

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11920

研究課題名(和文) ベータNMRによる水に打ち込まれたイオンの化学種同定

研究課題名(英文) Chemical species identification of ions incident on water by beta-NMR

研究代表者

三原 基嗣 (Mihara, Mototsugu)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：60294154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：水の中に窒素の短寿命放射性同位体  $^{17}\text{N}$  を入射し、ベータ線検出核磁気共鳴法により核磁気共鳴スペクトルを測定した。その結果、水に打ち込まれた窒素イオンは、少なくとも2種類の化学種を形成することを発見した。さらにスペクトルの高分解能化を実現することにより、低周波数側の成分については  $^{17}\text{N}$ - $^1\text{H}$  間のスピン-スピン結合によると思われるスペクトルの分裂が示された。このことは、水に打ち込まれた窒素イオンが水素との化合物を形成することを強く示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水や氷へのイオン照射によって形成される化学物質に関する研究は、宇宙での化学進化や生物学的な興味からこれまでにも行われてきた。しかし、従来の照射後に化学分析を行う方法では、微量な生成物質に対し十分な感度を得る事は困難であった。本研究で実施した、水中における放射性同位体  $^{17}\text{N}$  の高分解能ベータNMR 分光の結果により、従来の安定核の NMR 法では不可能であった、ビーム照射時の NMR 化学分析の実現に大きく近づいたと言える。

研究成果の概要(英文)：Nuclear magnetic resonance (NMR) spectra of short-lived radioactive isotope  $^{17}\text{N}$  injected into water were measured by means of the beta-ray detected NMR method. As a result, we found that nitrogen ions injected into water form at least two chemical species. Furthermore, by achieving higher resolution of the spectrum, a splitting of the low-frequency component of the spectrum was shown to be due to a spin-spin coupling between  $^{17}\text{N}$ - $^1\text{H}$ . This strongly suggests that nitrogen ions in water form compounds with hydrogen.

研究分野：実験原子核物理学

キーワード：核磁気共鳴 不安定核 水 化学分析 窒素

## 1. 研究開始当初の背景

水のような分子を構成粒子とする物質中に、エネルギーを持ったイオンが入射したとき、そのイオンは最終的にどのような状態に落ち着くのであろうか？ 例えば水分子に含まれない窒素や炭素などのイオンが外部から入射してきた場合、これらはどのような化学種を形成するのだろうか？ このような問いは、次に述べる2つの興味深いテーマと関連しているが、これに答えられる研究はほとんど進んでいないのが現状である。

太陽系においては、宇宙空間から飛来する荷電粒子は天体表面や星間物質を絶えず照射しており、これが化学反応を促進し、有機物を含む新たな化学種の形成（化学進化）に重要な役割を果たしていると考えられている。荷電粒子の主成分である H, C, N, O などのイオンが、氷で覆われた天体（木星の衛星エウロパ、土星の衛星エンケラドゥス、小惑星や星間物質など）を照射したとき、どのような化学種が形成されるか？ といった興味深い問題がある。

もうひとつは、重イオンビームの医学利用に関するテーマである。近年、 $^{12}\text{C}$  ビームを用いた「粒子線治療」が、癌の治療法のひとつとして成果を上げ国内外に広まりつつあるが、生体内に入射した  $^{12}\text{C}$  ビームが最終的にどのような化学状態に落ち着くのかは、今のところ全く分かっていない。従って、照射したビーム自身が形成した化学種が治療に影響を及ぼすのか、あるいは全く影響しないのかも未だ謎の中である。生体の主成分である水の中に打ち込んだイオンの化学状態を明らかにすることは、粒子線治療において重要な意味を持つ。

## 2. 研究の目的

上述の問題へのアプローチの第一歩として、我々は放射性窒素同位体  $^{12}\text{N}$  ビームを用いて、ベータ線検出核磁気共鳴 ( $\beta\text{-NMR}$ ) 法により水や氷の中に打ち込んだ窒素イオンの NMR を世界で初めて観測することに成功した [1]。これにより、 $\beta\text{-NMR}$  法が水や氷の中に打ち込んだイオンの化学種同定を可能にし得ることを示した。ここで化学種同定を実現するためには、 $\beta\text{-NMR}$  により化学シフトを精密に測定する方法を確立する必要がある。しかし、 $^{12}\text{N}$  の水の中の  $\beta\text{-NMR}$  スペクトルは、核スピン  $I=1$  の  $^{12}\text{N}$  に四重極相互作用が生じ線幅が広がるため、精密化学シフトを決定する際には障害となる。そこで本研究では、四重極モーメントを持たない  $I=1/2$  のプローブ核ビームを開発し、これを用いて水の中の精密  $\beta\text{-NMR}$  スペクトル観測を実現し、化学シフトを決定する。これにより、水の中に打ち込んだイオンの化学種同定を行う方法を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

