでの重元素は、この宇宙でどのように生成されたのか？これは今世紀の物理学上の10大ミステリーの一つとされている。現在のところ、宇宙で起こるsプロセスとrプロセスの2つが重元素を合成した主な過程と考えられている。

sプロセスでは、赤色巨星などで原子核がゆっくりと中性子を吸収した後、ベータ(マイナス)崩壊して原子番号を増やす。一方、rプロセスでは、超新星爆発などで速く中性子を吸収し、その後ベータ崩壊して原子番号を増やす。

sプロセスは反応過程がゆっくり進むので、関与する原子核は安定核の周囲だが、rプロセスは反応過程が速く、大量の中性子を吸収することから、関与する原子核は極めて中性子過剰な不安定核となる。

このような元素合成過程を理解するために必要な原子核物理の情報の一つは、ベータ崩壊の寿命である。安定核近傍の原子核の寿命はほとんど知られている。中性子過剰な不安定核に対しても理化学研究所 RI ビームファクトリー(RIBF)が動き出し、ウランビームの飛行核分裂を利用して大量の中性子過剰核が生成できるようになり、多くの寿命が測定された(理研、西村ら PRL2011, 2015 他)。

しかしながらここでもう一度、宇宙で起こっている原子核の反応を想像してみたい。地上の実験室で原子核の寿命を測定する時、通常は生成された不安定核を物質中に停止させ、崩壊によって発生するベータ線などの強度の時間変化を観測することになる。つまり不安定核は中性原子状態にある。ところが、星の中は高温高圧状態であるため、中性ではなく、多価イオン状態にある。

多価イオン状態の不安定核の寿命は劇的に変化することがある。例えば、束縛状態ベータ崩壊が起こる。これは中性原子状態では起こりえない過程で、ベータ崩壊で放出される電子が娘核の原子軌道に捕獲される現象である。宇宙時計として有名な¹⁸⁷Reは中性状態では寿命が420億年であるが、軌道電子がないフルストリップ状態では9桁も短くなり、33年になるという報告がある(Boschら PRL1996)。研究代表者はこれまで多価イオン状態のベータ崩壊寿命を研究してきた。²⁰⁷Tlの束縛状態ベータ崩壊の観測では、はじめて破砕片分離装置を用いて、安定核²⁰⁸Pbから²⁰⁷Tlの高エネルギーRIビームを作り出し実験に成功している(山口ら PRL2005)。

このように、束縛状態ベータ崩壊は寿命の長い不安定核に重要な過程で、主にsプロセスに影響を与える可能性が高い。一方、rプロセスに重要な中性子過剰な不安定核では、束縛状態ベータ崩壊は起こりにくい。しかしながら、多価イオン状態による不安定核の寿命の変化は短寿命核にも起こりうる。したがって、多価イオン状態の原子核寿命測定を発展させるために、理化学研究所に建設された

蓄積リング、稀少RIリングを整備、改良し、新たな実験手法を確立する必要がある。稀少RIリングは本来、不安定核、特にrプロセス核の質量を精密に測定する装置で、コミッション状態にあった。質量測定のみならず寿命測定を可能にする検出器整備が不可欠であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、宇宙で起こっている元素合成過程を理解するために、原子核の崩壊を宇宙に近い、より現実的な環境で観測する方法を確立することである。具体的には、高エネルギーRIビームを多価イオン状態で蓄積リングに貯蔵し、飛行中にベータ崩壊を観測する。sプロセスに重要な長寿命の不安定核の実験はドイツGSI研究所にて、rプロセスに重要な短寿命の不安定核の実験は理研RIBFにて行う計画である。

