

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12401  
研究種目：基盤研究(A) (一般)  
研究期間：2012～2015  
課題番号：24244024  
研究課題名(和文) Ni 同位体の中性子スキンに関する研究

研究課題名(英文) Neutron skin of Ni isotopes

## 研究代表者

鈴木 健 (SUZUKI, Takeshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10196842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 24,500,000円

研究成果の概要(和文)：中性子スキンは原子核衝突の際の、反応断面積測定と荷電変化断面積半径の測定を通じて「陽子分布半径と中性子分布半径の差」に対応する物理量として求める事が出来る。Ni同位体は2重魔法数核を含み、非対称度が0～0.28と変化するので原子核の状態方程式(EOS)のパラメーター決定・中性子星の構造に迫る事が出来る。

当初ドイツ・GSIで実験する予定であったが本番実験を行えない事情が発生し、急遽国内の同等加速器施設である理化学研究所で本番実験を行う事に変更を余儀なくされた。このため、荷電変化断面積測定用原子番号識別検出器(イオンチェンバー)の製作が新たに要求され時間を要したがZ分解能4の検出器が完成している。

研究成果の概要(英文)：Neutron skin can be deduced via simultaneous and independent measurement of the reaction cross sections and the charge changing cross sections. Ni isotopes, including doubly magic nucleus  $^{78}\text{Ni}$ , cover asymmetric parameter from 0 to 0.28. Thus the determination of the neutron skin in Ni isotopes may understand the nuclear equation of state via the density derivative coefficient, and thus the structure of the neutron star.

Originally the measurements were planned at GSI, Germany. However the upgrade plan at GSI forced to shift the measurement at RIKEN, Japan. Thus the research & development of an Ion-chamber (IC, for the atomic-number identification) was newly required. As a result, new the IC with Z-resolution of 4-sigma separation is now completed. Now we are ready for the experiment.

研究分野：原子核物理学(実験)

キーワード：中性子スキン 反応断面積 荷電変化断面積 中性子分布半径 陽子分布半径

1. 研究開始当初の背景

・荷電変換断面積の測定から陽子分布半径を導出できるという新手法の確立によって、従来の中性子スキンを決定できる核種の制限が除かれた事。  
 ・中性子スキン厚はEOSの対称エネルギー係数と相関がある事が知られているにも関わらず、現状では、同一の原子核についても長い誤差棒の範囲で一致していないものが多々あり、そのスローブを決定するには至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、<sup>56-78</sup>Ni 同位体の中性子スキン厚を精度約1%で決定して、中性子星の内部構造にも言及可能な、非対称な核の状態方程式(EOS)の対称エネルギー係数を決定する事である。

3. 研究の方法

研究成果の概要でも触れたように当初ドイツ・GSI で実験する予定であったが本番実験を行えない事情が発生し、急遽国内の同等加速器施設である理化学研究所で本番実験を行う事に変更を余儀なくされた。このため、真空中に設置する荷電変換断面積測定用原子番号識別検出器(イオンチェンバー)の製作が新たに要求され時間を要した。核破砕片生成分離装置を用いて相互作用断面積と荷電変換断面積の同時測定をトランスミッション法にて行い、実験結果から核物質半径と陽子分布半径をそれぞれ導出し中性子スキン厚を決定するものである。

