

Activity Report of
Radiation Science Center
in Fiscal 2018

KEK

Radiation Science Center
Applied Research Laboratory

© **High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2019**

KEK Reports are available from:

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi
Ibaraki-ken, 305-0801
JAPAN

Phone: +81-29-864-5137

Fax: +81-29-864-4604

E-mail: irdpub@mail.kek.jp

Internet: <https://www.kek.jp/en>

放射線科学センター
2018年度 活動報告

高エネルギー加速器研究機構

共通基盤研究施設 放射線科学センター

PREFACE

The Radiation Science Center is concerned with the management of both radiation and chemical safety in KEK. In addition to the tight routine work, R&D work in this field is conducted. The first part is the R&D activities reported in English and the second part is the studies related to the routine work written in Japanese. The third part is the data related to our activities including awards, name of outside committees we are engaged in, workshops and symposia, publications, and funds we got.

In FY 2018 effort for earthquake disaster reconstruction was continued in the field of measurement and estimation of radioactivity which was released in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. This includes radioactivity measurement for samples from Fukushima prefecture, setting up of radiation monitor, estimation of radioactivity in air just after the accident, and talks on basic knowledge regarding radiation in schools.

Yoshihito Namito

Head, Radiation Science Center

High Energy Accelerator Research Organization

Contents

| | |
|---|-----------|
| Chapter 1 Research Activity | 1 |
| 1. Research in Radiation Physics and Detector Development | 2 |
| 2. Experimental Technology and Monte Carlo Simulation Related to Radiation Shielding | 10 |
| 3. Radiation Protection Study in Accelerator Facilities | 14 |
| 4. Nuclear Chemistry and Radiochemistry | 20 |
| 5. Research related to Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station | 23 |
| | |
| Chapter 2 研究支援活動 | 25 |
| 1. 体制 | 26 |
| 1.1 放射線管理体制 | 26 |
| 1.2 放射線業務分担 | 29 |
| 1.3 化学安全管理体制 | 32 |
| 2. 放射線安全管理関係 | 33 |
| 2.1 つくばキャンパス | 33 |
| 2.2 東海キャンパス(J-PARC) | 38 |
| 3. 化学安全・環境関係 | 40 |
| 3.1 依頼分析 | 40 |
| 3.2 環境管理 | 40 |
| 3.3 実験廃液処理 | 40 |
| 3.4 RI 廃水処理 | 40 |
| | |
| Chapter 3 資料 | 41 |
| 1. 外部資金導入状況 | 42 |
| 1.1 科学研究費補助金 | 42 |
| 1.2 受託研究等 | 42 |
| 1.3 共同開発研究 | 42 |
| 1.4 その他 | 42 |

| | |
|----------------------------|----|
| 2. 共同研究等 | 42 |
| 2.1 大学等との共同研究 | 42 |
| 2.2 民間との共同研究 | 43 |
| 2.3 共同利用研究(施設利用) | 44 |
| 3. 大学院生等の人材育成 | 45 |
| 3.1 学位論文の指導(総合大学院大学) | 45 |
| 3.2 学位論文の指導 (他大学) | 45 |
| 3.3 学術指導 | 45 |
| 4. センター開催の研究会及びシンポジウム | 45 |
| 4.1 第 25 回 EGS4 研究会 | 45 |
| 4.2 第 20 回「環境放射能」研究会 | 46 |
| 4.3 第 33 回研究会「放射線検出器とその応用」 | 46 |
| 5. 教育活動 | 46 |
| 5.1 総合研究大学院大学 | 46 |
| 5.2 非常勤講師等 | 46 |
| 6. 機構外活動・社会貢献件活動 | 46 |
| 6.1 外部委員会等 | 46 |
| 6.2 学会等 | 47 |
| 6.3 講習会等 | 47 |
| 6.4 社会貢献等 | 47 |
| 7. 受賞記録 | 48 |
| 8. 放射線科学センター名簿 | 48 |

Chapter 4 Publication List 49

| | |
|---|----|
| 1. Papers (2018.1.1-2018.12.31) | 49 |
| 2. Publication in Japanese (2018.1.1-2018.12.31) | 51 |
| 3. Proceedings (2018.1.1-2018.12.31) | 51 |
| 4. Reports (2018.1.1-2018.12.31) | 53 |
| 5. Presentation at Conferences (2018.4.1-2019.3.31) | 53 |
| 5.1 International Conference | 53 |
| 5.2 Domestic Conference | 55 |
| 6. 編集 (2018.4.1-2019.3.31) | 61 |
| 7. 手引き等 | 61 |

Chapter 1 Research Activity

The feature of the research activities in the Radiation Science Center (RSC), KEK is a wide coverage of the research fields. Radiation physics, radiation measurements, radiochemistry, radiation chemistry, health physics, radiation shielding, nuclear engineering, analytical chemistry and environmental science are included in the research fields of the RSC's staff members. The status of these research activities carried out in fiscal year 2018 is described.

