

Accelerator Applications Research Division
 RI Application Research Group
 Nuclear Chemistry Research Team

1. Abstract

The Nuclear Chemistry Research Team develops production technologies of unique radioisotopes (RIs) at RIKEN RI Beam Factory (RIBF) and applies them in the research fields of physics, chemistry, biology, engineering, medicine, pharmaceutical and environmental sciences. The purified RIs such as ^{65}Zn , ^{67}Cu , ^{85}Sr , ^{88}Y , and ^{109}Cd are delivered to universities and institutes through Japan Radioisotope Association. We also develop new technologies of mass spectrometry for the trace-element analyses using accelerator techniques and apply them to the research fields such as cosmochemistry, environmental science, archaeology, and so on. We perform various isotopic analyses on the elements such as S, Pd, and Pb using ICP-MS, TIMS, and IRMS. We also develop radioactive targets and sources, and chemical materials such as metallic ^{238}U , $^{238}\text{UO}_2$, and ^{48}CaO for ECR ion sources of the heavy-ion accelerators at RIBF.

2. Major Research Subjects

- (1) Research and development of RI production technologies at RIBF
- (2) RI application research
- (3) Development of trace element analyses using accelerator techniques and their applications to geoscience and archaeological research fields
- (4) Development of radioactive targets and sources, and chemical materials for ECR ion sources of the heavy-ion accelerators at RIBF

3. Summary of Research Activity

(1) Research and development of RI production technologies at RIBF and RI application research

Due to its high sensitivity, the radioactive tracer technique has been successfully applied for investigations of the behavior of elements in the fields of chemistry, biology, engineering, medicine, pharmaceutical and environmental sciences. We have been developing production technologies of useful radioisotopes (RIs) at RIBF and conducting their application studies in collaboration with many researchers in various fields. With 30-MeV proton, 24-MeV deuteron, and 50-MeV alpha beams from the AVF cyclotron, we presently produce about 100 RIs from ^7Be to ^{211}At . Among them, ^{65}Zn , ^{67}Cu , ^{85}Sr , ^{88}Y , and ^{109}Cd are delivered to Japan Radioisotope Association for fee-based distribution to the general public in Japan. Our RIs are also distributed to researchers under the Supply Platform of Short-lived Radioisotopes for Fundamental Research, supported by MEXT KAKENHI in FY2016-2027. On the other hand, RIs of a large number of elements are simultaneously produced from metallic targets such as $^{\text{nat}}\text{Ti}$, $^{\text{nat}}\text{Ag}$, $^{\text{nat}}\text{Hf}$, ^{197}Au , and ^{232}Th irradiated with a 135 MeV/nucleon ^{14}N beam from the RIKEN Ring Cyclotron. These multitracers are also supplied to universities and institutes as collaborative research.

In 2021, we developed production technologies of RIs such as ^{28}Mg , $^{44\text{m}}\text{Sc}$, ^{44}Ti , ^{67}Cu , ^{111}Ag , ^{141}Ce , ^{186}Re , ^{196}Au , ^{211}At , ^{212}Pb , ^{224}Ra , ^{225}Ac , and ^{229}Pa which were strongly demanded but lack supply sources in Japan. We also investigated the excitation functions for the $^{27}\text{Al}(\alpha, x)$, $^{\text{nat}}\text{Ca}(p, x)$, $^{\text{nat}}\text{Ca}(d, x)$, $^{\text{nat}}\text{Ca}(\alpha, x)$, $^{\text{nat}}\text{Cr}(d, x)$, $^{45}\text{Sc}(p, x)$, $^{55}\text{Mn}(p, x)$, $^{\text{nat}}\text{La}(\alpha, x)$, $^{159}\text{Tb}(\alpha, x)$, and $^{141}\text{Pr}(p, x)$ reactions to effectively and quantitatively produce useful RIs. We used radiotracers of ^{44}Ti , ^{211}At , ^{212}Pb , ^{224}Ra , and ^{229}Pa for application studies in chemistry, $^{44\text{m}}\text{Sc}$, ^{67}Cu , ^{111}Ag , ^{141}Ce , ^{186}Re , ^{211}At , and ^{225}Ac in nuclear medicine, and ^{28}Mg , $^{44\text{m}}\text{Sc}$, ^{67}Cu , ^{186}Re , ^{196}Au , and ^{211}At in engineering. We also produced ^{65}Zn , ^{67}Cu , ^{85}Sr , ^{88}Y , and ^{109}Cd for our scientific research on a regular schedule and supplied the surpluses through Japan Radioisotope Association to the general public. In 2021, we accepted 2 orders of ^{65}Zn with a total activity of 15 MBq, 1 order of ^{67}Cu with 10 MBq, 8 orders of ^{85}Sr with 34.7 MBq, 2 orders of ^{88}Y with 2 MBq, and 1 order of ^{109}Cd with 5 MBq. We also distributed ^{28}Mg (2 MBq \times 1), ^{67}Cu (100 MBq \times 1), ^{88}Zr (1 MBq \times 2), ^{95}Nb (1 MBq \times 1), ^{111}Ag (1 MBq \times 1), ^{141}Ce (0.24 MBq \times 1, 0.5 MBq \times 1), ^{175}Hf (1 MBq \times 2), ^{179}Ta (0.5 MBq \times 1), and ^{211}At (5 MBq \times 3, 10 MBq \times 1, 50 MBq \times 6, 80 MBq \times 2, and 100 MBq \times 3) under the Supply Platform of Short-lived Radioisotopes for Fundamental Research.

(2) Superheavy element chemistry

Chemical characterization of newly-discovered superheavy elements (SHEs, atomic number $Z \geq 104$) is an extremely interesting and challenging subject in modern nuclear and radiochemistry. We are developing SHE production systems as well as rapid single-atom chemistry apparatuses at RIBF. Using heavy-ion beams from RILAC and AVF, ^{261}Rf ($Z = 104$), ^{262}Db ($Z = 105$), ^{265}Sg ($Z = 106$), and ^{266}Bh ($Z = 107$) are produced in the $^{248}\text{Cm}(^{18}\text{O}, 5n)^{261}\text{Rf}$, $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F}, 5n)^{262}\text{Db}$, $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{265}\text{Sg}$, and $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 5n)^{266}\text{Bh}$ reactions, respectively, and their chemical properties are investigated.