実験は量子医科学研究所の HIMAC 重イオンシンクロトロン加速器施設で行った。高性能な不安定核ビームラインがあり、目的の不安定核（プローブ核）の核スピンの向きが揃った偏極ビームを供給することが可能である。生成されたプローブ核ビームを図1に示す  $\beta\text{-NMR}$  装置内に置かれた液体試料中に入射し、 $\beta\text{-NMR}$  スペクトルの測定を行った。NMR の検出は、プローブ核から放出される  $\beta$  線を計測し、磁気共鳴により  $\beta$  線計数の非対称度に変化することを利用して行うことが可能となる。

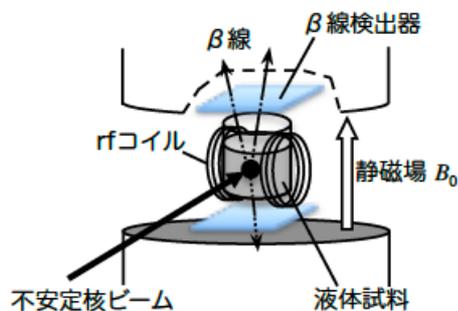


図1  $\beta\text{-NMR}$  装置概念図。

## 4. 研究成果

### (1) スピン 1/2 プローブ核の生成

核スピン  $I=1/2$  の炭素および窒素のプローブ核  $^{15}\text{C}$  (半減期 = 2.4 s) および  $^{17}\text{N}$  (半減期 = 4.2 s) のスピン偏極ビーム生成に成功した。シンクロトロン加速器により供給される核子当たり 70 MeV の  $^{15}\text{N}$  または  $^{18}\text{O}$  ビームを Be 標的に入射し、荷電交換反応により  $^{15}\text{C}$  を、1 陽子剥離反応により  $^{17}\text{N}$  をそれぞれ生成した。2次ビームコース SB2 [2] で核種の分離を行い、さらに生成核の運動量と出射角度を適切に選択することにより、スピン偏極した  $^{15}\text{C}$  および  $^{17}\text{N}$  ビームが得られた。 $\beta\text{-NMR}$  法により偏極率を測定した結果はどちらの核種も約 6%であった。こうして得られた偏極  $^{17}\text{N}$  ビームを液体試料中の  $\beta\text{-NMR}$  測定に利用した。

### (2) $\pi$ パルスによる核スピン反転

高分解能  $\beta\text{-NMR}$  スペクトル測定を行うためには、NMR 線幅の広がり（原因となる高周波 (RF) 磁場強度による広がり (power broadening) を抑える必要がある。そのために、測定効率を落とさずに RF 磁場強度を低くできる、 $\pi$  パルスによる核スピン反転を利用した。静磁場  $B_0$  の下、ラーモア角振

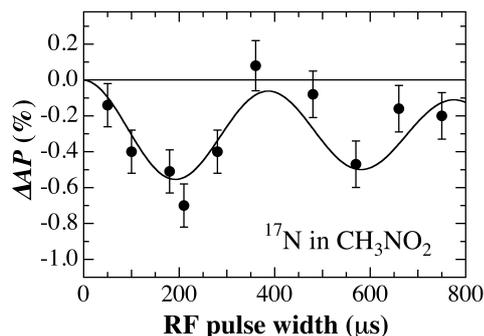


図2  $\pi$  パルス調整の結果。

動数  $\omega_0 (= \gamma B_0, \gamma$  は磁気回転比) で歳差運動する核スピンの対し、 $B_0$  に垂直な面内に  $\omega_0$  と等しい角振動数の回転磁場  $B_1$  を印加すると、 $\omega_0$  の回転座標系で核スピンは  $B_1$  の周りを角振動数  $\omega_1 (= \gamma B_1)$  で歳差運動する。 $B_1$  を印加後  $\omega_1 t = \pi$  を満たす時間  $t$  で切る、すなわち時間幅  $t$  のパルス RF 磁場を印加することにより、核スピンを  $B_0$  に対し  $180^\circ$  回転させることが可能となる。効率良く反転させるためには一様性の高い  $B_1$  が必要なため、新たにソレノイド型の RF コイルを作成した。図 2 に、 $^{17}\text{N}$  についてパルス幅と  $\beta$  線非対称度の変化の関係を測定した結果を示す。これにより  $\pi$  パルスの条件を決定した。NMR スペクトルの線幅は  $\omega_1$  に比例するため、狭くするには  $B_1$  を下げ  $\pi$  パルスの条件を満たすように  $t$  を延ばせばよい。

