

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06340

研究課題名(和文) 極低運動量移行の電子弾性散乱による陽子電荷半径精密決定

研究課題名(英文) Precise determination of the proton charge radius by electron scattering off proton at ultra-low momentum transfer

研究代表者

須田 利美 (Suda, Toshimi)

東北大学・電子光理学研究センター・教授

研究者番号：30202138

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 133,200,000円

研究成果の概要(和文)：最も信頼度の高い(解析モデル依存性の小さい)陽子の電荷半径を決定するため、東北大学電子光理学研究センターの60-MeV電子直線加速器を利用した史上最低ビームエネルギーの電子・陽子弾性散乱の測定装置を建設し稼働させた。ビームエネルギー範囲、20 - 60 MeV、の電子ビームを陽子標的に照射するための新しい電子ビーム輸送系と、広い散乱角度、30-150度、を覆い高運動量分解能、0.1%、で散乱電子を測定するための散乱電子スペクトロメータを建設した。加速電子ビームを用いて装置性能評価を行い、測定系が設計通りの性能を有することを確認し、同時に電子・陽子弾性散乱過程の観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素の原子核である陽子の大きさ(電荷半径)の不定性が問題となっており(「陽子半径パズル」)、正確な陽子半径決定のため世界中で熾烈な研究競争が展開されている。陽子半径の不定性は、原子核物理学だけの問題にとどまらず、基礎物理定数であるRydberg定数の不定性に直結する。また「陽子半径パズル」は素粒子物理学の標準理論との関連もあり、現代物理学の重要な問題の一つとなっている。本研究の目標は、史上最低ビームエネルギーでの電子・陽子弾性散乱で最も信頼度の高い陽子半径を決定することである。本研究はそのわかりやすさから、新聞や科学雑誌の記事となりまた一般講演会や高校の授業等で数多く取り上げられている。

研究成果の概要(英文)：To determine the proton charge radius in the least-ever model-dependent way, a new beam line and an electron spectrometer have been constructed in the Research Center of Electron-Photon Science, Tohoku University. Employing the 60-MeV electron linac of the laboratory, this system enables the measurement of elastic electron scattering off proton at the lowest-ever electron beam energy. Covering the beam energy of  $E_e = 20 - 60$  MeV and a wide scattering angle coverage of 30 - 150 deg., the charge form factor at a very low momentum transfer region is experimentally extracted by the Rosenbluth technique. This is essential to determine the least model-dependent proton charge radius from electron scattering. The system has been shown to have required performance for the measurements including the momentum resolution, and the measurements of elastic electron scattering off proton has started.

研究分野：実験原子核物理学

キーワード：陽子電荷半径 電子散乱 電荷形状因子 陽子半径パズル Rosenbluth 分離法 電磁石スペクトロメータ

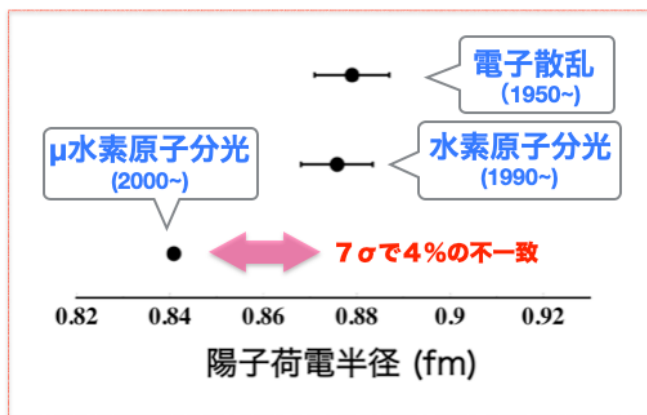
科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

2010年にミュオン粒子を使って測定された陽子のサイズ（陽子電荷半径）が長年電子で決定されてきた半径値と一致しないことが報告された（下図）。

素粒子物理学の標準理論では、電子とミュオン粒子は質量こそ違うものの同じ性質を持つ素粒子であると考えられているため、両方で決定される陽子電荷半径は一致するはずである。しかしながら実験データは深刻な不一致を示していたため「陽子半径パズル」と呼ばれScience誌やNature誌の表紙を飾る事態になった。

陽子は1世紀以上にわたり現代物理学の重要な研究対象であり続けているが、大きさ（電荷半径）という最も基本的な物理量にこのような不定性があることは大きな驚きであった。