We installed a gas-jet transport system to the focal plane of the gas-filled recoil ion separator GARIS at SRILAC. This system is a promising approach for exploring new frontiers in SHE chemistry: the background radiations from unwanted products are strongly suppressed, the intense primary heavy-ion beam is absent in the gas-jet chamber, and hence the high gas-jet extraction yield is attained. Furthermore, the beam-free condition makes it possible to investigate new chemical systems. To realize aqueous chemistry studies of Sg and Bh, we have been developing a continuous and rapid solvent extraction apparatus which consists of a continuous dissolution apparatus Membrane DeGasser (MDG), a Flow Solvent Extractor (FSE), and a liquid scintillation detector for α /SF-spectrometry. On the other hand, we produced radiotracers of ^{88}Zr , ^{95}Nb , ^{175}Hf , and ^{179}Ta at the AVF cyclotron and conducted model experiments for aqueous chemistry studies on Rf and Db. We also developed a cryogenic RF-carpet gas cell, which will be placed on the focal

plane of GARIS and connected to a gas-chromatograph apparatus, for the future gas-phase chemistry of the short-lived SHEs (half-life $T_{1/2} < 1$ s).

(3) Development of trace element analyses using accelerator techniques and their applications to geoscience and archaeological research fields

We have been developing the ECR Ion Source Mass Spectrometer (ECRIS-MS) for trace element analyses. We renovated the detection system of ECRIS-MS and evaluated its sensitivity and mass resolution power. We equipped a laser-ablation system with an ion source and a pre-concentration system to achieve high-resolution analyses for noble gases such as Kr and Xe.

Using the conventional ICP-MS, TIMS, IRMS, and so on, we studied Pb and S isotope ratios on cinnabar and asphalt samples from ancient ruins in Japan to elucidate the distribution of goods in the archaic society and to reveal the establishment of the Yamato dynasty in the period from Jomon to Tumulus. We established a sampling technique for pigment without any damages on the artifacts or wall paintings, using a S-free adhesive tape. Then, we applied the technique to the analyses of vermilion used in three representative tombs from Kofun period in Japan. We also applied the technique to the analyses of the red pigment from Roman ruins (Badalona, Spain). Furthermore, we started to develop a method for the analyses of 3 isotopic abundance ratios (^{32}S , ^{33}S , and ^{34}S) of sulfur as a new parameter for identification of source mine. By analyzing these isotope ratios, it is possible to analyze the MIF (mass-independent-fractionation) effect. This is also expected to provide a new parameter for the analysis of environmental dynamics.

In FY2021, we operated ICP-MS as a shared-use instrument and analyzed a total of 179 samples from five laboratories.

(4) Development of chemical materials for ECR ion sources of the heavy-ion accelerators at RIBF

In 2021, we prepared $^{238}\text{UO}_2$ on a regular schedule for ^{238}U -ion accelerations with the 28-GHz ECR of RILAC II.

Members

Team Leader

Hiromitsu HABA

Research & Development Scientist

Hiroo HASEBE

Special Postdoctoral Researcher

Yudai SHIGEKAWA

Postdoctoral Researchers

Yang WANG

Xiaojie YIN

Technical Staff

Akihiro NAMBU

Junior Research Associate

Motoki SATO

Special Temporary Research Scientist

Kazuya TAKAHASHI

Visiting Researcher

Mizuki UENOMACHI

Research Part-time Workers

Michiko KITAGAWA (Research Part-time Worker I)

Nozomi SATO (Research Part-time Worker I)

Sachiko USUDA (Research Part-time Worker I)

Minako OSANAI (Research Part-time Worker II)

Research Consultant

Hisaaki KUDO (Niigata Univ.)

Visiting Scientists

Msayuki AIKAWA (Hokkaido Univ.)

Kazuhiko AKIYAMA (Tokyo Metropolitan Univ.)

Takatoshi AOKI (Univ. of Tokyo)

Masato ASAI (JAEA)

Ferenc DITROI (ATOMKI)

Shuichiro EBATA (Saitama Univ.)

Osuke FUJIMOTO (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Yuichi FUNASE (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Takahiro HIRAKI (Okayama Univ.)

Hayato IKEDA (Tohoku Univ.)

Masamichi KAJITA (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Yoshitaka KASAMATSU (Osaka Univ.)

Hiroshi KATO (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Mayeen U. KHANDAKER (Sunway Univ.)

Hidetoshi KIKUNAGA (Tohoku Univ.)

Yoshikatsu KOGA (Nat'l Cancer Center)

Shoko KUBOTA (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Takumi KUBOTA (Kyoto Univ.)

Takahiko MASUDA (Okayama Univ.)
 Toshimitsu MOMOSE (Int'l Univ. of Health and Welfare)
 Eri NAKAMURA (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Kenichiro OGANE (Int'l Univ. of Health and Welfare)
 Miki OHTSUKA (Waseda Univ.)
 Kazuhiro OOE (Osaka Univ.)
 Kai ORIHARA (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Shinobu OSHIKIRI (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Yasutaka SAITO (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Aya SAKAGUCHI (Tsukuba Univ.)
 Miho SATAKE (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Tetsuya SATO (JAEA)
 Yuki SATO (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)
 Kenji SHIMAZOE (Univ. of Tokyo)
 Keisuke SUEKI (Tsukuba Univ.)
 Kentaro SUZUKI (Fujifilm Toyama Chemical Co., Ltd.)