4. 研究成果

当初研究目的に掲げた成果は未だ得られていないがZ分解能4の原子番号識別検出器が完成している。

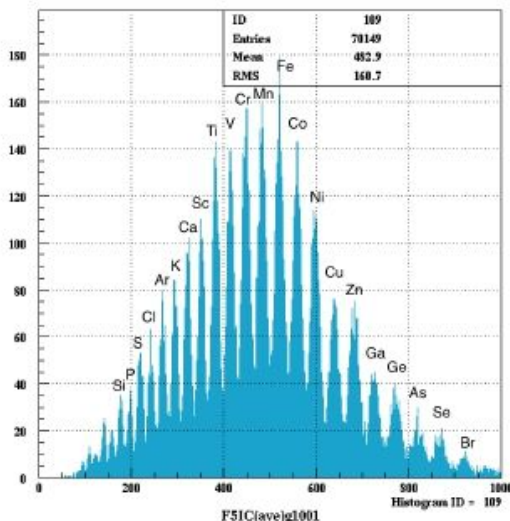


図1 イオンチェンバーのスペクトル

図1はP10ガスを1002 hPa充填し高電圧を400V印加したときのイオンチェンバーのスペクトルである。増幅器の時定数は2μsである。このスペクトルは<sup>82</sup>Kr(核子毎480MeV)+<sup>9</sup>Beの入射核破砕反応のラン時に取得したものである。このピークを3つずつ、それぞれガウシアン3つの足し合わせによってフィッティングした。具体的には  $f(x) = P_1 \exp(-((x - P_2)^2 / 2P_3^2)) + P_4 \exp(-((x - P_5)^2 / 2P_6^2)) + P_7 \exp(-((x - P_8)^2 / 2P_9^2))$  という関数を用い、 $P_1 \sim P_9$ をパラメータとしてフィッティングした。その結果  $D(Z) = 2 * 2.35 (Z) / [\text{mean}(Z + 1) - \text{mean}(Z - 1)]$  と分解能を定義すると図2のようになり隣接する(今の場合には<sup>28</sup>Niに対して<sup>27</sup>Coと<sup>29</sup>Cu)Zのものを2.35/(0.63)と分離出来ている。これは本番実験時に要求される隣のピークからの混入率を上回る性能が達成されており準備は整った。

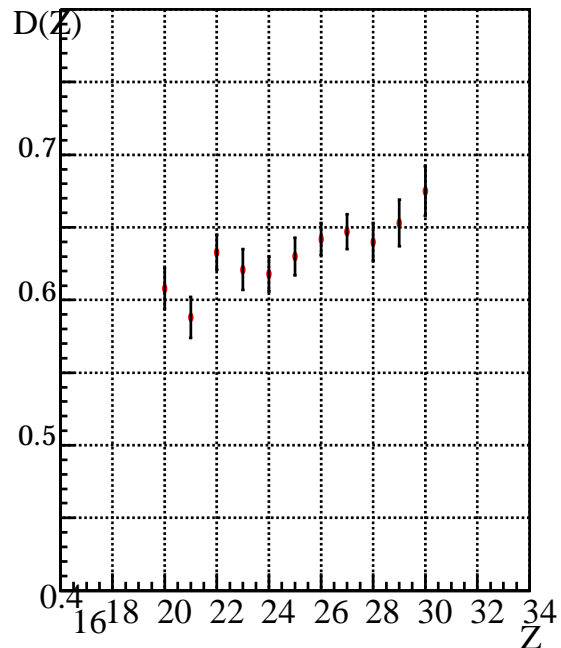


図2. 分解能のZ番号依存性

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) 全て査読付き

[雑誌論文](計 19件)

T. Izumikawa (1番目), M. Fukuda (2番目), T. Ohtsubo (3番目) 総員5名

*NMR study of boron in diamond*  
 Hyperfine Interactions, 231, 11-14

S. Omika, T. Yamaguchi (2番目), M. Fukuda (3番目), T. Suzuki (12番目) 総員13名

*Spatial distributions of photons in plastic scintillator detected by multi anode photomultiplier for heavy-ion position determination*