ドイツGSI研究所では、フルストリップ状態の²⁰⁵Tlの束縛状態ベータ崩壊の観測を行う予定だった。²⁰⁵Tlは中性では安定であるが、フルストリップ状態では約120日で崩壊すると予想されている。²⁰⁵Tlの同重体である²⁰⁵Pbはsプロセスの宇宙時計として有名である。²⁰⁵Pbはsプロセスでのみ生成される核で、寿命約 2×10^7 年で²⁰⁵Tlに崩壊する。したがって安定核²⁰⁴Pbとの比はsプロセスの宇宙時計になる。しかし、安定と思われていた²⁰⁵Tlが星の中で束縛状態ベータ崩壊を起こし、²⁰⁵Pbにもどる可能性がある。宇宙時計の議論を精密にするために、束縛状態ベータ崩壊率の実験値が不可欠であった。実験は2014年10月に予定されていたが、GSI研究所の将来施設FAIRの加速器建設のため、ビームタイムが著しく縮小され、2018年夏まで延期を余儀なくされた。

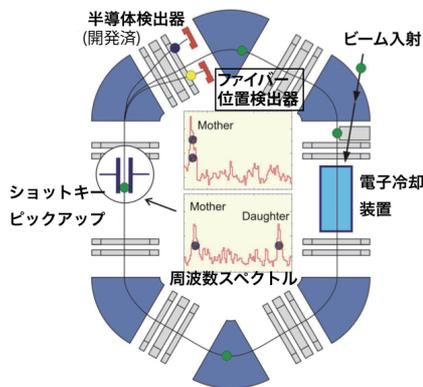
そこで、本研究では水素様電子状態の¹⁴²Pmのベータ崩壊(電子捕獲)の観測を行った(2014年10月)。¹⁴²Pmは多価イオン状態のベータ崩壊の電子状態依存性を調べる上で興味深い核である。始状態と終状態の間で電子スピンまで含めた全角運動量の保存を考えると、多価イオン状態の不安定核ベータ崩壊は、中性状態とは異なり、許容遷移になったり、あるいは禁止遷移になったり変化する場合がある(Litvinovら PRL2007)。この効果も星の中の元素合成過程に大きな影響を与えると考えられる。さらに、驚くべきことは、蓄積リングに貯蔵された不安定核¹⁴⁰Prと¹⁴²Pmの崩壊曲線を測定したところ、単純な指数関数型の崩壊ではなく、約20%の振動成分があると報じられたことである(Litvinovら PLB2008)。これは非常にセンセーショナルな発見で、様々な議論を巻き起こしNature誌にも紹介されるに至った。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、新規に開発された超高分解能の共鳴ショットキーピックアップを用いて、蓄積リングに貯蔵された水素様¹⁴²Pmの崩壊を精密測定した。

また並行して、理研における寿命測定を可能にするため、本研究では、共鳴ショットキーピックアップ、チェレンコフ検出器、ファイバーシンチレーション検出器ならびにデルタ線を利用した蓄積リング周回モニターの開発を行った。これら粒子検出器の開発は放射線医学総合研究所の HIMAC 加速器の重イオンビームを用いて試験を行った。

3. 研究の方法

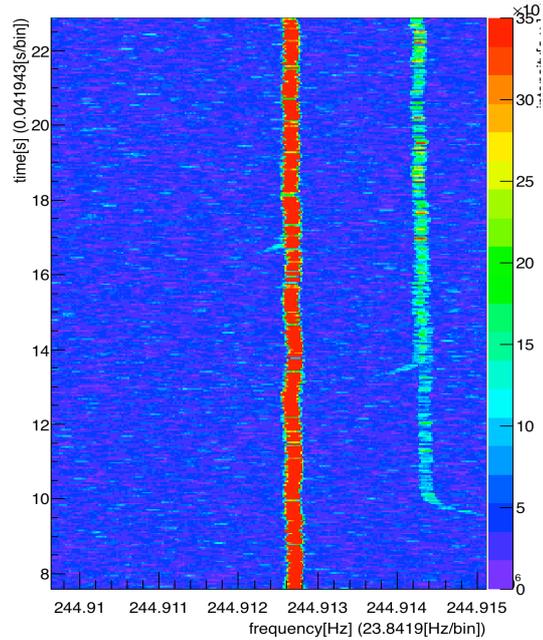
ドイツ GSI 研究所で行った水素様電子状態 ^{142}Pm の電子捕獲崩壊の実験方法を記す。

