

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340072

研究課題名（和文）高速不安定核ビームを用いた p 核生成にかかわる天体核反応断面積の決定

研究課題名（英文）Determination of stellar reaction cross sections relevant to p-nuclei synthesis by using fast radioactive isotope beam

研究代表者

米田 健一郎 (YONEDA KEN-ICHIRO)

独立行政法人理化学研究所・多種粒子測定装置開発チーム・専任研究員

研究者番号：50333315

研究成果の概要（和文）：

本研究のねらいは、中性子欠損安定元素 p 核の起源を高速 RI ビームの反応実験を通じて探索することである。このためには、約 90mmx90mm の大きな有感領域をもったストリップシリコン検出器と、その読み出しの回路の開発が必要になる。とりわけ読み出し回路には、約 5000 倍の大ダイナミックレンジと、数千チャンネルを同時処理する高密度集積性が要請され、新規に開発が必要となる。本研究では、シリコンストリップ検出器、読み出し回路の設計開発を行い、要請を満たす回路の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：

The aim of the present study is to explore the origin of the neutron-deficient stable p-nuclei through the reaction measurements using radioactive isotope beams. For this experiment, strip-silicon detectors of a large sensitive area (~90mmx90mm) and their readout circuits are needed. In particular, the readout circuit require the large dynamic range of about 5000 and capability of high density signal processing of several thousand channels, and must be newly developed. In this study, the silicon strip detectors and readout circuits are newly designed, and succeeded to develop the circuits that satisfy the requirements.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2011 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：数物系科学

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：天体核物理、RI ビーム

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、中性子欠損安定核 p 核元素の起源を、高速 RI ビームの反応実験を通じて調べるものである。重元素の合成は、天体での中性子捕獲、陽子捕獲などの原子核反応を通じて起こるとされているが、これまでの研究では元素組成を再現するに至っていない。特に、

中性子捕獲反応経路では生成できない安定同位体 (p 核) は、天然存在比が大きいものもあるにもかかわらず ( $^{92}\text{Mo}$  で 14.84%、 $^{96}\text{Ru}$  で 5.54% など) その起源は依然として不明である。どのようにして多量に生成したのか、その過程を解明する研究が待たれている。爆発的水素燃焼過程で p 核生成に大きく

寄与したと考えられる陽子捕獲反応の断面積を高速 RI ビームの反応実験を通じて決定し、p 核生成メカニズムの全容解明への端緒を切り開く。

## 2. 研究の目的

重元素は、天体での陽子捕獲反応、中性子捕獲反応などの原子核反応を通じて合成されたとされている。p 核の生成は、主に超新星爆発やガンマ線バーストなどの高温高密度環境下で起こる、陽子捕獲反応と  $\beta^+$  反応の連鎖的反応により合成されてきたとされている。その過程には陽子過剰の RI が関与するため不確定な点が多くあり、p 核の合成過程は依然として不明である。この不確定さを解消するために、陽子捕獲反応と逆過程に対応するクーロン分解反応の測定を行い、陽子捕獲反応の速度を決定することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

理化学研究所の加速器施設で供給される陽子過剰の RI ビームを鉛標的に照射する。高速の不安定核が標的からのクーロン場で仮想光子を吸収し、陽子とその他の部分に分解する。この過程で前方に飛来する陽子と残留核の運動量を同時に測定し、その分解がどのような共鳴状態を経由して起こり、その強さがどの程度なのかを決定する。この情報から、その逆過程である陽子捕獲反応の速さを、温度、密度をパラメータとして決定することができる。

この実験で粒子の運動量を測定するために理化学研究所の加速器施設にある磁気スペクトロメータ SAMURAI を使用する。粒子の放出角度を測定するための検出器が標的直下流に必要なが、陽子と  $Z=50$  程度の荷電粒子が同時に検出器に入射し両方の位置情報を導出する必要があるため、従来使用していたガス検出器は使用できない。そこでこの目的のためにシリコンストリップ検出器とその読み出し回路を新規に作成した。

## 4. 研究成果

シリコンストリップ検出器として、有感面積の大きさ約  $90\text{mm} \times 90\text{mm}$ 、ストリップ幅約  $200\ \mu\text{m}$  のものを製作し、それを重ねて使用することにした。この検出器からの信号読み出しには、ダイナミックレンジ約  $5000$  倍をカバーし、さらに数千チャンネルの信号を処理する高密度処理能力を有している必要がある、そのような回路は存在していなかったため新規に設計、開発を行った。大ダイナミックレンジを確保するため、まずプリアンプ前に信号を分割し、高ゲイン用のプリアンプ、低ゲイン用のプリアンプに送る ASIC 回路を作成した。この場合高ゲイン用の