陽子の電荷半径は、約半世紀前にR. Hofstadterらにより電子散乱実験で初めて $0.79 \pm 0.08$  fmと決定された（1961年ノーベル賞）。その後の電子散乱並びに1990年代に水素原子の分光測定からもRydberg定数とともに精度良く決定されるようになり、2010年には陽子の電荷半径推奨値として $0.8774 \pm 0.0057$  fmが発表された(CODATA2010)。ところが、2010年代になって測定された $\mu$ 水素原子（電子をミュオン粒子に置換した水素原子）の分光測定から決定された電荷半径は、 $0.84087 \pm 0.0039$  fmと、CODATA推奨値と $7\sigma$ で4%も食い違うことが明らかになり「陽子半径パズル」と呼ばれる事態となったのである。

陽子半径値は、陽子の基本的物理量としての重要さだけでなく、基礎物理定数であるRydberg定数決定の際に用いられている、また原子核構造の解明の際の入力パラメータでもあるため、その正確な半径値は大変重要な物理量である。

半径値の不一致の原因としては、実験データ自身の信頼性やその解釈のモデル依存性、 $\mu$ 水素での陽子分極等の寄与、QED計算の精度の問題、また最も「魅力的な」理由として電子・ミュオン粒子間の未知の相違、等々が指摘されているが、現時点で未だ理由は明らかになっていない。電子散乱データ解析のモデル依存性を考慮するとこの問題は解消する可能性が指摘され、同パズルの理解・解決のためには可能な限りモデル依存性を排した電荷半径決定の重要性が認識されるようになった。

### 2. 研究の目的

東北大学の低エネルギー（60 MeV）電子加速器を利用して史上最低エネルギーでの電子・陽子弾性散乱を実現し、過去前例がない極低運動量移行領域での測定から電子散乱としては可能な限りモデル依存性を排し最も信頼度の高い陽子の電荷半径値を決定することが本研究の目的である。

スピン1/2である陽子と電子との弾性散乱断面積は、電磁量子力学により

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto G_E^2(Q^2) + \alpha(\theta)G_M^2(Q^2)$$

で与えられる。ここで $Q$ は4元運動量移行（電子が散乱過程で陽子に与える反跳に相当）、 $G_E(Q)$ 、 $G_M(Q)$ はそれぞれ陽子の電荷形状因子と磁気形状因子である。陽子電荷半径は、

$$\langle r^2 \rangle \equiv -6 \left. \frac{dG_E(Q^2)}{dQ^2} \right|_{Q^2 \rightarrow 0}$$

と電荷形状因子の $Q \rightarrow 0$ での微分係数で定義される。したがって可能な限り低 $Q$ で測定する必要がある（ $Q = 0$ での測定は不可能）。すなわち低電子ビームエネルギーを利用した測定が必要だが、世界最先端の原子核研究用電子加速器はすべて高エネルギー化されたため一層小さな $Q$ での精密な測定は不可能な状況である。

本研究は、東北大学・電子光物理学研究センター電子直線加速器からの低エネルギー電子ビーム（20-60 MeV）で史上最低エネルギーでの電子・陽子弾性散乱測定を行う。広い散乱角度範囲（ $30 \leq \theta \leq 150^\circ$ ）を覆った弾性散乱断面積の絶対値測定からRosenbluth分離法で $G_E(Q)$ 、 $G_M(Q)$

を決定し、従来の測定に比べ一桁以上低い  $Q$  領域で決定される  $G_E(Q)$  から陽子の電荷半径を決定する。現在この条件を満たした測定が可能なのは本研究のみであり、JLAB (米) など他の原子核研究用電子加速器では不可能な状態であった。

解析モデル依存性を極限まで排し最も信頼度の高い陽子半径を決定するため、以下の測定の実施を目指した。

- 最先端高エネルギー電子加速器では実施不可能な低エネルギー電子散乱と Rosenbluth 分離法による電荷形状因子と磁気形状因子の実験的な分離決定、
- 従来ほとんど実施されていない弾性散乱断面積の絶対値の高精度 ( $10^{-3}$ ) 測定。

### 3. 研究の方法

本研究は、東北大学・電子光物理学研究センターで実施した。低エネルギー直線電子加速器からの  $E_e = 20 \sim 60$  MeV の電子ビームを利用し、極低運動量移行領域で陽子を標的とした電子弾性散乱測定を行う。世界の他の電子加速器施設では実施不可能な極低運動量移行領域での電子弾性散乱で陽子半径を決定するため、東北大学電子光物理学研究センターの第一実験室に