GSI 研究所のシンクロトロン SIS18 から核子当たり約 600MeV に加速された 1 次ビーム ^{152}Sm を Be 標的 ($2.5\text{g}/\text{cm}^2$) に照射し、入射核破砕反応によって ^{142}Pm を生成した。破砕片分離装置 FRS にて磁気剛性率 $B\rho$ とアルミニウム減衰板でのエネルギー損失 ΔE を用いて、水素様電子状態 $^{142}\text{Pm}^{60+}$ (核子あたりのエネルギー 400MeV) による単一ビームを作った。水素様電子状態を保ちつつ、1 バンチ毎 (粒子数 < 10) に蓄積リング ESR に入射し、約 1 分間貯蔵した。入射核破砕反応で生成された ^{142}Pm ビームは速度広がりを保つため、ESR 入射後直ちに確率冷却を約 4 秒間行い、その後電子冷却に切り替えた。崩壊の観測中も電子冷却は常に働いており、 ^{142}Pm は常に一定の速度で ESR 内を周回する。蓄積リング内で速度広がりがなく、粒子が周回する時、周回周波数は粒子の質量比電荷に比例する (Schottky Mass Spectrometry: SMS 法)。ESR の実験概念図を下記に示す。



SMS 法では粒子の周回周波数を測定すれば、粒子識別はもちろん、周波数変化によって飛行中にベータ崩壊したことが分かる。周波数の観測は新規に開発された共鳴ショットキーピックアップを用いた。粒子が ESR を周回すると、ESR 直線部に設置された Pill Box 型の共鳴空洞に固有な周波数 (約 245MHz) で電磁場が誘起される。そのパワー変化を磁気カップラーにより取り出し、高周波増幅器を介してリアルタイムスペクトラムアナライザーで高速フーリエ解析 (FFT) する。典型的なウォーターフローダイヤグラム (ショットキースペクトル) を次に示す。縦軸は蓄積時間、横軸は周回周波数を示す。 ^{142}Pm のライン (中央

RSA51-2014.10.03.00.23.49.226.TIQ



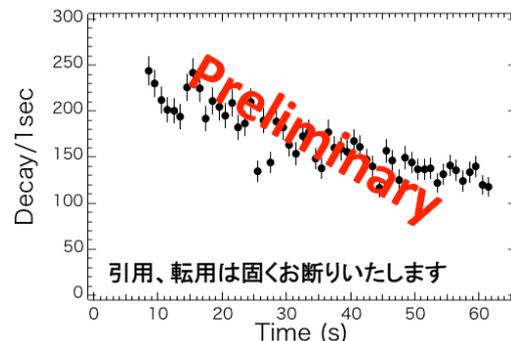
の赤線) が電子捕獲崩壊によって、娘核 ^{142}Nd のライン (右側) に 2 回 (9.5 秒と 13 秒) ジャンプしているのが鮮明に観測されている。この時刻を崩壊時刻として崩壊曲線を得た。

ちなみに、娘核 ^{142}Nd のラインの先端が曲がっているのは、電子捕獲崩壊によって放出されたニュートリノの反跳によって、娘核 ^{142}Nd の速度が変化したことを示している。電子冷却は測定中も適用されているため、数秒以内に娘核固有の周波数に収束しているのが観測されている。約 1 分の崩壊観測時間の後、再びキッカー電磁石を励磁して ESR 内部に残っている粒子をすべて蹴り出し、次のサイクルを始めた。このプロセスを十分な統計量が得られるまで続けた。トータル 1 万 6 千以上の質の良いショットキースペクトルを約 1 年かけて丁寧に解析した。

4. 研究成果

(1) GSI 研究所蓄積リング ESR での実験結果

2014 年 10 月のビームタイムで得られた水素様電子状態 $^{142}\text{Pm}^{60+}$ の崩壊曲線を下に示す。結果として、2008 年に報告された振動成分は観測されなかった。但し、コラボレーション内で結果について最終合意に達していないため、予備的な結果であることを付しておく。