Nucl. Instr. and Meth. A797,(2015) 247-254

M. Mihara, T. Izumikawa (20 番目), T. Ohtsubo (21 番目), D. Nishimura (23 番目), T. Suzuki (24 番目), T. Yamaguchi (24 番目) 総員 35 名  
*Production of Spin Polarized  $^{58}\text{Cu}$  and its Magnetic Moment*  
JPS Conf. Proc. 6, (2015) 030114/1-3  
M. Fukuda (1 番目), D. Nishimura (3 番目), T. Suzuki (18 番目), T. Yamaguchi (19 番目), T. Ohtsubo (25 番目), T. Izumikawa (26 番目) 総員 29 名  
*Nucleon Density Distribution of the Proton Drip-Line Nucleus  $^{12}\text{N}$  Studied via Reaction Cross Sections*  
JPS Conf. Proc. 6, (2015) 030103/1-3  
M. Tanaka, M. Fukuda (2 番目), D. Nishimura (3 番目), T. Ohtsubo (13 番目), T. Izumikawa (14 番目), T. Suzuki (18 番目), T. Yamaguchi (19 番目) 総員 28 名  
*Reaction Cross Sections for  $^8\text{He}$  and  $^{14}\text{B}$  on Proton target for the Separation of Proton and Neutron Density Distributions*  
JPS Conf. Proc. 6, (2015) 020026/1-5  
G. W. Fan, M. Fukuda (3 番目), D. Nishimura (4 番目), T. Izumikawa (9 番目), T. Ohtsubo (18 番目), T. Suzuki (24 番目), T. Yamaguchi (26 番目) 総員 27 名  
*Density distribution of  $^8\text{Li}$  and  $^8\text{B}$  and capture reaction at low energy*  
Phys. Rev. C 91 (2015) 014614/1-5  
A. Ozawa, T. Ohtsubo (3 番目), M. Fukuda (6 番目), T. Izumikawa (13 番目), D. Nishimura (25 番目), T. Suzuki (37 番目), T. Yamaguchi (43 番目) 総員 49 名  
*Charge-changing cross-sections of  $^{30}\text{Ne}$ ,  $^{32}\text{Ne}$ ,  $^{33}\text{Ne}$  with a proton target*  
Phys. Rev. C 89 (2014) 044602/1-5  
T. Moriguchi, M. Fukuda (5 番目), T. Ohtsubo (14 番目), T. Suzuki (18 番目), T. Yamaguchi (21 番目) 総員 21 名  
*Density distribution of  $^{14}\text{Be}$  from reaction cross-section measurements*  
Nucl. Phys. A 929 (2014) 83-93  
G. W. Fan, M. Fukuda (2 番目), D. Nishimura (3 番目), T. Izumikawa (8 番目), T. Ohtsubo (17 番目), T. Suzuki (23 番目), T. Yamaguchi (25 番目) 総員 27 名  
*Structure of  $^8\text{Li}$  from a reaction cross-section measurement*  
Phys. Rev. C 90 (2014) 044321/1-6  
S. Yamaki, D. Nishimura (3 番目), M. Fukuda (8 番目), T. Izumikawa (17 番目), T. Ohtsubo (37 番目), T. Suzuki (47 番目), and T. Yamaguchi (48 番目) 総員 48 名  
*Charge-changing interactions probing point-proton radii of nuclei*  
Eur. Phys. J. 66 (2014) 03099/1-4  
S. Suzuki, T. Ohtsubo (3 番目), D. Nishimura (4 番目), M. Fukuda (5 番目), T. Suzuki (8 番目), T. Yamaguchi (9 番目),

T. Izumikawa (24 番目) 総員 47 名  
*Measurements of interaction cross-sections for  $^{22-35}\text{Na}$  isotopes*  
Eur. Phys. J. 66 (2014) 03084/1-4  
M. Takechi, D. Nishimura (2 番目), M. Fukuda (3 番目), T. Ohtsubo (4 番目), T. Suzuki (6 番目), T. Yamaguchi (7 番目), T. Izumikawa (23 番目) 総員 51 名  
*Evidence of halo structure in  $^{37}\text{Mg}$  observed via reaction cross-sections and intruder orbitals beyond the island of inversion*  
Phys. Rev. C 90 (2014) 061305(R)/1-5  
M. Takechi, D. Nishimura (3 番目), M. Fukuda (4 番目), T. Ohtsubo (5 番目), T. Suzuki (7 番目), T. Yamaguchi (8 番目), T. Izumikawa (13 番目) 総員 56 名  
*Search for halo nucleus in Mg isotopes through the measurements of reaction cross sections towards the vicinity of neutron drip line*  
EPJ Web of Conferences 66, (2014) 02101/1-4  
S. Yamaki, T. Yamaguchi (2 番目), T. Suzuki (6 番目), M. Fukuda (9 番目), T. Izumikawa (13 番目), D. Nishimura (25 番目), T. Ohtsubo (27 番目) 総員 38 名  
*Systematic study of individual charge-changing cross sections of intermediate-energy secondary beams*  
Nucl. Instr. and Meth. B317, (2013) 774-778  
T. Yamaguchi (1 番目), T. Izumikawa (3 番目), T. Suzuki (6 番目), T. Ohtsubo (19 番目) 総員 23 名  
*Performance of high-resolution position-sensitive detectors developed for storage-ring decay experiments*  
Nucl. Instr. and Meth. B317, (2013) 697-700  
P. Kienle, T. Izumikawa (18 番目), T. Suzuki (36 番目), T. Yamaguchi (45 番目), T. Ohtsubo (47 番目) 総員 47 名  
*High-resolution measurement of the time modulated orbital electron capture and of the  $^+$  decay of hydrogen-like  $^{142}\text{Pm}^{60+}$  ions*  
Phys. Lett. B726, (2013) 638-645  
T. Moriguchi, M. Fukuda (5 番目), D. Nishimura (13 番目), T. Ohtsubo (14 番目), T. Suzuki (18 番目), T. Yamaguchi (21 番目) 総員 21 名  
*Density distribution of  $^{11}\text{Li}$  deduced from reaction cross-section measurements*  
Phys. Rev. C 88 (2013) 024610/1-7  
L. Chen, T. Ohtsubo (27 番目) and T. Yamaguchi (43 番目) 総員 43 名  
*Direct Observation of Long-Lived Isomers in  $^{212}\text{Bi}$*   
Phys. Rev. Lett. 110, (2013) 122502/1-5  
R. Atanasov, T. Izumikawa (13 番目), T. Ohtsubo (26 番目), T. Suzuki (36 番目) and T. Yamaguchi (42 番目) 総員 42 名