- 1) 電子ビーム高品質化のためのビーム輸送系
- 2) 弾性散乱測定用の高分解能散乱電子スペクトロメータ

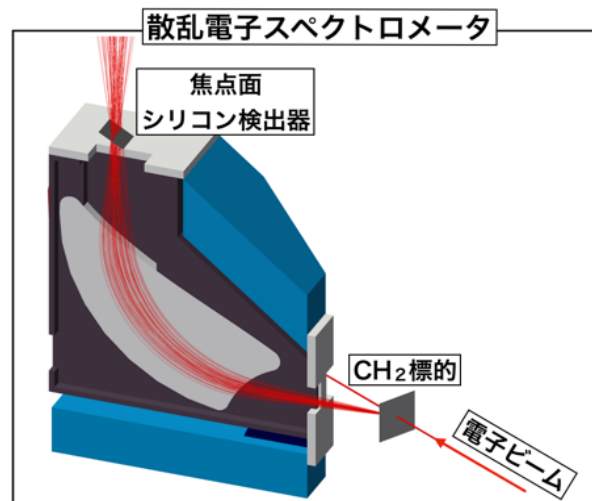
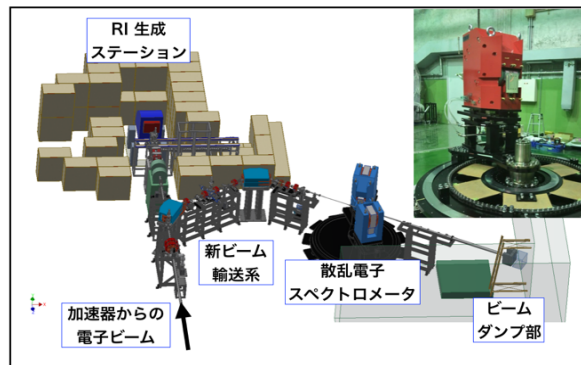
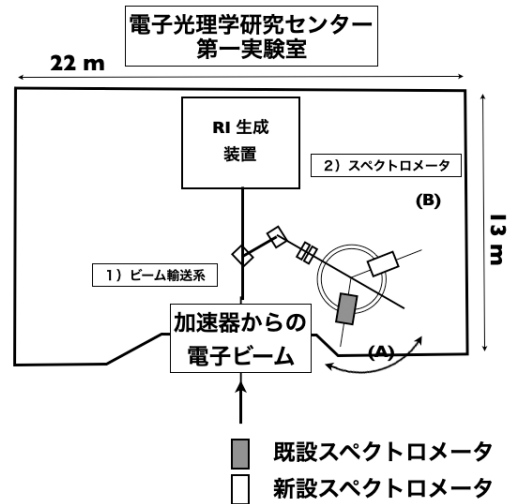
を主設備とする測定系を設置した (右図)。極低運動量移行領域での陽子電荷半径測定という着想と我々の持つ電子散乱研究の経験を組み合わせることで古い低エネルギー加速器でも世界最先端の重要な研究が可能となった。

#### 1) ビームライン系 (右図)

双極子電磁石、四重極電磁石、電磁石用電源、運動量定義用スリット及び制御装置、真空ダクト、真空ポンプ、ビームスクリーン並びに架台で構成され、測定に必要な運動量分解能、 $10^{-3}$  以下、と標的上でのビームサイズ 1mm 以下の条件を満たすことを確認した。