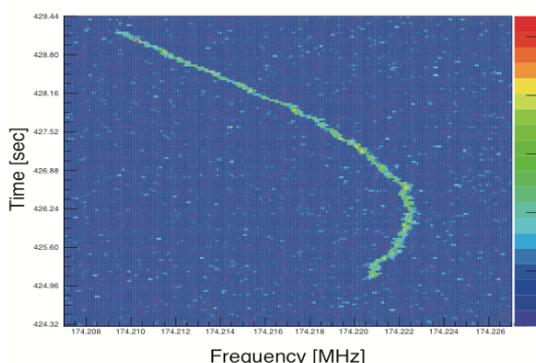


(2) 理研 RIBF 蓄積リングのための開発結果
理研の稀少 RI リングにおいて、短寿命核のベータ崩壊を多価イオン状態で飛行中に観測するために、以下の検出器開発を行った。

①共鳴ショットキーピックアップ

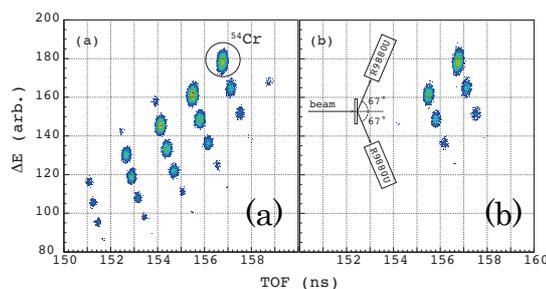
2015年6月、理研 RIBF の稀少 RI リングのコミッションを行った。エネルギー核子あたり 168MeV の Kr ビームを用いて、蓄積リングへの個別入射に初めて成功した(個別入射に不可欠な高速伝送線である同軸管も埼玉大によって設計製作)。

稀少 RI リングに Kr イオンを1つだけ貯蔵して、共鳴ショットキーピックアップから得られたショットキースペクトルが下図である。縦軸はイオン入射時からの時刻を示し、横軸は共鳴ショットキーピックアップの共鳴周波数(約 174MHz)である。周波数分解能は 1.3×10^{-6} で、最高で約 4 秒の貯蔵に成功した。すなわち、短寿命核の寿命測定はすぐにも可能な性能であった。尚、信号が2次関数的に曲がっているのは、残留ガスとの衝突によるエネルギー損失のためである。



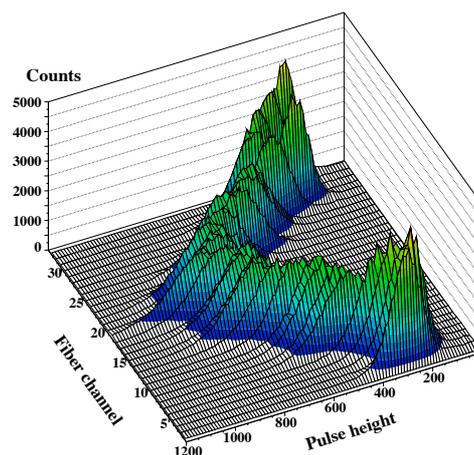
②チェレンコフ検出器

稀少 RI リングで短寿命核の寿命を測定するには、対象となる核種1つだけを入射、蓄積する必要がある。しかし、ウランビームの飛行核分裂では、通常の ΔE -TOF 法の分離識別法では単一ビームを作ることはできない。そこでチェレンコフ光の性質を利用して粒子の速度を選択することができる検出器を新たに開発した。チェレンコフ検出器は全反射型が多用されているが、チェレンコフ光の放出角 θ は、ラジエーターの屈折率 n として、 $\cos\theta = 1/n\beta$ とかける。そこでチェレンコフ光の放出角を測定すれば粒子の速度を選択することができる。右図は一例で、左(a)はチェレンコフ光の選択なしで多くの2次ビームを生成した場合で、右(b)はチェレンコフ光の条件を適用して2次ビームの純度を上げた場合である。ラジエーターとして TAFD30 (0.5mm)を用いて、図(b)の挿入にあるよう光センサはビームから 67° に設置した。このように速度(飛行時間 TOF)の選択に成功した。また、チェレンコフ光のコーン角を精密測定することで、最高 4×10^3 の速度分解能を得ている。