### (3) 化学シフト参照試料の探索

化学シフト  $\delta$  を決定するためには、安定核の NMR により既に  $\delta$  の値が分かっている試料中にプローブ核を打ち込み、 $\beta$ -NMR スペクトル測定を行い共鳴周波数  $\nu_{\text{ref}}$  を求めておく必要がある。これにより、目的の試料中の共鳴周波数  $\nu$  を測定すれば、 $\delta = (\nu - \nu_{\text{ref}})/\nu_{\text{ref}} + \delta_{\text{ref}}$  により化学シフトを決定することができる。参照試料の候補となり得る様々な液体試料中の  $^{17}\text{N}$  の  $\beta$ -NMR スペクトルを測定した。結果を図 3 に示す。これより、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) 水溶液およびシアン化カリウム (KCN) 水溶液が有望であることが示された。

### (4) $\text{H}_2\text{O}$ 中 $^{17}\text{N}$ の高分解能 $\beta$ -NMR スペクトル測定

図 3 に示すように、 $\text{H}_2\text{O}$  中の  $^{17}\text{N}$  のスペクトルから二本の共鳴線が観測され、水に打ち込まれた窒素が少なくとも異なる 2 種類化学種を形成することを示した [3]。高分解能化を図り、実験に使用している電磁石の静磁場  $B_0$  の空間分布を詳細に測定し、試料位置における磁場一様性を 1ppm 程度に抑えることに成功した。上述の  $\pi$  パルスによる測定法を適用し、スペクトル分解能を以前の 200ppm (FWHM) から 9ppm にまで高めることができた。その結果、低周波数側の共鳴線について図 4 に示すようなスペクトルが得られ、複数の共鳴線からなっていることが明らかになってきた。曲線はスピン-スピン結合により triplet に分裂していると仮定して fitting した結果である。まだ全容は明らかになっていないが、スピン-スピン結合を引き起こす原因は  $^{17}\text{N}$ - $^1\text{H}$  間の化学結合しか考えられないため、実験結果は水に打ち込まれた窒素イオンが水素との化合物を形成することを強く示唆している [4]。

### <引用文献>

- [1] T. Sugihara et al., *Hyperfine Interactions* 237 (2017) 238.
- [2] M. Kanazawa, et al., *Nucl. Phys. A* 746, 393c (2004).
- [3] M. Mihara et al., *Hyperfine Interactions* 240, 113 (2019).
- [4] M. Mihara et al., *Hyperfine Interactions*, 242, 49 (2021).

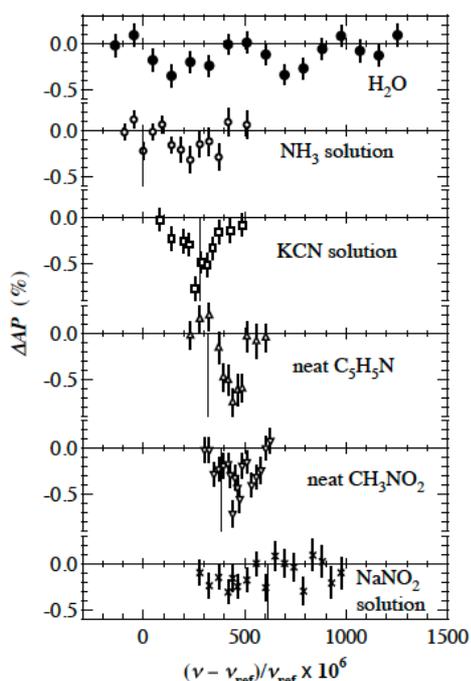


図 3 様々な液体試料中の  $^{17}\text{N}$  の室温における  $\beta$ -NMR スペクトル。直線は安定核の NMR から予想されるシフト。