#### 2) 散乱電子スペクトロメータ (右図)

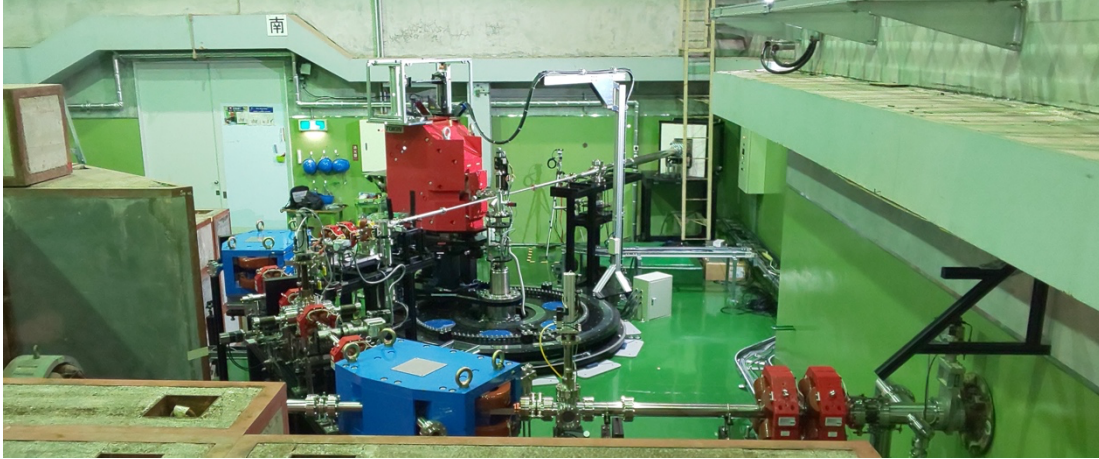
検出器と電磁石そして散乱標的を含む真空散乱槽で構成される。検出器は 200 $\mu$ m の位置分解能を有する 1024 チャンネルのシリコンストリップを 2 台用いて、散乱電子の運動量並びに散乱角度を精度良く測定する。広い散乱角度 ( $30 \leq \theta \leq 150^\circ$ ) での測定を実現するためスペクトロメータは縦型 (散乱電子を上方に偏向) で、直線上の焦点面での測定のみで必要な運動量と散乱角度を決定できるように、磁極形状を工夫している。最大運動量は 60 MeV/c、曲率半径は 0.4 m、偏向角度は  $90^\circ$  である。高い散乱角度決定精度を実現し Rosenbluth 分離の際の系統誤差悪化を抑える。低エネルギー電子測定のため、真空散乱槽とスペクトロメータ真



空箱を直結し低物質化を徹底し多重散乱の影響を最小化する使用になっている。

#### 4. 研究成果

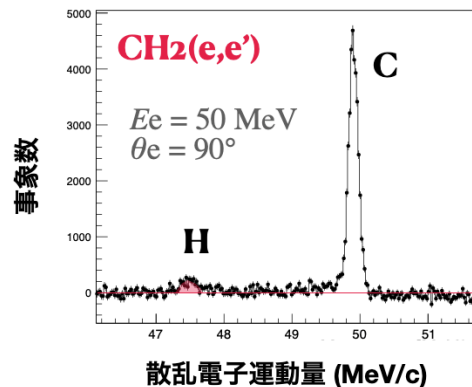
史上最低エネルギーの電子ビームによる電子・陽子弾性散乱測定に必要な性能を有する新ビームライン、散乱電子スペクトロメータを含む測定系を東北大学・電子光学研究センターの第一実験室に設計し、設置した。下記写真参照。



その後、加速器からの電子ビームを供給し、要求されるビーム性能（運動量分解能 0.1%以下、標的上のビームサイズ 1mmφ以下）が得られていることを確認した。また極薄金標的からの弾性散乱事象を利用し、電磁石スペクトロメータが計算通りに焦点面が形成されていることを確認後、運動量分散、分解能などの光学性能も設計通り実現されていることを確認した。

同散乱電子測定系は低運動量の散乱電子 ( $E_e = 20 - 60 \text{ MeV}$ ) を高精度で測定する必要がある。従って高エネルギー電子測定に用いられる複数の検出器による軌跡測定が不可能で、スペクトロメータの焦点面での位置測定のみで必要な測定精度で運動量と散乱角度が決定できる必要がある。

3次元磁場計算コードを駆使し磁極形状に工夫して、200 $\mu\text{m}$  ストリップの SSD 半導体検出器 (1000 チャンネル) での測定を可能とする電磁石を設計した。測定の結果、運動量分散は  $855.8 \pm 1.1 \text{ mm}$  (設計値 854.9mm)、運動量分解能は  $9.31 \pm 0.15 \times 10^{-4}$  (計算値  $5.1 \times 10^{-4}$ ) であり、設計通りのスペクトロメータを実現することができた。



測定装置系が必要な性能を有することを確認後、 $\text{CH}_2$  標的を利用し電子・陽子弾性散乱の測定を開始した。右上図は電子ビームエネルギー 50 MeV、散乱角度  $90^\circ$  の時の散乱電子の運動量分布である。C (炭素) と H (陽子) との弾性散乱に起因するピークが見えている。両者の質量差により散乱電子の運動量差が生じており、両ピーク位置は炭素、陽子による電子散乱の運動学と一致している。4年間の開発、研究で、史上最低エネルギーでの電子・陽子弾性散乱を測定する装置が完成し、本格測定の準備が整った。前述のように、2020年度より本研究は新規基盤 S に引き継がれ研究は継続している。

(今後の展開)