③ファイバーを利用した新規な重イオン位置検出器

オプティカルファイバーを利用した新規な重イオン位置検出器を開発した。通常、シンチレーターを重イオンビームが貫通すると、シンチレーション光が等方に放出される。この光の空間分布をファイバーを用いてサンプリングし、光の分布からビーム位置を再構成するものである。一例を下に示す。発光をサンプリングしたファイバーの位置に依存して、発光のパルス高が変化している様子がわかる。この検出器では、位置分解能 1.1mm、検出効率 98%を達成した。

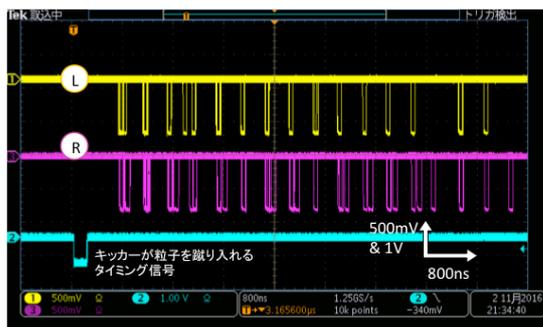


また、蓄積リングの周長に沿って配置する長いファイバーシンチレーション検出器の試作機のビーム試験も行った。19mのファイバーに対して、位置分解能約 3cm という良好な結果を得た。

④デルタ線を利用した周回モニター

原理上、稀少 RI リングは短寿命核を1粒子しか貯蔵することができない。したがって大強度のビームを貯蔵する通常の蓄積リングのビームモニターは使えない。ショットキーピックアップは1粒子にも感度が高い非破壊検出器として優れているが、十分長い測定時間を要する。そこで、重イオンビームが薄膜を貫通した時に発生する高エネルギー電子、すなわちデルタ線を利用した周回モニターを開発した。試作機では、アルミニウム箔 $12\mu\text{m}$ からのデルタ線を 100mm 角のプラスチックシンチレーターで捉え、光センサには MPPC を用いた。この試作機をビーム試験し

た結果、時間分解能 2ns, 検出効率 90%を達成した。改良機を稀少 RI リングに実装し、稀少 RI リングでの粒子周回を確認することに成功した。下図は ^{78}Ge をメインにした 2 次ビームを入射、蓄積したときのオンロスコープの画像である。一番下の青色の信号がキッカー励磁すなわち入射のタイミングを示す。黄色とピンク色の信号はデルタ線検出器 2ch 分の信号それぞれのディスクリミネーター出力である。粒子の周回による周期パルスの観測に成功した。解析の結果、この周回モニターの周期決定精度は 0.3ns であった。



このように理研の稀少 RI リングにおいて短寿命核の寿命測定の準備は着実に進んでおり、近々に測定を始められる予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 28 件)