Zoltan SZUCS (ATOMKI)
 Sandor TAKACS (ATOMKI)
 Hiroyuki TAKAHASHI (Univ. of Tokyo)
 Miho TAKAHASHI (Tokyo Univ. of Marine Sci. and Tech.)
 Miwako TAKAHASHI (QST)
 Hiroki TAKASHIMA (Nat'l Cancer Center)
 Atsushi TOYOSHIMA (Osaka Univ.)
 Kazuaki TSUKADA (JAEA)
 Naoyuki UKON (Fukushima Medical Univ.)
 Ahmed R. USMAN (Umaru Musa Yar'adua Univ.)
 Takahiro YAMADA (Kindai Univ.)
 Chunli YANG (Inst. of Modern Phys./Chinese Academy of Sci.)
 Akihiko YOKOYAMA (Kanazawa Univ.)
 Zenko YOSHIDA (ATOX Co., Ltd.)
 Koji YOSHIMURA (Okayama Univ.)

Visiting Technicians

Hideyuki ARAI (Metal Tech. Co., Ltd.)
 Hiroshi ARATA (Metal Tech. Co., Ltd.)
 Mai FUKUMORI (ATOX Co., Ltd.)
 Hidehiro HASHIMOTO (Metal Tech. Co., Ltd.)
 Yoshiyuki IIZUKA (ATOX Co., Ltd.)
 Masataka IMAMURA (Japan Radioisotope Association)
 Shota KIMURA (Japan Radioisotope Association)
 Yukiyoshi KON (Osaka Univ.)
 Takashi KURIHARA (Metal Tech. Co., Ltd.)
 Takahiro MIKAMOTO (Japan Radioisotope Association)

Daiki MORI (Japan Radioisotope Association)
 Shingo NAKAMURA (Metal Tech. Co., Ltd.)
 Hiroki SHIBAHARA (ATOX Co., Ltd.)
 Yuki TAKEMURA (ATOX Co., Ltd.)
 Yasutaka TAKEUCHI (ATOX Co., Ltd.)
 Shusaku TAZAWA (ATOX Co., Ltd.)
 Sho TOMITA (ATOX Co., Ltd.)
 Yuichiro WAKITANI (Japan Radioisotope Association)
 Mami YUKI (ATOX Co., Ltd.)

Student Trainees

Kjeld A.A.G. BEEKS (Vienna Univ. of Tech.)
 Desheng CHEN (Univ. of Chinese Academy of Sci.)
 Gantumur DAMDINSUREN (Hokkaido Univ.)
 Shunsuke FUJINO (Kindai Univ.)
 Saki GOTO (Hokkaido Univ.)
 Ming GUAN (Okayama Univ.)
 Sena HAMAGAMI (Kindai Univ.)
 Yukina HANADA (Hokkaido Univ.)
 Mariko HISAMATSU (Osaka Univ.)
 Hiroyuki HOSOKAWA (Kanazawa Univ.)
 Xuan HOU (Univ. of Tokyo)
 He HUANG (Hokkaido Univ.)
 Mizuho KATO (Tsukuba Univ.)
 Cheonghun KIM (Univ. of Tokyo)
 Hongchang LIN (Univ. of Tokyo)

Kenichi MORI (Kindai Univ.)
 Ayumu NAGAI (Kanazawa Univ.)
 Akihisa NAKAJIMA (Tsukuba Univ.)
 Ryohei NAKANISHI (Osaka Univ.)
 Teruhito NAKASHITA (Univ. of Tokyo)
 Koichi OKAI (Okayama Univ.)
 Motoki SATO (Univ. of Tokyo)
 Kei SAWAMURA (Osaka Univ.)
 Fumiki SENSUI (Univ. of Tokyo)
 Katsuyuki TOKOI (Osaka Univ.)
 Eisuke WATANABE (Osaka Univ.)
 Kazeki YAMANE (Univ. of Tokyo)
 Zihan ZHANG (Rikkyo Univ.)
 Zhihong ZHONG (Univ. of Tokyo)

List of Publications & Presentations

Publications

[Original Papers]

- M. Aikawa, T. Maehashi, D. Ichinkhorloo, S. Ebata, Y. Komori, and H. Haba, "Activation cross sections of deuteron-induced reactions on praseodymium up to 24 MeV," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **498**, 23 (2021).
- D. Ichinkhorloo, M. Aikawa, Z. Tsoodol, T. Murata, M. Sakaguchi, Y. Komori, T. Yokokita, and H. Haba, "Production cross sections of dysprosium, terbium and gadolinium radioisotopes from the alpha-induced reactions on natural gadolinium up to 50 MeV," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **499**, 46 (2021).
- S. Manabe, H. Takashima, K. Ohnuki, Y. Koga, R. Tsumura, N. Iwata, Y. Wang, T. Yokokita, Y. Komori, S. Usuda, D. Mori, H. Haba, H. Fujii, M. Yasunaga, and Y. Matsumura, "Stabilization of an ^{211}At -labeled antibody with sodium ascorbate," *ACS Omega* **6**, 14887 (2021).
- M. Sakaguchi, M. Aikawa, N. Ukon, Y. Komori, H. Haba, N. Otuka, and S. Takács, "Activation cross section measurement of the alpha-particle induced reaction on natural neodymium," *Appl. Radiat. Isot.* **176**, 109826 (2021).