本科研費の大変低い充足率 (62%) により、高精度 ( $10^{-3}$ ) で断面積の絶対値を測定するために必要な一部測定装置の建設が不可能だった。史上最低エネルギーでの電子散乱実現自体の意義も高いため、予算不足でも計画を進めた。大学等の他の予算獲得の努力を継続し上述のようにその目標は達成した。しかしながら、マインツ大の新低エネルギー電子加速器の建設が進行中で、本研究の絶対的な優位性が危うくなりつつある。そこで、本研究最終年度の 2020 年度に新たに基盤 S を申請し採択された。現在、その科研費で 2021 年度内には不足分の測定系を建設中であり 2022 年度からは当初予定の測定を開始する目処が立っている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Haruki Kurasawa, Toshimi Suda and Toshio Suzuki	4. 巻 013D02
2. 論文標題 The mean square radius of the neutron distribution and the skin thickness derived from electron scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Prog. Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Yamanaka, T. Aoyagi, T. Suda et al.	4. 巻 A958
2. 論文標題 Position tracking detector for J-PARC muon g-2/EDM experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics	6. 最初と最後の頁 162786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.162786	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aoyagi T., Honda Y., Ikeda H., Ikeno M., Kawagoe K., Kohriki T., Kume T., Mibe T., Namba K., Nishimura S., Saito N., Sasaki O., Sato N., Sato Y., Sendai H., Shimomura K., Shirabe S., Shoji M., Suda T., Suehara T., Takatomi T., Tanaka M., Tojo J., Tsukada K., Uchida T., Ushizawa T., Wauke H., Yamanaka T., Yoshioka T.	4. 巻 15
2. 論文標題 Performance evaluation of a silicon strip detector for positrons/electrons from a pulsed a muon beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P04027 ~ P04027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/04/P04027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Tsukada,, T. Suda, et al.	4. 巻 240
2. 論文標題 Electron scattering from 208Pb and 132Xe ions at the SCRIT facility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hyperfine Interact	6. 最初と最後の頁 102 (8 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-019-1635-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Yamanaka, Y. Honda, T. Suda et al.	4. 巻 958
2. 論文標題 Position tracking detector for J-PARC muon g-2/EDM experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. and Method A	6. 最初と最後の頁 162786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.162786	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Suda	4. 巻 1643
2. 論文標題 Electron Scattering for Exotic Nuclei	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 12159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1643/1/012159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Suda, T. Aoyagi, Y. Honda, Y. Maeda, S. Miura, T. Muto, K. Namba, K. Nanbu, K. Takahashi, T. Tamae and K. Tsukada	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of Proton Charge Radius by Low-Energy Electron Scattering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Particle Accelerator Society of Japan,	6. 最初と最後の頁 52-59.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 須田利美、塚田暁	4. 巻 61
2. 論文標題 極低運動量領域での電子・陽子弾性散乱による陽子電荷半径の精密決定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 原子核研究	6. 最初と最後の頁 87-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Suda, T. Aoyagi et. al.	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of Proton Charge Radius by Low-Energy Electron Scattering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 52-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須田利美	4. 巻 33
2. 論文標題 陽子電荷半径パズル	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 科学雑誌 パリティー	6. 最初と最後の頁 57-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須田利美、塚田暁	4. 巻 61
2. 論文標題 極低運動量移行領域での電子・陽子弾性散乱による陽子電荷半径の精密決定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 原子核研究	6. 最初と最後の頁 87-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 28件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 須田利美
2. 発表標題 陽子半径
3. 学会等名 日本のスピンの展望 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron Scattering for Short-Live Nuclei
3. 学会等名 Gordon Conference on “ Exploring simple structural patterns and dynamics of nuclei ” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Nuclear Physics with Electron Beam
3. 学会等名 Connecting Fundamental Physics, Chemistry and the Origins of Biomolecular Homochirality (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering for short-lived nuclei
3. 学会等名 International Nuclear Physics Conference 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Radius
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Radius
3. 学会等名 The 11th Circum-Pan-Pacific Symposium on High Energy Spin Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Charge Radius by Low-Energy Electron Scattering
3. 学会等名 International workshop on the structure of the proton (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須田利美
2. 発表標題 陽子のサイズがおかしい？