- ① R. Knoebel, M. Diwisch, F. Bosch, D. Boutin, L. Chen, C. Dimopoulou, A. Dolinskii, B. Franczak, B. Franzke, H. Geissel, T. Yamaguchi(35 人中 35 番目), 他 24 名, First direct mass measurements of stored neutron-rich $^{129,130,131}\text{Cd}$ isotopes with FRS-ESR, Phys. Lett. B 754 (2016) 288-293. 査読有. doi:10.1016/j.physletb.2016.01.039
- ② R. Knoebel, M. Diwisch, H. Geissel, Yu. A. Litvinov, Z. Patyk, W. R. Plass, C. Scheidenberger, B. Sun, H. Weick, F. Bosc, T. Yamaguchi(38 人中 38 番目), 他 27 名, New results from isochronous mass measurements of neutron-rich uranium fission fragments with the FRS-ESR-facility at GSI, Eur. Phys. J. A 52 (2016) 138-148. 査読有. doi:10.1140/epja/i2016-16138-6
- ③ J.W. Zhao, B.H. Sun, I. Tanihata, S. Terashima, L.H. Zhu, A. Enomoto, D. Nagae, T. Nishimura, S. Omika, A. Ozawa, Y. Takeuchi, T. Yamaguchi, Reaching time resolution of less than 10 ps with plastic scintillation detectors, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 823 (2016) 41-46. 査読有. doi:10.1016/j.nima.2016.03.106
- ④ X. Xu, P. Zhang, P. Shuai, R. J. Chen, X. L. Yan, Y. H. Zhang, M. Wang, Yu. A. Litvinov, H. S. Xu, T. Bao, Y. Yamaguchi(38 人中 32 番目), T. Yamaguchi(38 人中 33 番目), 他 26 名, Identification of the lowest $T=2, J^{\pi}=0^{+}$ isobaric analog state in ^{52}Co and its impact on the understanding of β -decay properties of ^{52}Ni , Phys. Rev. Lett. 117 (2016) 182503/1-6. 査読有. doi:10.1103/PhysRevLett.117.182503
- ⑤ B. S. Gao, M. A. Najafi, D. R. Atanasov, K. Blaum, F. Bosch, C. Brandau, X. C. Chen, I. Dillmann, Ch. Dimopoulou, Th. Faestermann, T. Yamaguchi(33 人中 30 番目), 他 22 名, Experiments with Stored Highly Charged Ions at the Border between Atomic and Nuclear Physics, Physics Procedia 66 (2015) 28-38. 査読有. doi:10.1016/j.phpro.2015.05.006
- ⑥ D. Atanasov, K. Blaum, F. Bosch, C. Brandau, P. Buehler, X. Chen, I. Dillmann, T. Faestermann, B. Gao, H. Geissel, T. Yamaguchi(47 人中 45 番目), for the FRS-ESR, ILIMA, SPARC and TBWD Collaborations, 他 36 名, Between atomic and nuclear physics: radioactive decays of highly-charged ions, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys 48 (2015) 144024/1-16. 査読有. doi:10.1088/0953-4075/48/14/144024
- ⑦ S. Omika, T. Yamaguchi, M. Fukuda, A. Kitagawa, S. Matsunaga, D. Nagae, D. Nishimura, T. Nishimura, A. Ozawa, S. Sato, K. Sawahata, T. Suzuki, Y. Takeuchi, Spatial distributions of photons in plastic scintillator detected by multi-anode photomultiplier for heavy-ion position determination, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 797 (2015) 247-254. 査読有. doi:10.1016/j.nima.2015.06.050
- ⑧ F. Suzuki, J. Zenihiro, Y. Abe, A. Ozawa, T. Suzuki, T. Uesaka, M. Wakasugi, K. Yamada, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi, and Rare-RI Ring collaboration, Performance of a resonant Schottky pick-up for the Rare-RI Ring project, JPS Conf. Proc. 6 (2015) 030119/1-4. 査読有. doi:10.7566/JPSCP.6.030119
- ⑨ Y. Yamaguchi, H. Miura, M. Wakasugi, Y. Abe, A. Ozawa, F. Suzuki, A. Tokuchi, T. Uesaka, T. Yamaguchi and Y. Yano, Fast-kicker system for rare-RI ring, Phys. Scr. T166 (2015) 014056/1-4. 査読有. doi:10.1088/0031-8949/2015/T166/014056
- ⑩ F. Suzuki, Y. Abe, A. Ozawa, T. Suzuki, T. Uesaka, M. Wakasugi, K. Yamada, T. Yamaguchi, Y. Yamaguchi and J. Zenihiro and the Rare-RI Ring collaboration, A resonant Schottky pick-up for Rare-RI Ring at RIKEN, Phys. Scr. T166 (2015) 014059/1-4. 査読有. doi:10.1088/0031-8949/2015/T166/014059
- ⑪ T. Yamaguchi for the Rare-RI Ring collaboration, Present status of Rare-RI Ring facility at RIBF, Phys. Scr. T166 (2015) 014039/1-6. 査読有.