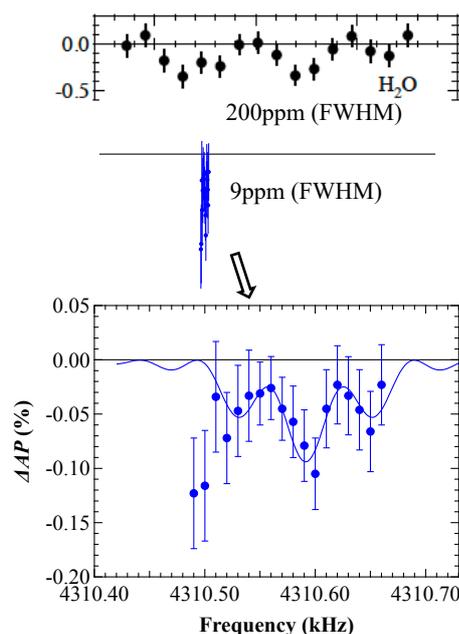


図 4 室温における  $\text{H}_2\text{O}$  中  $^{17}\text{N}$  の  $\beta$ -NMR スペクトル。高分解能化により、スピン-スピン結合によると見られる分裂線が観測された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kimura Y., Mihara M., Matsuta K., Fukuda M., Otani Y., Takayama G., Izumikawa T., Noguchi N., Ogose M., Sato M., Takatsu K., Ohtsubo T., Takahashi H., Momota S., Okumura H., Moriguchi T., Ozawa A., Kitagawa A., Sato S.	4. 巻 243
2. 論文標題 Development of a small Beta-NMR system using Halbach Array permanent magnet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 1, 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-021-01789-5	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 Mihara M., Otani Y., Kimura Y., Wakabayashi R., Noguchi N., Ogose M., Izumikawa T., Takahashi H., Sato M., Takatsu K., Takayama G., Momota S., Okumura H., Fukuda M., Fukutome M., Nishimura D., Matsuta K., Minamisono T., Ohtsubo T., Ozawa A., Nagatomo T., Kitagawa A., Sato S.	4. 巻 242
2. 論文標題 High-resolution $\beta$ -NMR of short-lived spin-1/2 nucleus $^{17}\text{N}$ implanted into water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 49, 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-021-01773-z	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 Otani Y., Mihara M., Matsuta K., Fukuda M., Wakabayashi R., Okimoto N., Fukutome M., Kimura Y., Takayama G., Izumikawa T., Noguchi N., Ogose M., Sato M., Takatsu K., Ohtsubo T., Nishimura D., Takahashi H., Sugawara S. 他10名	4. 巻 242
2. 論文標題 Application of spin polarized $^{19}\text{F}$ beam to the study of oxygen motion in solid oxide fuel cell materials	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 47, 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-021-01776-w	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 木村容子、三原基嗣、松多健策、福田光順、大谷優里花、高山元、泉川卓司、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、大坪隆、高橋弘幸、百田佐多生、奥村寛之、森口哲朗、小沢顕、北川敦志、佐藤眞二	4. 巻 KURNS-EKR-13
2. 論文標題 ハルパツハ配列永久磁石を用いた小型 <sup>-</sup> NMR装置の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和二年度「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VII」研究会報告書	6. 最初と最後の頁 37-40
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 無
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 三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、大谷優里花、木村容子、福留美樹、高山元、南園忠則、西村太樹、高橋弘幸、泉川卓司、大坪隆、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、百田佐多生、小沢顕、長友傑、北川敦志、佐藤眞二	4. 巻 KURNS-EKR-13
2. 論文標題 溶液中の <sup>-</sup> NMR分光のための高分解能化について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和二年度「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VII」研究会報告書	6. 最初と最後の頁 41-44
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 無
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 大谷優里花、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、沖本直哉、福留美樹、木村容子、高山元、泉川卓司、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、大坪隆、西村太樹、高橋弘幸、菅原奏来、Aleksey Gladkov、北川敦志、佐藤眞二、百田佐多生、奥村寛之、森口哲朗、小沢顕	4. 巻 KURNS-EKR-13
2. 論文標題 酸化物形燃料電池材料YSZ中190のスピ格子緩和時間の温度依存性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 令和二年度「短寿命 RI を用いた核分光と核物性研究 VII」研究会報告書	6. 最初と最後の頁 45-48
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 無
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 Sato Yukiko, Yamada Yasuhiro, Kobayashi Yoshio, Kubo M. Kenya, Mihara Mototsugu, Sato Wataru, Miyazaki Jun, Nagatomo Takashi, Ando Takatoshi, Takahama Noriko, Some Kanako, Sato Masami, Sato Shinji, Kitagawa Atsushi	4. 巻 170
2. 論文標題 In-beam Mossbauer spectra of <sup>57</sup> Mn implanted into lithium aluminum hydride	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Radiation and Isotopes	6. 最初と最後の頁 109582 ~ 109582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apradiso.2020.109582	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 M. Sato, Y. Kobayashi, Y. Yamada, M. K. Kubo, M. Mihara, W. Sato, T. Nagatomo, A. Okazawa, Y. Sato, M. Kiji, K. Mamano, S. Sato, and A. Kitagawa	4. 巻 KURNS-EKR-8
2. 論文標題 Chemical states of Fe atoms in iron hydride	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. The Specialists' Meeting on Nuclear Spectroscopy and Condensed Matter Physics Using Short-Lived Nuclei VI	6. 最初と最後の頁 17~20
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 無