- Y. Shigekawa, A. Yamaguchi, K. Suzuki, H. Haba, T. Hiraki, H. Kikunaga, T. Masuda, S. Nishimura, N. Sasao, A. Yoshimi, and K. Yoshimura, "Estimation of radiative half-life of ^{229m}Th by half-life measurement of other nuclear excited states in ^{229}Th ," *Phys. Rev. C* **104**, 024306 (2021).
- P. Schury, T. Niwase, M. Wada, P. Brionnet, S. Chen, T. Hashimoto, H. Haba, Y. Hirayama, D. S. Hou, S. Iimura, H. Ishiyama, S. Ishizawa, Y. Ito, D. Kaji, S. Kimura, H. Koura, J. J. Liu, H. Miyatake, J. -Y. Moon, K. Morimoto, K. Morita, D. Nagae, M. Rosenbusch, A. Takamine, Y. X. Watanabe, H. Wollnik, W. Xian, and S. X. Yan, "First high-precision direct determination of the atomic mass of a superheavy nuclide," *Phys. Rev. C* **104**, L021304 (2021).
- S. Takács, F. Ditrói, Z. Szűcs, K. Brezovcsik, H. Haba, Y. Komori, M. Aikawa, M. Saito, T. Murata, M. Sakaguchi, and N. Ukon, "Cross section measurement of alpha-particle-induced reactions on ^{nat}Sb ," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **505**, 24 (2021).
- N. Kitamura, N. Imai, H. Haba, S. Michimasa, S. Shimoura, and Y. Yamaguchi, "Production of $^{178}\text{Hf}^{m2}$ and a simple chemical separation method for Hf recovery," *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **330**, 721 (2021).
- T. Niwase, M. Wada, P. Schury, P. Brionnet, S. D. Chen, T. Hashimoto, H. Haba, Y. Hirayama, D. S. Hou, S. Iimura, H. Ishiyama, S. Ishizawa, Y. Ito, D. Kaji, S. Kimura, J. Liu, H. Miyatake, J. Y. Moon, K. Morimoto, K. Morita, D. Nagae, M. Rosenbusch, A. Takamine, T. Tanaka, Y. X. Watanabe, H. Wollnik, W. Xian, and S. X. Yan, " α -decay-correlated mass measurement of $^{206,207g,m}\text{Ra}$ using an α -TOF detector equipped multireflection time-of-flight mass spectrographs system," *Phys. Rev. C* **104**, 044617 (2021).
- T. Aoki, R. Sreekantham, B. K. Sahoo, B. Arora, A. Kastberg, T. Sato, H. Ikeda, N. Okamoto, Y. Torii, T. Hayamizu, K. Nakamura, S. Nagase, M. Ohtsuka, H. Nagahama, N. Ozawa, M. Sato, T. Nakashita, K. Yamane, K. S. Tanaka, K. Harada, H. Kawamura, T. Inoue, A. Uchiyama, A. Hatakeyama, A. Takamine, H. Ueno, Y. Ichikawa, Y. Matsuda, H. Haba, and Y. Sakemi, "Quantum sensing of the electron electric dipole moment using ultracold entangled Fr atoms," *Quantum Sci. Technol.* **6**, 044008 (2021).
- M. Aikawa, Y. Hanada, H. Huang, and H. Haba, "Activation cross sections of proton-induced reactions on praseodymium up to 30 MeV," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **508**, 29 (2021).
- A. Yakushev, L. Lens, C. E. Düllmann, M. Block, H. Brand, M. Dasgupta, T. Calverley, A. D. Nitto, M. Götz, S. Götz, H. Haba, L. Harkness-Brennan, R-D. Herzberg, F. P. Heßberger, D. Hinde, A. Hübner, E. Jäger, D. Judson, J. Khuyagbaatar, B. Kindler, Y. Komori, J. Konki, J. V. Kratz, J. Krier, N. Kurz, M. Laatiaoui, B. Lommel, C. Lorenz, M. Maiti, A. K. Mistry, C. Mokry, Y. Nagame, P. Papadakis, A. Sámárk-Roth, D. Rudolph, J. Runke, L. G. Sarmiento, T. K. Sato, M. Schädel, P. Scharrer, B. Schausten, J. Steiner, P. Thörle-Pospiech, A. Toyoshima, N. Trautmann, J. Uusitalo, A. Ward, M. Wegrzecki, and V. Yakusheva, "First study on nihonium (Nh, element 113) chemistry at TASCA," *Front. Chem.* **9**, 753738 (2021).
- E. Watanabe, Y. Kasamatsu, T. Yokokita, S. Hayami, K. Tonai, H. Ninomiya, N. Kondo, Y. Shigekawa, H. Haba, Y. Kitagawa, M. Nakano, and A. Shinohara, "Anion-exchange experiment of Zr, Hf, and Th in HNO_3 and quantum chemical study on the nitrate complexes toward chemical research on element 104, Rf," *Solvent Extr. Ion Exch.*, published online (December 31, 2021). DOI: 10.1080/07366299.2021.2020956.
- T. Minami, A. Takeuchi, S. Imazu, M. Okuyama, Y. Higashikage, T. Mizuno, K. Okabayashi, and K. Takahashi, "Identification of source mine using sulfur, mercury, and lead isotope analyses of vermilion used in three representative tombs from Kofun period in Japan," *J. Archaeol. Sci.* **37**, 102970 (2021).
- D. Kim, M. Uenomachi, K. Shimazoe, and H. Takahashi, "Evaluation of single scattering correction method in Compton imaging system," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **1010**, 165568 (2021).
- 羽場宏光, 「理研における At-211 の製造分離状況と将来計画」, 放射線科学フロンティア～孟宗竹～, 第 3 号, p. 9 (2021).
- 島添健次, 上ノ町水紀, 吉野将生, 「コンプトン PET ハイブリッドカメラによる PET/SPECT 診断・治療における多核種撮像技術の開発」, *Med. Imag. Tech.* **39**, 206 (2021).
- T. Hayamizu, H. Haba, K. Nakamura, T. Aoki, H. Nagahama, K. S. Tanaka, N. Ozawa, M. Ohtsuka, and Y. Sakemi, "Development of ultracold francium atomic sources towards the permanent EDM search," *Few-Body Syst.* **63**, 11 (2022).
- T. Yokokita, S. Yano, Y. Komori, and H. Haba, "Anion- and cation-exchange studies of Zr, Hf, and Th using ion-exchange resin and fiber in H_2SO_4 media for chemical characterization of sulfate complex of Rf," *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **331**, 1127 (2022).
- M. Aikawa, Y. Hanada, D. Ichinkhorloo, H. Haba, S. Takács, F. Ditrói, and Z. Szűcs, "Production cross sections of ^{47}Sc via alpha-particle-induced reactions on natural calcium up to 29 MeV," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **515**, 1 (2022).
- M. Uenomachi, K. Shimazoe, and H. Takahashi, "Double photon coincidence crosstalk reduction method for multi-nuclide Compton imaging," *J. Instrum.* **17**, P04001 (2022).

[Review Article]

- 羽場宏光, 小林奈通子, 永津弘太郎, 西弘大, 簗野健太郎, 福田光宏, 間賀田泰寛, 山田崇裕, 鷺山幸信, 渡部浩司, 「2019 年度 RI 製造・利用調査報告書」, *Radioisotopes* **70**, 251 (2021).