- doi:10.1088/0031-8949/2015/T166/014039
- ⑫ Y. Abe, Y. Yamaguchi, M. Wakasugi, T. Uesaka, A. Ozawa, F. Suzuki, D. Nagae, H. Miura, T. Yamaguchi and Y. Yano, Isochronous field study of the Rare-RI Ring, Phys. Scr. T166 (2015) 014047/1-4. 査読有. doi:10.1088/0031-8949/2015/T166/014047
- ⑬ A. Akber, M. W. Reed, P. M. Walker, Yu. A. Litvinov, G. J. Lane, T. Kibedi, K. Blaum, F. Bosch, C. Brandau, J. J. Carroll, T. Yamaguchi(45人中45番目), 他34名, Increased isomeric lifetime of hydrogen-like ^{192m}Os , Phys. Rev. C 91 (2015) 031301(R)/1-4. 査読有. doi:10.1103/PhysRevC.91.031301
- ⑭ T. Yamaguchi, A. Enomoto, J. Kouno, S. Yamaki, S. Matsunaga, F. Suzuki, T. Suzuki, Y. Abe, D. Nagae, S. Okada, A. Ozawa, Y. Saito, K. Sawahata, A. Kitagawa, S. Sato, Cherenkov light detection as a velocity selector for uranium fission products at intermediate energies, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 766 (2014) 123-125. 査読有. doi:10.1016/j.nima.2014.04.021
- ⑮ F. Suzuki, T. Yamaguchi, and the Rare-RI Ring collaboration, Storage-ring mass spectrometry in Japan, JPSJ Conf. Proc. 1 (2014) 013058/1-4. 査読有. doi:10.7566/JPSJP.1.013058

[学会発表] (計11件)

- ① 若山清志「ファイバーシンチレーターとMPPCによる簡易な重イオンビーム位置検出器の開発」日本物理学会2017年年次大会, 2017年3月18日, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)
- ② 大甕舜一朗「稀少RIリングのための粒子周回モニターの開発」日本物理学会2017年年次大会, 2017年3月18日, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)
- ③ T. Yamaguchi, RI beam experiments with storage rings –present and future, 70th Fujihara seminar, 2016.7.6-8, 下田東急ホテル (静岡県下田市)
- ④ 洲崎ふみ「稀少RIリングのための共鳴ショットキーピックアップのオンライン性能試験」日本物理学会2016年年次大会, 2016年3月20日, 東北学院大学泉キャンパス (宮城県仙台市)
- ⑤ 大甕舜一朗「稀少RIリング個別入射方式のための同軸管開発」日本物理学会2015年秋季大会, 2015年9月27日, 大阪市立大学杉本キャンパス (大阪府大阪市)
- ⑥ T. Yamaguchi, Present status of the Rare-RI Ring facility at RIBF, 9th International Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (STORI'14), 2014.9.28-10.3, St Goar, Germany
- ⑦ F. Suzuki, A resonant Schottky pick-up for Rare-RI Ring at RIKEN, 9th International

Conference on Nuclear Physics at Storage Rings (STORI'14), 2014.9.28-10.3, St Goar, Germany (ポスター賞受賞)

- ⑧ T. Yamaguchi, Electron capture of ^{140}Pr and feasibility of storage ring experiments at RIKEN, EMMI Rapid Reaction Task Force, Non-Exponential Two-Body Weak Decays, 2014.7.6-10, Jena, Germany
- ⑨ F. Suzuki, Performance of a resonant Schottky pick-up for the Rare-RI Ring project, 2nd Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), 2014.6.1-6, 東京大学 (東京都文京区)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ne.phy.saitama-u.ac.jp/>

<http://ribf.riken.go.jp/R3/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山口 貴之 (YAMAGUCHI, Takayuki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10375595

(2)研究分担者

山口 由高 (YAMAGUCHI, Yoshitaka)

理化学研究所・仁科加速器研究センター・仁科センター研究員

研究者番号：40415328

長江 大輔 (NAGAE, Daisuke)

理化学研究所・仁科加速器研究センター・協力研究員

研究者番号：60455285

(3)連携研究者

若杉 昌徳 (WAKASUGI, Masanori)

理化学研究所・仁科加速器研究センター・室長

研究者番号：70250107

(4)研究協力者

鈴木 健 (SUZUKI, Takeshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10196842

洲崎 ふみ (SUZAKI, Fumi)

埼玉大学・理工学研究科・大学院生

大甕 舜一朗 (OMIKA, Syunichiro)

埼玉大学・理工学研究科・大学院生

若山 清志 (WAKAYAMA, Kiyoshi)

埼玉大学・理工学研究科・大学院生