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 M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, R. Wakabayashi, N. Okimoto, M. Fukutome, T. Izumikawa, N. Noguchi, M. Ogose, T. Ohtsubo, D. Nishimura, A. Gladkov, A. Kitagawa, and S. Sato	4. 巻 KURNS-EKR-8
2. 論文標題 Development of Oxygen NMR probe nucleus 190	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. The Specialists' Meeting on Nuclear Spectroscopy and Condensed Matter Physics Using Short-Lived Nuclei VI	6. 最初と最後の頁 21~24
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 無
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 M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, M. Tanaka, R. Wakabayashi, M. Fukutome, N. Okimoto, T. Izumikawa, D. Nishimura, S. Momota, N. Noguchi, M. Ogose, H. Takahashi, A. Gladkov, H. Nishibata, T. Nagatomo, A. Ozawa, T. Ohtsubo, T. Minamisono, A. Kitagawa, and S. Sato	4. 巻 QST-R-17/HIMAC-148
2. 論文標題 Development of highly polarized unstable nuclear beams for materials science use	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2019 Annual Report of the Research Project with Heavy Ions at NIRS-HIMAC	6. 最初と最後の頁 167~168
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 無
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 M. Mihara, T. Sugihara, M. Fukuda, A. Homma, T. Izumikawa, A. Kitagawa, K. Matsuta, T. Minamisono, S. Momota, T. Nagatomo, H. Nishibata, D. Nishimura, K. Ohnishi, T. Ohtsubo, A. Ozawa, S. Sato, M. Tanaka, R. Wakabayashi, S. Yagi, R. Yanagihara	4. 巻 240
2. 論文標題 Beta-NMR of short-lived nucleus $^{17}\text{N}$ in liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 113-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-019-1650-3	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 Y. Yamada, Y. Sato, Y. Kobayashi, T. Ando, N. Takahama, K. Some, M. Sato, M. Mihara, K.M. Kubo, W. Sato, J. Miyazaki, T. Nagatomo, J. Kobayashi, A. Okazawa, S. Sato, A. Kitagawa	4. 巻 241
2. 論文標題 In-beam Mossbauer spectra for 57Mn implanted sulfur hexafluoride	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 15-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-019-1655-y	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 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 南園忠則, 田中聖臣, 若林諒, 柳原陸斗, 杉原貴信, 大西康介, 八木翔一, 西畑洗希, 長友傑, 泉川卓司, 本間彰, 大坪隆, 西村太樹, 百田佐多生, 小沢顕, 北川敦志, 佐藤眞二	4. 巻 KURNS-EKR-4
2. 論文標題 パルスによるH20中17N の精密NMRスペクトル測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. The Specialists' Meeting on Nuclear Spectroscopy and Condensed Matter Physics Using Short-Lived Nuclei V	6. 最初と最後の頁 54-56
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 無
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 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 田中聖臣, 若林諒, 泉川卓司, 西村太樹, 百田佐多生, 西畑洗希, 長友傑, 小沢顕, 大坪隆, 南園忠則, 北川敦志, 佐藤眞二	4. 巻 QST-R-13/HIMAC-147
2. 論文標題 物性プローブとしての高偏極不安定核ビーム生成法の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2018 Annual Report of the Research Project with Heavy Ions at NIRS-HIMAC	6. 最初と最後の頁 178-179
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 無
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33件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 M. Mihara, Y. Ohtani, Y. Kimura, R. Wakabayashi, N. Noguchi, M. Ogose, T. Izumikawa, H. Takahashi, M. Sato, K. Takatsu, G. Takayama, S. Momota, H. Okumura, M. Fukuda, M. Fukutome, D. Nishimura, K. Matsuta, T. Minamisonoi, T. Ohtsubo, A. Ozawa, T. Nagatomo, A. Kitagawa, S. Sato
2. 発表標題 Chemical states of nitrogen in water studied by beta-NMR spectroscopy
3. 学会等名 3rd Int. Conf. on HYPERFINE Interactions and their Applications (HYPERFINE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名	Y. Ohtani, M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, R. Wakabayashi, N. Okimoto, M. Fukutome, Y. Kimura, G. Takayama, T. Izumikawa, N. Noguchi, M. Ogose, Y. Sato, K. Takatsu, T. Ohtsubo, D. Nishimura, H. Takahashi, S. Sugawara, A. Gladkov, A. Kitagawa, S. Sato, S. Momota, H. Okumura, T. Moriguchi, A. Ozawa
2 . 発表標題	Production of spin polarized 190 beam and application to the study of solid oxide fuel cell materials
3 . 学会等名	3rd Int. Conf. on HYPERFINE Interactions and their Applications (HYPERFINE2021) (国際学会)
4 . 発表年	2021年