[Books]

- 羽場宏光, 「新元素ニホニウムはいかにして創られたか」, 東京化学同人, 176 ページ, 2021 年 12 月 17 日.
- 南武志, 高橋和也, 「旧練兵場遺跡出土赤色顔料(朱)の硫黄同位体比分析」, 香川県立普通寺養護学校移転に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書「旧練兵場遺跡(第 26 次調査)」, 香川県教育委員会, pp. 391–403, 2022 年 3 月.

[Proceedings]

- 羽場宏光, 「モニタリングポスト 第 58 回アイソトープ・放射線研究発表会印象記 パネル討論 我が国の RI 製造供給の現状と将来」, *Isotope News*, **778**, 12 月号, 58 (2021).
- 南武志, 高橋和也, 「みやき町大塚遺跡出土朱の産地推定」, みやき町文化財調査報告書第 28 集みやき町内遺跡 確認・試掘調査報告書, 佐賀県みやき町教育委員会, pp. 391–413 (2021).
- A. Mukai, S. Hara, K. Yamagishi, R. Terabayashi, K. Shimazoe, Y. Tamura, H. Woo, T. Kishimoto, H. Kogami, Z. Zhihong, M. Ueno-

machi, A. Naurrachman, H. Takahashi, H. Asama, F. Ishida, H. Ebi, E. Takada, J. Kawarabayashi, K. Tanave, K. Kamada, and H. Tomita, "Optimization of detector movement algorithm using decision trees analysis for radiation source identification based on 4π gamma imaging," in 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), IEEE, pp. 1026–1029 (2022).

Presentations

[International Conferences/Workshops]

- M. Uenomachi (poster), K. Shimazoe, and H. Takahashi, "Double photon coincidence crosstalk reduction method for multi-nuclide Compton imaging," 22nd International Workshop on Radiation Imaging Detectors (22nd iWoRiD), Online, June 27–July 1, 2021.
- K. Tanaka (poster), K. Hirano, A. Yamaguchi, H. Muramatsu, T. Hayashi, N. Yuasa, K. Nakamura, M. Takimoto, H. Haba, K. Shirasaki, H. Kikunaga, K. Maehata, N. Y. Yamasaki, and K. Mitsuda, "Challenge to improve the ^{229}Th isomer energy measurement with TES calorimeters," 19th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD19), Online, July 19–29, 2021.
- A. Yamaguchi (oral), Y. Shigekawa, H. Haba, and M. Wada, "Development of an RF-carpet gas cell to obtain an ion beam of thorium-229," 32nd International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (VicPEAC 2021), Online, July 20–23, 2021.
- H. Haba (invited), "Production and applications of radioisotopes at RIKEN RI Beam Factory," International Discussion Meeting on Future of Accelerator Applications and Radiotracers Research (FAAARR2021), Online, July 26–27, 2021.
- M. Sato (oral), "Search for permanent EDM by using Fr atoms," CNS Summer School, Wako, Japan, August 16–20, 2021.
- H. Haba (invited), "Production of radioisotopes for application studies at RIKEN RI Beam Factory," Snowmass'21 Workshop on High Power Cyclotrons/FFAs, Online, September 7–9, 2021.
- M. Uenomachi (oral), K. Shimazoe, K. Kamada, T. Orita, M. Takahashi, and H. Takahashi, "Development of Compton-PET hybrid imaging system with CeBr_3 -SiPM arrays," The 12th International Conference on Position Sensitive Detectors (PSD12), Online, September 12–17, 2021.
- H. Takashima (oral), Y. Koga, S. Manabe, K. Ohnuki, R. Tsumura, T. Anzai, Y. Wang, X. Yin, A. Nambu, N. Sato, S. Usuda, H. Haba, H. Fujii, Y. Matsumura, and M. Yasunaga, "Antitumor effect of astatine-211-labeled anti-tissue factor antibody stabilized with sodium ascorbate," The 80th Annual Meeting of the Japanese Cancer Association, Yokohama, Japan, September 30–October 2, 2021.
- T. Fukuchi (oral), H. Kikunaga, H. Haba, S. Yamamoto, and Y. Watanabe, "Titanium-44 phantom production and PET imaging for photon activation analysis," 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Online, October 16–23, 2021.
- M. Uenomachi (oral/poster), K. Ogane, Z. Zhong, K. Shimazoe, K. Kamada, H. Takahashi, Y. Wang, and H. Haba, "Simultaneous PET, SPECT and therapeutic nuclides imaging with Compton-PET hybrid camera," 2021 Virtual IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (2021 IEEE NSS/MIC), Online, October 16–23, 2021.
- M. Sato (oral), "Search for permanent EDM by using Fr atoms," SPIN 2021, Online, October 18–21, 2021.
- H. Haba (invited), "Production and applications of radioisotopes at RIKEN RI Beam Factory -Search for new elements through diagnosis and therapy of cancer-," RIKEN-KFU (Kazan Federal University) 3rd Joint Symposium, Online, November 5–6, 2021.
- T. Aoki (poster), R. Sreekantham, B. K. Sahoo, B. Arora, A. Kastberg, T. Sato, H. Ikeda, N. Okamoto, Y. Torii, T. Hayamizu, K. Nakamura, S. Nagase, M. Ohtsuka, H. Nagahama, N. Ozawa, M. Sato, T. Nakashita, K. Yamane, K. S. Tanaka, K. Harada, H. Kawamura, T. Inoue, A. Uchiyama, A. Hatakeyama, A. Takamine, H. Ueno, Y. Ichikawa, Y. Matsuda, H. Haba, and Y. Sakemi, "Quantum sensing of the electron electric dipole moment using quantum entangled atoms," International Symposium on Novel maTerials and quantum Technologies (ISNTT2021), Online, December 16, 2021.
- A. Yamaguchi (oral), Y. Shigekawa, H. Haba, M. Wada, and H. Katori, "Development of an RF-carpet gas cell to obtain a low-energy thorium ion beam," Second Workshop of the Center for Time, Constants and Fundamental Symmetries, Online, March 23, 2022.