3. 学会等名 京都大学物理学教室コロキウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須田利美
2. 発表標題 低エネルギー・大電流電子ビームと原子核物理
3. 学会等名 ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン物理の新局面と今後の展望 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tsukada
2. 発表標題 Present status and prospects of the SCRIT electron scattering facility
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Nuclear Symmetry Energy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tsukada
2. 発表標題 Present status of SCRIT electron scattering facility
3. 学会等名 The 14th Asia-Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Elastic electron scattering for proton charge radius determination
3. 学会等名 International workshop on the structure of the proton (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering for proton charge radius and charge density distribution of short-lived nuclei
3. 学会等名 International workshop on Proton and Neutron Densities and Radii in Nuclei and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Elastic Electron Scattering for Proton Charge Radius Determination
3. 学会等名 Correlation in Partonic and Hadronic Interaction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Elastic electron scattering off proton using 60 MeV electron linac of Tohoku University
3. 学会等名 The Proton Radius Puzzle and Beyond (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering
3. 学会等名 20th Northeastern Asian Symposium on Nuclear Physics in the 21th Century (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Charge Radius
3. 学会等名 Physics of Muonium and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Size
3. 学会等名 基研研究会 素粒子物理学の進展 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Proton Charge Radius Puzzle
3. 学会等名 京都大学物理教室談話会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 ELPH での低エネルギー電子散乱による陽子電荷半径測定 Proton Radius Puzzle の解明・理解を目指してー
3. 学会等名 電子光理学研究センター 拠点研究会 (特別講演) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 極限的最小運動量移行領域での電子散乱による陽子半径パズルの解明
3. 学会等名 日本物理学会シンポジウム「多様な手法によって解き明かす陽子のパズル」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron Scattering for Neutron-Rich Nuclei
3. 学会等名 ECT* workshop "Walk on the neutron-rich side" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Probing two-nucleon system in nuclei and Electron scattering off exotic nuclei
3. 学会等名 International workshop on "Quasi Free Scattering" @ York, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 SCRIT Electron Scattering Facility
3. 学会等名 International Symposium on "Physics of Unstable Nuclei" @ Vietnam (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 須田利美
2. 発表標題 極低運動量移行領域での電子弾性散乱による陽子電荷半径精密決定
3. 学会等名 日本物理学会 チュートリアル講演 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 e+p project at ultra-low Q2 in Japan
3. 学会等名 2nd ECT* workshop on the Proton Radius Puzzle (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 須田利美、塚田暁、菊永英寿、宮部学、時安敦史
2. 発表標題 極低運動量移行領域での電子弾性散乱による陽子荷電半径精密測定実験
3. 学会等名 日本物理学会2016年度秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering experiment off proton at ultra-low Q2
3. 学会等名 Meson in Nuclei 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering experiment off proton at ultra-low Q2
3. 学会等名 Strangness Nuclear Physics School 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Toshimi Suda
2. 発表標題 Electron scattering experiment off proton at ultra-low Q2
3. 学会等名 JPARC セミナー
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>須田研究室で進めている電子散乱による陽子半径測定などの原子核研究  <a href="https://w3.tohoku.ac.jp/ris-es/">https://w3.tohoku.ac.jp/ris-es/</a></p> <p>インタビュー：須田利美さんに聞く  <a href="http://www.senshu.phys.tohoku.ac.jp/houmon/vol12.html">http://www.senshu.phys.tohoku.ac.jp/houmon/vol12.html</a></p> <p>東北大学物理学最前線：陽子のサイズがおかしい？  <a href="https://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20181004-9905.html">https://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20181004-9905.html</a></p> <p>東京大学物理学教室コロキウム：陽子サイズがおかしい？  <a href="https://www.phys.s.u-tokyo.ac.jp/collouquium/19445/">https://www.phys.s.u-tokyo.ac.jp/collouquium/19445/</a></p> <p>業績等紹介ホームページ  <a href="http://researchmap.jp/toshimi.suda">http://researchmap.jp/toshimi.suda</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	塚田 暁 (Tsukada Kyo)  (10422073)	京都大学・化学研究所・准教授  (14301)	
研究分担者	前田 幸重 (Maeda Yukie)  (50452743)	宮崎大学・工学部・准教授  (17601)	
研究分担者	菊永 英寿 (Kikunaga Hidetoshi)  (00435645)	東北大学・電子光物理学研究センター・准教授  (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宮部 学  (Miyabe Manabu)		
研究協力者	時安 敦史  (Tokiyasu Atsushi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
南アフリカ	Univ. Johannesburg			
米国	Hampton Univeristy			
中国	山東大学	北京大学		
ドイツ	TU Darmstadt	GSI	Mainz	他1機関
韓国	Seoul University			