1 . 発表者名	Y. Kimura, M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, Y. Ohtani, G. Takayama, T. Izumikawa, N. Noguchi, M. Ogose, Y. Sato, K. Takatsu, T. Ohtsubo, H. Takahashi, S. Momota, H. Okumura, T. Moriguchi, A. Ozawa, A. Kitagawa, S. Sato
2 . 発表標題	Development of a small beta-NMR system using Halbach array permanent magnet
3 . 学会等名	3rd Int. Conf. on HYPERFINE Interactions and their Applications (HYPERFINE2021) (国際学会)
4 . 発表年	2021年

1 . 発表者名	Y. Ohtani, M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, M. Fukutome, Y. Kimura, G. Takayama, T. Izumikawa, N. Noguchi, K. Takatsu, T. Ohtsubo, D. Nishimura, H. Takahashi, A. Kitagawa, S. Sato, T. Moriguchi, A. Ozawa, N. Kaname, A. Yano, H. Ishiyama
2 . 発表標題	Production of spin polarized 190 beam and application to the study of solid oxide fuel cell materials
3 . 学会等名	Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4 . 発表年	2021年

1 . 発表者名	Y. Kimura, M. Mihara, K. Matsuta, M. Fukuda, Y. Ohtani, M. Fukutome, G. Takayama, T. Nishimura, H. Takahashi, T. Izumikawa, T. Ohtsubo, N. Noguchi, M. Ogose, K. Takatsu, A. Ozawa, M. K. Kubo, K. Shimomura, S. Sato, A. Kitagawa, A. Koda
2 . 発表標題	Research on the chemical state of nitrogen in H <sub>2</sub> O by $\mu$ - SR and $^{15}$ N-NMR methods
3 . 学会等名	Materials Research Meeting 2021 (MRM2021) (国際学会)
4 . 発表年	2021年