[Domestic Conferences/Workshops]

- 福地知則 (口頭発表/ポスター発表), 金山洋介, 蔵地理代, 中谷友香, 羽場宏光, 森大輝, 横北卓也, 小森有希子, 山本誠一, 渡辺恭良, 「複数トレーサー PET を用いた異なるがん診断薬の直接比較」, 第 15 回日本分子イメージング学会総会・学術集会, 熊本市, 2021 年 5 月 26–27 日.
- 高島大輝 (口頭発表), 眞鍋史乃, 大貫和信, 古賀宣勝, 津村遼, 安西高廣, Wang Yang, Ying Xiaojie, 南部明弘, 佐藤望, 白田祥子, 羽場宏光, 藤井博史, 松村保広, 安永正浩, 「アルファ線放出核種アスタチン-211 結合抗組織因子抗体の前臨床試験」, 第 37 回日本 DDS 学会学術集会, 千葉市, 2021 年 6 月 29–30 日.
- 羽場宏光 (口頭発表), 「理研 RI ビームファクトリーにおける RI 製造供給」, 第 58 回アイソトープ・放射線研究発表会, オンライン, 2021 年 7 月 7–9 日.
- 南部明弘 (口頭発表), Y. Xiaojie, 羽場宏光, 押切忍, 加藤寛, 日野明弘, 「 $^{232}\text{Th} + ^{14}\text{N}$ 反応による ^{225}Ac の製造」, 第 58 回アイソトープ・放射線研究発表会, オンライン, 2021 年 7 月 7–9 日.
- 羽場宏光 (口頭発表), 「RIBF 施設紹介」, 新学術領域研究 (研究領域提案型) 『学術研究支援基盤形成』短寿命 RI 供給プラットフォーム成果報告会 兼 RI 利用研究会, オンライン, 2021 年 7 月 19–20 日.
- 井上貴之 (口頭発表), 羽場宏光 (口頭発表), 「2019 年度 RI 製造・利用調査概要報告」, 新学術領域研究 (研究領域提案型) 『学術研究支援基盤形成』短寿命 RI 供給プラットフォーム成果報告会 兼 RI 利用研究会, オンライン, 2021 年 7 月 19–20 日.
- 上ノ町水紀 (招待講演), 「二光子同時計測法を用いたマルチ RI トレーサーイメージング技術の開発」, 電気学会調査専門委員会「放射線技術を利用した微量分析およびイメージング技術」, オンライン, 2021 年 8 月 6 日.
- 羽場宏光 (口頭発表), 「核化学ロードマップについて」, 第 59 回核化学夏の学校, オンライン, 2021 年 8 月 26–27 日.
- 中島朗久 (口頭発表), 坂口綾, 早川優太, 羽場宏光, 塚田和明, K. Hain, J. Zheng, 瀬古典明, 保科宏行, 山崎信哉, 末木啓介, 横山明彦, 「質量分析による環境中 ^{237}Np 定量法確立に向けて」, 日本地球化学会第 68 回年会, 弘前市/オンライン, 2021 年 9 月 6–10 日.
- 合川正幸 (口頭発表), 前橋拓斗, ダグワドルジ イチンホルロー, 江幡修一郎, 小森有希子, 羽場宏光, 「 ^{141}Pr 標的への重陽子入射反