回路に大信号が来ると回路が飽和し低ゲイン用の回路の線形性が著しく損なわれる。そこで高ゲイン用の回路に飽和信号に対して電荷を逃がす回路を ASIC 内で付加的に設置し、 $5000$  倍の信号まで低ゲイン回路が正常に動作するようにした。

多チャンネル処理のためには、アメリカの Texas A&M のグループと Washington University in St. Louis のグループで製作している ASIC の読み出し回路を導入した。この回路は 1 チップで 16 チャンネルの波高デジタル化、時間情報デジタル化を行う回路で、これを本研究での使用に適合するように設計に手を入れた。

一連の設計製作した検出器、読み出し回路に対して放射線医学総合研究所で供給される重イオンビーム、陽子ビームを使用して動作確認、性能評価を行った。高ゲイン回路で陽子を、低ゲイン回路で重イオンを問題なく測定し、多チャンネル処理も問題なく動作させることに成功した。信号の線形性、分解能も問題ないことを確認した。現在この成果を論文にまとめている。

## 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 18 件)

1. Y. Togano, K. Kurita, K. Yoneda et al., “Astrophysical reaction rate of  $^{30}\text{S}(p, \gamma)^{31}\text{Cl}$  studied by Coulomb dissociation”, Proceedings of Science (11<sup>th</sup> Symposium on Nuclei in the Cosmos) (2010), 228 - 232, 査読なし.
2. Y. Togano, K. Kurita, K. Yoneda, et al., “Experimental Investigation of the Stellar Reaction  $^{30}\text{S}(p, \gamma)^{31}\text{Cl}$  via Coulomb Dissociation”, Journal of Physics: Conference Series 312 (2010), 042025, 査読あり.
3. N. Aoi, K. Kurita, K. Yoneda et al., “Enhanced collectivity in  $^{74}\text{Ni}$ ”, Physics Letters B 692 (2010), 302 - 306, 査読あり.
4. Z. Elekes, Y. Togano, K. Yoneda et al., “Nuclear structure study of  $^{19,21}\text{N}$  by gamma spectroscopy”, Physical Review C 62 (2010), 027305, 査読あり.
5. P. Fallon, K. Yoneda et al., “Two-proton knockout from  $^{32}\text{Mg}$ : Intruder amplitudes in  $^{30}\text{Ne}$  and