1. 発表者名 大谷優里花、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、沖本直哉、福留美樹、木村容子、高山元、泉川卓司、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、大坪隆、西村太樹、高橋弘幸、菅原奏来、Aleksy Gladkov、石山博恒、北川敦志、佐藤眞二、百田佐多生、奥村寛之、森口哲朗、小沢顕、富田啓介、矢野朝陽
2. 発表標題 酸素イオン伝導体YSZ中における短寿命核190のスピ格子緩和時間
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村容子、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、大谷優里花、福留美樹、高山元、南園忠則、西村太樹、高橋弘幸、泉川卓司、大坪隆、野口法秀、生越瑞揮、佐藤 弥紗、高津和哉、百田佐多生、小沢顕、長友傑、北川敦志、佐藤眞二、久保謙哉、下村浩一郎、幸田章宏、竹下聡史
2. 発表標題 $\mu$ -SR法と $^{-1}$ NMR法によるH <sub>2</sub> O中の窒素の化学状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三原基嗣
2. 発表標題 物性プローブとしての高偏極不安定核ビーム生成法の開発
3. 学会等名 2020年度HIMAC 共同利用研究成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村容子
2. 発表標題 -NMR法を利用した3次元イメージング装置の開発
3. 学会等名 計測システム研究会2021～計測システム開発の現状と今後の展開～
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷優里花、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、沖本直哉、福留美樹、木村容子、高山元、泉川卓司、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、大坪隆、西村太樹、高橋弘幸、菅原奏来、Aleksy Gladkov、石山博恒、北川敦志、佐藤眞二、百田佐多生、奥村寛之、森口哲朗、小沢顕、富田啓介、要直登、矢野朝陽
2. 発表標題 短寿命核190を用いた固体酸化物形燃料電池材料YSZ中における酸素イオン伝導特性の評価
3. 学会等名 第47回固体イオニクス討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村容子、杉崎堯人、高山元、田中聖臣、溝井浩、三原基嗣、福田光順、大谷優里花、福留美樹、田口諒、泉川卓司、野口法秀、高津和哉、大坪隆、松多健策、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 -NMR法を利用した3次元イメージング装置の開発
3. 学会等名 日本量子医科学会第1回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三原基嗣、大谷優里花、木村容子、若林諒、野口法秀、生越瑞揮、泉川卓司、高橋弘幸、佐藤弥紗、高津和哉、高山元、百田佐多生、奥村寛之、福田光順、福留美樹、西村太樹、松多健策、南園忠則i、大坪隆、小沢顕、長友傑、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 ベータNMR分光法による水中に入射したイオンの化学状態探索
3. 学会等名 日本量子医科学会第1回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 溝井浩、三原基嗣、木村容子、杉崎堯人、高山元、福田光順、大谷優里花、福留美樹、田口諒、松多健策、田中聖臣、泉川卓司、野口法秀、高津和哉、大坪隆、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 NMR分光とイメージングのための線トラッカーの開発
3. 学会等名 第36回研究会「放射線検出器とその応用」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三原基嗣、大谷優里花、木村容子、杉崎堯人、森口哲朗、矢野朝陽、富田啓介、要直登、小沢顕、石山博恒、福留美樹、高山元、宇田隆佑、湯田秀明、福田光順、松多健策
2. 発表標題 逆運動学を用いた低エネルギー核反応によるスピン偏極ビーム生成
3. 学会等名 令和3年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VIII」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉崎堯人、木村容子、高山元、田中聖臣、溝井浩、三原基嗣、福田光順、大谷優里花、福留美樹、田口諒、泉川卓司、野口法秀、高津和哉、大坪隆、松多健策、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 -NMR法によるイメージング用プログラムの開発
3. 学会等名 令和3年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VIII」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村容子、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、大谷優里花、福留美樹、高山元、南園忠則、西村太樹、高橋弘幸、泉川卓司、大坪隆、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、百田佐多生、小沢顕、長友傑、北川敦志、佐藤眞二、久保謙哉、下村浩一郎、幸田章宏、竹下聡史
2. 発表標題 $\mu$ -SR法と -NMR法を用いたH <sub>2</sub> O中の窒素の化学状態の研究
3. 学会等名 令和3年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VIII」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷優里花、三原基嗣、松多健策、福田光順、若林諒、沖本直哉、福留美樹、木村容子、高山元、杉崎堯人、田口諒、泉川卓司、野口法秀、生越瑞揮、佐藤弥紗、高津和哉、大坪隆、西村太樹、高橋弘幸、菅原奏来、Aleksy Gladkov、石山博恒、北川敦志、佐藤眞二、百田佐多生、奥村寛之、森口哲朗、小沢顕、富田啓介、要直登、矢野朝陽
2. 発表標題 偏極190ピームを用いた固体酸化物形燃料電池材料YSZ中の酸素イオン伝導率の評価
3. 学会等名 令和3年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VIII」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松多健策
2. 発表標題 ベータNMRによる物性研究
3. 学会等名 令和3年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VIII」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村容子、杉崎堯人、高山元、田中聖臣、溝井浩、三原基嗣、福田光順、大谷優里花、福留美樹、田口諒、泉川卓司、野口法秀、高津和哉、大坪隆、松多健策、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 -NMR法を利用した3次元イメージング装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三原基嗣、大谷優里花、木村容子、杉崎堯人、森口哲朗、矢野朝陽、富田啓介、要直登、小沢顕、石山博恒、福留美樹、高山元、宇田隆佑、湯田秀明、福田光順、松多健策
2. 発表標題 逆運動学を用いた低エネルギー核反応によるスピン偏極190ピーム生成
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉崎堯人、木村容子、高山元、田中聖臣、溝井浩、三原基嗣、福田光順、大谷優里花、福留美樹、田口諒、泉川卓司、野口法秀、高津和哉、大坪隆、松多健策、北川敦志、佐藤眞二
2. 発表標題 -NMR法によるイメージング用プログラムの開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 沖本直哉, 福留美樹, 大谷優里花, 木村容子, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 大坪隆, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, Aleksey Gladkov, 石山博恒, 北川敦志, 佐藤眞二, 森口哲朗, 小沢顕, 杉山純