*Half-life measurements of stored fully ionized and hydrogen-like  $^{122}\text{I}$  ions*  
Eur. Phys. J. 48, (2012) 22/1-6

〔学会発表〕(計 13件)

福田光順, 武智麻耶, 西村太樹, 大坪隆, 鈴木健, 山口貴之, 泉川卓司, 他  
Ni 実験結果の解析・荷電変化断面積・中性子スキン・核変形について

理研 RIBF-ULIC ミニワークショップ

2016年03月11日

理化学研究所(和光市・埼玉県)

只野奈津生, 福田光順, 他  
陽子ピックアップ反応における生成断面積のエネルギー依存性

日本物理学会

2015年09月27日~2015年09月30日

阪市立大学杉本キャンパス(大阪市・大阪府)

大甕舜一朗, 山口貴之, 他  
稀少 RI リング個別入射方式のための同軸管の開発

日本物理学会

2015年09月27日~2015年09月30日

阪市立大学杉本キャンパス(大阪市・大阪府)

山岡慎太郎, 福田光順, 他  
核子ピックアップ反応による核内核子運動量分布の研究

日本物理学会

2015年03月21日~2015年03月24日

早稲田大学(新宿区・東京都)

河野準平, 鈴木健, 他  
300MeV/u における陽子ピックアップ反応の系統的測定

日本物理学会

2014年03月27日~2014年03月30日

東海大学湘南キャンパス(平塚市・神奈川県)

T. Yamaguchi

*Cherenkov light detection as a velocity selector for uranium fission products at intermediate energies*

8<sup>th</sup> Int'l Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors

2013年12月02日~2013年12月06日(葉山町・神奈川県)

T. Yamaguchi

*Rare RI Ring project at RIKEN*

Sino-German Symposium on "High precision experiments with stored exotic and stable nuclei" 2013年11月07日~2012年11月10日(蘭州市・中国)

本間彰, 大坪隆, 他  
陽子過剰側 Mg 同位体の反応断面積測定

日本物理学会

2013年09月20日~2012年09月24日

高知大学(高知市・高知県)

T. Yamaguchi

*Charge-changing interactions probing point-proton radii of nuclei*

INPC2013 International Nuclear Physics Conference

2013年6月02日~2013年6月07日

(Firenze・Italy)

山木さやか, 山口貴之, 他  
核子あたり 300MeV での中重核の荷電変化断面積の系統的測定

日本物理学会

2012年09月11日~2012年09月14日

京都産業大学(京都市・京都府)

〔その他〕

ホームページ等

<http://park.saitama-u.ac.jp/~suzuki/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 健 (SUZUKI, Takeshi)  
埼玉大学・理工学研究科・教授  
研究者番号: 10196842

(2) 研究分担者

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

福田 光順 (FUKUDA, Mitsunori)  
大阪大学・理学系研究科・准教授  
研究者番号: 50218939

泉川 卓司 (IZUMIKAWA, Takuji)  
新潟大学・研究機構・准教授  
研究者番号: 60282985

大坪 隆 (OHTSUBO, Takashi)  
新潟大学・自然科学系・准教授  
研究者番号: 70262425

西村 太樹 (NISHIMURA, Daiki)  
東京理科大学・理工学部・助教  
研究者番号: 30612147