- implications for the binding of  $^{29,31}\text{F}$ ”, *Physical Review C* 81 (2010), 041302, 査読あり.
6. E. Yu. Nicolskii, K. Yoneda, Y. Togano et al., “Search for  $^7\text{H}$  in  $^2\text{H}+^8\text{H}$  collisions”, *Physical Review C* 81 (2010), 064606, 査読あり.
  7. W. A. Peters, K. Yoneda et al., “Neutron knockout of  $^{12}\text{Be}$  populating neutron-unbound states in  $^{11}\text{Be}$ ”, *Physical Review C* 83 (2011), 057304, 査読あり.
  8. Y. Togano, K. Kurita, K. Yoneda et al., “Resonance states in  $^{27}\text{P}$  using Coulomb dissociation and their effect on the stellar reaction  $^{26}\text{Si}(p, \gamma)^{27}\text{P}$ ”, *Physical Review C* 84 (2011), 035808, 査読あり.
  9. Z. X. Tao, K. Yoneda et al., “Recoil proton tagged knockout reaction for  $^8\text{He}$ ”, *Physics Letters B* 707 (2012), 46 – 51, 査読あり.
  10. N. Imai, K. Yoneda et al., “Isobaric analog resonances of the  $N=21$  nucleus  $^{35}\text{Si}$ ”, *Physical Review C* 85 (2012), 034313, 査読あり.
  11. K. Yoneda, “Nuclear astrophysics studies by SAMURAI spectrometer in RIKEN RIBF”, *AIP Conference Proceedings* 1484 (2012), 246-252, 査読あり.
  12. K. Yoneda, “SAMURAI A Large-Acceptance Spectrometer in RIBF”, *Nuclear Structure Problems: Proceedings of the French Japanese Symposium* (2012), 242 – 247, 査読なし.
  13. K. Tshoo, K. Yoneda et al., “ $N=16$  Spherical Shell Closure in  $^{24}\text{O}$ ”, *Physical Review Letters* 109 (2012), 022501, 査読あり.
  14. Y. Togano, K. Kurita, K. Yoneda, et al., “Hindered Proton Collectivity in  $^{28}_{16}\text{S}_{12}$ : Possible Magic Number at  $Z=16$ ”, *Physical Review Letters* 108 (2012), 222501, 査読あり.
  15. S. Takeuchi, K. Yoneda et al., “Well Developed Deformation in  $^{42}\text{Si}$ ”, *Physical Review Letters* 109 (2012), 182501, 査読あり.
  16. N. Kobayashi, K. Yoneda et al., “One- and two-neutron removal reactions from the most neutron-rich carbon isotopes”, *Physical Review C* 86 (2013), 054604, 査読あり.
  17. H. Ueno, K. Yoneda et al., “beta-delayed neutron and gamma-ray spectroscopy of  $^{17}\text{C}$  utilizing spin-polarized  $^{17}\text{B}$ ”, *Physical Review C* 87 (2013), 034316, 査読あり.
  18. Y. Matsuda, K. Yoneda et al., “Elastic scattering of protons from  $^9\text{C}$  with 290 MeV/nucleon  $^9\text{C}$  beam”, *Physical Review C* 87 (2013), 034614, 査読あり.
- [学会発表] (計 11 件)
1. 米田健一郎, 「SAMURAI における物理アウトプットの展望」、日本物理学会第 68 回年次大会会、2013 年 3 月 26 日～3 月 29 日、広島大学東広島キャンパス、東広島市
  2. K. Yoneda, “Nuclear Astrophysics Studies by SAMURAI spectrometer in RIKEN RIBF, the 11<sup>th</sup> International Symposium on Origin of Matter and Evolusion of Galaxies (OMEG11)”, Nov 15, 2011, Wako, Japan.
  3. Y. Togano, K. Yoneda, “Coincidence measurements of heavy ion and protons with SAMURAI”, SAMURAI International Workshop 2011, March 10, 2011, Wako, Japan.
  4. K. Yoneda, “Overview of SAMURAI”, SAMURAI International Workshop 2011, March 9, 2011, Wako, Japan.
  5. K. Yoneda, “SAMURAI A Large-Acceptance Spectrometer in RIBF”, LIA Symposium 2011, January 7, 2011, Wako, Japan.
  6. Y. Togano, K. Yoneda, “Investigation of stellar proton capture reactions on proton-rich nuclei using Coulomb dissociation”, SAMURAI Workshop – Towards first experiments, November

23, 2010, Wako, Japan.

7. K. Yoneda, “HI-proton coincidence measurement with SAMURAI”, SAMURAI Workshop - Towards first experiments, November 22, 2010, Wako, Japan.
8. K. Yoneda, “A New Spectrometer in RIBF - SAMURAI”, Colloquium in Texas A&M University, November 8, 2010, College Station, USA.
9. M. Kurokawa, A. Taketani, Y. Togano, K. Yoneda, et al., “Charge sensitive preamplifier with a wide dynamic range”, 2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Nov 1, 2010, Tennessee, USA.
10. K. Yoneda, “A New Spectroscopy in RIBF - SAMURAI”, the 9<sup>th</sup> CNS-EFES Summer School, August 23, 2010, Wako, Japan.
11. Y. \_\_\_\_\_ Togano, “Experimental Investigation of the Stellar Reaction  $30\text{S}(p, \gamma)31\text{Cl}$  via Coulomb Dissociation”, International Nuclear Physics Conference 2010 (INPC2010), July 5, 2010, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

米田 健一郎 (YONEDA KEN-ICHIRO)

独立行政法人理化学研究所・多種粒子測定装置開発チーム・専任研究員

研究者番号：50333315

### (2) 研究分担者

梅野 泰宏 (TOGANO YASUHIRO)

独立行政法人理化学研究所・櫻井R I 物理研究室・基礎科学特別研究員

研究者番号：20517643

竹谷 篤 (TAKETANI ATSUSHI)

独立行政法人理化学研究所・計測技術チーム・チームリーダー

研究者番号：30222095

栗田 和好 (KURITA KAZUYOSHI)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：90234559

### (3) 連携研究者

西村 俊二 (NISHIMURA SHUNJI)

独立行政法人理化学研究所・櫻井R I 物理研究室・前任研究員

研究者番号：90272137