- 応による ^{140}Nd 生成反応断面積の測定」, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, オンライン, 2021 年 9 月 8–10 日.
- 上ノ町水紀 (口頭発表), 島添健次, 織田忠, 鎌田圭, 高橋浩之, 「 CeBr_3 ピクセル検出器を用いた Compton-PET hybrid camera の開発」, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, オンライン, 2021 年 9 月 8–10 日.
- 庭瀬暁隆 (口頭発表), P. Schury, 和田道治, P. Brionnet, S. Chen, 橋本尚志, 羽場宏光, 平山賀一, D. S. Hou, 飯村俊, 石山博恒, 石澤倫, 伊藤由太, 加治大哉, 木村創大, 小浦寛之, 宮武宇也, J. Y. Moon, 森本幸司, 森田浩介, 長江大輔, M. Rosenbusch, 高峰愛子, 渡辺裕, H. Wollnik, W. Xian, S. X. Yan, 「超重核 ^{257}Db の直接質量測定」, 日本物理学会 2021 年秋季大会, オンライン, 2021 年 9 月 14–17 日.
- 岡井晃一 (口頭発表), K. Beeks, 藤本弘之, M. Guan, 羽場宏光, 原秀明, 海野弘之, 笠松良崇, 北尾真司, 小早川大貴, 小無健司, 増田孝彦, 宮本祐樹, 平木貴宏, 笹尾登, T. Schumm, 瀬戸誠, 重河優大, 玉作賢治, 植竹智, J. Wang, 渡部信, 渡部信, 山口敦史, 安田勇輝, 依田芳卓, 吉見彰洋, 吉村浩司, 吉村太彦, 「トリウム 229 アイソマー状態からの真空紫外光探索」, 日本物理学会 2021 年秋季大会, オンライン, 2021 年 9 月 14–17 日.
- 庭瀬暁隆 (口頭発表), 和田道治, P. Schury, P. Brionnet, S. D. Chen, 橋本尚志, 羽場宏光, 平山賀一, D. S. Hou, 飯村俊, 石山博恒, 石澤倫, 伊藤由太, 加治大哉, 木村創大, J. Liu, 宮武宇也, J. Y. Moon, 森本幸司, 森田浩介, 長江大輔, M. Rosenbusch, 高峰愛子, 田中泰貴, 渡辺裕, H. Wollnik, W. Xian, S. X. Yan, 「MRTOF と α -TOF 検出器による, α 崩壊に 관련된 精密質量測定法の開拓」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 床井健運 (ポスター発表), 豊嶋厚史, 大江一弘, 角永悠一郎, 寺本高啓, 中川創太, 吉村崇, 笠松良崇, 羽場宏光, 王洋, 篠原厚, 「At が形成するハロゲン結合の解離エネルギー測定に向けた AtI の生成条件と揮発性の分析」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 永井歩夢 (ポスター発表), 寺西翔, 坂口綾, 中島朗久, 羽場宏光, 横北卓也, 南部明弘, 横山明彦, 「トリウム標的への Li イオン照射によって生じる ^{236}U の ICP-MS による定量」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 永井雄太 (ポスター発表), 青井景都, 丸山俊平, 西中一朗, 鷲山幸信, 羽場宏光, 横山明彦, 「核医学用アスタチン抽出に利用できるイオン液体の研究」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 中川創太 (口頭発表), 豊嶋厚史, 角永悠一郎, 大江一弘, 寺本高啓, 床井健運, 神田晃充, 吉村崇, 永田光知郎, 笠松良崇, 羽場宏光, 王洋, 篠原厚, 「電解酸化反応を用いた分子標的薬への ^{211}At 標識化法の開発」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 黄栢昊 (口頭発表), 加藤弘樹, 角永悠一郎, 下山敦史, 樺山一哉, 片山大輔, 大江一弘, 豊嶋厚史, 羽場宏光, 王洋, 篠原厚, 深瀬浩一, 「新規アルファ線ブラキセラピー開発に向けた At-211 標識金ナノ粒子の合成と機能評価」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 寺本高啓 (ポスター発表), 大江一弘, 王洋, 羽場宏光, 豊嶋厚史, 「アスタチン化合物の分光・可視化にむけた新規手法の提案」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 重河優大 (ポスター発表), 床井健運, 山口敦史, W. Yang, Y. Xiaojie, 南部明弘, 佐藤望, 和田道治, 羽場宏光, 「Th-229m の壊変特性の解明に向けた高周波イオン収集・質量分離装置の開発」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 西村峻 (ポスター発表), 雨倉啓, 秋山和彦, 羽場宏光, 高宮幸一, 久富木志郎, 「HPLC 分析によるランタノイド内包フラーレン ($\text{Ln}^{3+}@\text{C}_{82}^{3-}$) の電子状態に関する研究」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 澤村慶 (ポスター発表), 笠松良崇, 重河優大, 篠原厚, 「低エネルギー励起核種 U-235m のハロゲン化物の半減期変化」, 日本放射化学会第 65 回討論会 (2021), オンライン, 2021 年 9 月 22–24 日.
- 梅田泉 (口頭発表), 永田みどり, 天崎茜, 大貫和信, 柳下淳, 桂川美穂, 織田忠, 武田伸一郎, 羽場宏光, 藤井博史, 高橋忠幸, 「Rhenium-186 の錯体形成に関する諸検討」, 第 61 回日本核医学会学術総会, 名古屋市, 2021 年 11 月 4–6 日.
- 芝原裕規 (口頭発表), 竹村友紀, 福森麻衣, 殷小杰, 南部明弘, 結城真美, 田沢周作, 羽場宏光, 「TAT のための $^{228}\text{Th}/^{224}\text{Ra}/^{212}\text{Pb}$ ジェネレーターシステム開発 (2)—高比放射能 ^{212}Pb の製造—」, 第 61 回日本核医学会学術総会, 名古屋市, 2021 年 11 月 4–6 日.
- 武藤大河 (口頭発表), P. Brionnet, 浅井雅人, 郷慎太郎, R. Grzywacz, 羽場宏光, 加治大哉, 木村創太, T. King, 森本幸司, K. Rykaczewski, 坂口聡志, 酒井英行, 森田浩介, 庭瀬暁隆, 田中聖臣, 「Si 検出器の波形解析による軽粒子識別」, 第 127 回日本物理学会九州支部例会, オンライン, 2021 年 12 月 4 日.
- 大島康宏 (ポスター発表), 鈴木博元, 花岡宏史, 佐々木一郎, 渡辺茂樹, 羽場宏光, 荒野泰, 対馬義人, 石岡典子, 「LAT1 を標的とした新規 α 線標的アイソトープ治療薬: 2-[^{211}At]astato- α -methyl-L-phenylalanine の非臨床評価」, QST 高崎サイエンスフェスタ 2021, 高崎市/オンライン, 2021 年 12 月 7–8 日.
- 羽場宏光 (招待講演), 「短寿命 RI の製造・分離」, QiSS シンポジウム, 大阪市/オンライン, 2022 年 2 月 19 日.
- 山口敦史 (ポスター発表), 重河優大, 羽場宏光, 和田道治, 香取秀俊, 「原子核時計実現にむけたトリウムイオンのトラップ」, 第 9 回「光量子工学研究」—エクストリームフォトニクスが拓く未来の光科学—, オンライン, 2022 年 2 月 28 日–3 月 1 日.
- 羽場宏光 (口頭発表), 「ケミカルプローブ用ラジオアイソトープの製造開発」, Chemical Probe (生命現象探索分子) 最終報告会 (第 4 回), 和光市, 2022 年 3 月 1 日.
- 木村創大 (口頭発表), 和田道治, 羽場宏光, 石澤倫, 森本幸司, 庭瀬暁隆, M. Rosenbusch, Peter Schury for the SHE-Mass Collaboration, 「MRTOF-MS を用いた ^{252}Cf 自発核分裂片の網羅的精密質量測定」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), オンライン, 2022 年 3 月 15–19 日.
- 平木貴宏 (口頭発表), Kjeld Beeks, 藤本弘之, 福永優太, 菅明, 羽場宏光, 原秀明, 稲垣新, 小早川大貴, 笠松良崇, 北尾真司, 小無健司, 増田孝彦, 宮本祐樹, 岡井晃一, 笹尾登, T. Schumm, 瀬戸誠, 重河優大, 玉作賢治, 植竹智, 渡部信, 渡部信, 山口敦史, 安田勇輝, 依田芳卓, 吉見彰洋, 吉村浩司, 吉村太彦, 「トリウム 229 アイソマー状態からの脱励起真空紫外光探索」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), オンライン, 2022 年 3 月 15–19 日.
- 庭瀬暁隆 (口頭発表), P. Schury, 和田道治, P. Brionnet, S. Chen, 羽場宏光, 平山賀一, D. S. Hou, 飯村俊, 石山博恒, 伊藤由太, 加治大哉, 木村創大, 小浦寛之, 宮武宇也, 森本幸司, 森田浩介, 長江大輔, M. Rosenbusch, 高峰愛子, 渡辺裕, H. Wollnik, W. Xian, S. X. Yan,