2. 発表標題 電池材料研究のための高偏極リチウム及び酸素同位体ビーム開発
3. 学会等名 新学術領域研究「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い。新たな応用への架け橋。」領域研究会(第2回領域全体会議)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 沖本直哉, 福留美樹, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 大坪隆, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, Aleksey Gladkov, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 短寿命酸素NMRプローブ核190の物質科学利用
3. 学会等名 日本物理学会 2020 年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村容子, 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 大谷優里花, 高山元, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 大坪隆, 高橋弘幸, 百田佐多生, 奥村寛之, 森口哲朗, 小沢顕, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 ハルバツハ配列磁石を用いた小型 $^{-1}$ NMR装置の開発
3. 学会等名 令和2年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VII」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 大谷優里花, 木村容子, 福留美樹, 高山元, 南園忠則, 西村太樹, 高橋弘幸, 泉川卓司, 大坪隆, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 百田佐多生, 小沢顕, 長友傑, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 溶液中の $^{-1}$ NMR 分光のための高分解能化について
3. 学会等名 令和2年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VII」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷優里花, 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 沖本直哉, 福留美樹, 木村容子, 高山元, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 大坪隆, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, Aleksey Gladkov, 北川敦志, 佐藤眞二, 百田佐多生, 奥村寛之, 森口哲朗, 小沢顕
2. 発表標題 酸化物形燃料電池材料YSZ中190の偏極緩和時間の温度依存性
3. 学会等名 令和2年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VII」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷優里花, 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 沖本直哉, 福留美樹, 木村容子, 高山元, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 大坪隆, 西村太樹, 高橋弘幸, 菅原奏来, Aleksey Gladkov, 北川敦志, 佐藤眞二, 百田佐多生, 奥村寛之, 森口哲朗, 小沢顕
2. 発表標題 190の偏極ビーム生成と固体燃料電池研究への応用
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村容子, 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 大谷優里花, 高山元, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 佐藤弥紗, 高津和哉, 大坪隆, 高橋弘幸, 百田佐多生, 奥村寛之, 森口哲朗, 小沢顕, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 ハルバツハ配列磁石を用いた小型 NMR装置の開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 南園忠則, 若林諒, 田中聖臣, 杉原貴信, 大西康介, 八木翔一, 西村太樹, 泉川卓司, 大坪隆, 本間彰, 小沢顕, 西畑洗希, 長友傑, 北川敦志, 佐藤眞二, 百田佐多生
2. 発表標題 物性プローブとしての高偏極不安定核ビーム生成法の開発
3. 学会等名 平成 30年度HIMAC共同利用研究成果発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 若林諒, 沖本直哉, 福留美樹, 泉川卓司, 野口法秀, 生越瑞揮, 大坪隆, 西村太樹, Aleksey Gladkov, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 酸素 NMR プローブ核 19O の開発
3. 学会等名 令和元年度京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究VI」兼「第11回停止・低速RIビームを用いた核分光研究会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Mihara, T. Sugihara, K. Matsuta, M. Fukuda, M. Tanaka, R. Wakabayashi, K. Ohnishi, S. Yagi, T. Minamisono, T. Izumikawa, S. Momota, A. Homma, T. Ohtsubo, D. Nishimura, A. Ozawa, T. Nagatomo, S. Sato, A. Kitagawa
2. 発表標題 Beta-NMR of short-lived nuclei in liquid media for g-factor measurements
3. 学会等名 4th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三原基嗣, 松多健策, 福田光順, 南園忠則, 田中聖臣, 若林諒, 柳原陸斗, 杉原貴信, 大西康介, 八木翔一, 西畑洗希, 長友傑, 泉川卓司, 本間彰, 大坪隆, 西村太樹, 百田佐多生, 小沢顕, 北川敦志, 佐藤眞二
2. 発表標題 パルスによるH2O中17N の精密NMRスペクトル測定
3. 学会等名 平成 30 年度 KUR 専門研究会「短寿命 RI を用いた核分光と核物性研究 V」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Mihara, T. Sugihara, M. Fukuda, A. Homma, T. Izumikawa, A. Kitagawa, K. Matsuta, T. Minamisono, S. Momota, T. Nagatomo, H. Nishibata, D. Nishimura, K. Ohnishi, T. Ohtsubo, A. Ozawa, S. Sato, M. Tanaka, R. Wakabayashi, S. Yagi, R. Yanagihara
2. 発表標題 Beta-NMR of short-lived nucleus 17N in liquids
3. 学会等名 International Conference on HYPERFINE Interactions and their Applications (HYPERFINE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Experimental Nuclear Physics Group  
<http://nucl.phys.sci.osaka-u.ac.jp/index.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------