「MRTOF+ α -TOF による $^{257,258}\text{Db}$ の精密質量測定」, 日本物理学会第 77 回年次大会 (2022 年), オンライン, 2022 年 3 月 15–19 日.
 亀谷晃毅 (口頭発表), 三木謙二郎, 今井伸明, 上坂友洋, 大田晋輔, 笹野匡紀, 竹田浩之, 波多野雄治, 羽場宏光, 早水友洋, 原正憲, 道正
 新一郎他, RIBF-SHARAQ11 Collaboration, 「 $^3\text{H}(t, ^3\text{He})^3n$ 反応による三中性子系質量欠損測定 of 的遂行」, 日本物理学会第 77 回年
 次大会 (2022 年), オンライン, 2022 年 3 月 15–19 日.

高橋浩之 (口頭発表), 島添健次, 鎌田圭, 羽場宏光, 百瀬敏光, 「多光子ガンマ線時間・空間相関型イメージング法の研究 1 (全体概
 要)」, 2022 年第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 相模原市/オンライン, 2022 年 3 月 22–26 日.

島添健次 (口頭発表), 高橋浩之, 鎌田圭, 羽場宏光, 上ノ町水紀, 百瀬敏光, 大鐘健一郎, 「多光子ガンマ線時間・空間相関型イメ
 ジング法の研究 2 (システム開発)」, 2022 年第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 相模原市/オンライン, 2022 年 3 月 22–26 日.

横北卓也 (口頭発表), 羽場宏光, 「Zr 及び Hf のスルファート錯体推定に向けた TOA/H₂SO₄ 系の溶媒抽出」, 日本化学会第 102 春季
 年会 (2022), オンライン, 2022 年 3 月 23–26 日.

中川創太 (口頭発表), 角永悠一郎, 大江一弘, 寺本高啓, 床井健運, 神田晃充, 笠松良崇, 永田光知郎, 羽場宏光, 王洋, 吉村崇, 豊嶋
 厚史, 篠原厚, 「電解酸化反応を利用したアミノ酸へのアスタチン標識法の開発」, 日本化学会第 102 春季年会 (2022), オンライ
 ン, 2022 年 3 月 23–26 日.

麻生彩佳 (口頭発表), 兼田加珠子, 下山敦史, 角永悠一郎, 白神宜史, 渡部直史, 豊嶋厚史, 羽場宏光, 王洋, 篠原厚, 深瀬浩一, 「新規
 アルファ線核医学治療薬開発を目指した ^{211}At -FAPI の合成と評価」, 日本化学会第 102 春季年会 (2022), オンライン, 2022 年
 3 月 23–26 日.

床井健運 (口頭発表), 豊嶋厚史, 大江一弘, 角永悠一郎, 寺本高啓, 中川創太, 今田彩香, 吉村崇, 笠松良崇, 羽場宏光, 王洋, 篠原厚,
 「アスタチンのハロゲン結合エネルギー測定に向けた条件検討」, 日本化学会第 102 春季年会 (2022), オンライン, 2022 年 3 月
 23–26 日.

合川正幸 (口頭発表), 花田幸奈, ダグワドルジ イチンホルロー, 羽場宏光, タカッチ サンドール, デイトロイ フェレンチ, ブーチゾ
 ルタン, 「カルシウム標的へのアルファ粒子入射反応による Sc 生成反応断面積測定」, 日本原子力学会 2022 年春の年会, オンラ
 イン, 2022 年 3 月 16–18 日.

上ノ町水紀 (口頭発表), 大鐘健一郎, Zhihong Zhong, 島添健次, 鎌田圭, 高橋浩之, Yang Wang, 羽場宏光, 「Compton-PET ハイブリッ
 ドカメラを用いた診断治療核種同時撮像検証」, 日本原子力学会 2022 年春の年会, オンライン, 2022 年 3 月 16–18 日.

Award

上ノ町水紀, “Double photon emission coincidence imaging with GAGG-SiPM Compton camera,” 日本原子力学会放射線工学会賞
 奨励賞, 2021 年 9 月.

Press Release

難治性甲状腺がんに対する医師主導治験を開始—アスタチンを用いた新しい標的アルファ線治療—, 大阪大学, 理化学研究所, 2021
 年 11 月 29 日. https://www.riken.jp/pr/news/2021/20211129_1.

Patent

安良田寛, 中村伸悟, 栗原嵩司, 羽場宏光, 「量子線照射のための標的保持装置, システム, 標的, および方法」, 特願 2021-190640.

Outreach Activities

羽場宏光 (依頼講演), 「ニホニウム発見への道のり」, 大宮北高校 SSH 特別講演会, 大宮市, 2021 年 10 月 4 日.
 羽場宏光 (依頼講演), 「新元素でがん治療～RIBF がつくるラジオアイソトープ～」, 第 9 回理研イノベーションセミナー, オン
 ライン, 2022 年 1 月 21 日.
 羽場宏光 (依頼講演), 「ニホニウム発見への道のり」, 早稲田大学本庄高等学院課外講義, オンライン, 2022 年 3 月 12 日.

Others

小川美香子, 渡部直史, 上原知也, 清野泰, 永津弘太郎, 藤井博史, 小川数馬, 羽場宏光, 「短飛程放射線を活用した核医学治療薬剤の
 現状と将来」, 第 2 回日本アイソトープ協会シンポジウムパネル討論, オンライン, 2021 年 11 月 29 日.
 出光一哉, 大越実, 羽場宏光, 福谷哲, 坂井章浩, 「研究施設等廃棄物の埋設事業へ向けた取り組みについて」, 日本原子力学会 2022
 年春の年会バックエンド部会企画セッション, オンライン, 2022 年 3 月 17 日.