1. Research in Radiation Physics and Detector Development

1.1 Measurement of the excitation function of $^{96}\text{Zr}(\alpha, n)^{99}\text{Mo}$ for an alternative production source of medical radioisotopes

M. Hagiwara¹, H. Yahima², T. Sanami¹, S. Yonai³

¹KEK, ²KURNS, ³QST

To assess the feasibility of an innovative medical $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ production route using a low-energy accelerator, we measured the excitation function of the $^{96}\text{Zr}(\alpha, n)^{99}\text{Mo}$ reaction in the energy range from 11 to 23 MeV using a 24 MeV α beam. The present results showed higher values than past data in the peak region, although both data were almost identical above 17 MeV. The production rate of ^{99}Mo from a ^{96}Zr target with incident energies of α particles below 23 MeV was also estimated using the measured excitation function.

Published as J. Radioanal. Nucl. Chem., 318 (2018) 569-573.

1.2 Measurements and FLUKA simulations of bismuth and aluminum activation at the CERN shielding benchmark facility (CSBF)

E. Iliopoulou^{1,2}, R. Froeschl¹, M. Brugger¹, S. Roesler¹, A. Infantino¹, N. Nakao³, T. Sanami⁴, T. Kajimoto⁵, A. Siountas², P. Bamidis²

¹ CERN, ² Univ. of Thessaloniki, ³ Shimizu Corp. ⁴ KEK, ⁵ Hiroshima Univ.

The CERN High Energy Accelerator Mixed field facility (CHARM) is located in the CERN PS East Experimental Area. The facility receives a pulsed proton beam from the CERN PS with a beam momentum of 24 GeV/c with 5×10^{11} pps with a pulse length of 350 ns and with a maximum average beam intensity of 6.6×10^{10} pps. The shielding of the CHARM facility also includes the CERN Shielding Benchmark Facility (CSBF) situated laterally above the target. This facility consists of 80 cm of cast iron and 360 cm of concrete with barite concrete in some places. Activation samples of bismuth and aluminum were placed in the CSBF and in the CHARM access corridor in July 2015. Monte Carlo simulations with the FLUKA code have been performed to estimate the specific production yields for these samples. The results estimated by FLUKA Monte Carlo simulations are compared to activation measurements of these samples. The comparison between

FLUKA simulations and the measured values from gamma spectrometry gives an agreement better than a factor of 2.

Published as Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 885 (2018) 79–85.

1.3 Neutron energy spectrum measurement using an NE213 scintillator at CHARM

T. Kajimoto¹, T. Sanami², N. Nakao³, R. Froeschl⁴, S. Roesler⁴, E. Iliopoulou^{4,5}, A. Infantino⁴,
M. Brugger⁴, E. J. Lee⁶, N. Shigyo⁶, M. Hagiwara², H. Yashima⁷, H. Yamazaki², K. Tanaka¹,
S. Endo¹

¹ Hiroshima Univ., ² KEK, ³ Shimizu Corp. ⁴ CERN, ⁵ Univ. of Thessaloniki, ⁶ Kyushu Univ.,
⁷KURNS

To establish a methodology for neutron spectrum measurement at the CERN High energy Accelerator Mixed field facility (CHARM), neutron spectra were measured using an NE213 scintillator on top of the CHARM roof shielding where is the CERN Shielding Benchmark Facility (CSBF). The spectra were derived as fluences into the scintillator by the unfolding method using an iterative Bayesian algorithm. The methodology was verified based on the agreement of two spectra measured for different positions and directions of incident neutrons by changing the detector orientation. Since the spectra on the roof-top were obtained within a reasonable beam-time, this methodology is suitable for measuring the spectrum when there is less shielding material. Thus, experimental data for neutron transition can be obtained as a function of shielding thickness using this facility.

Published as Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 429 (2018) 27–33.

1.4 Measurement for accurate extrapolation in $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence counting method using plastic scintillator

Y. Unno¹, T. Sanami², S. Sasaki², M. Hagiwara², A. Yunoki¹

¹AIST, ²KEK

Absolute measurement by the $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence counting method was conducted by two photomultipliers facing across a plastic scintillator to be focused on β ray counting efficiency. The detector was held with a through-hole-type NaI(Tl) detector. The results include absolutely determined activity and its uncertainty especially about extrapolation. A comparison between the obtained and known activities showed agreement within their uncertainties.

Published as Appl. Radiat. Isot. 134 (2018) 302-306.

1.5 Quantitative estimation of exposure inhomogeneity in terms of eye lens and extremity monitoring for radiation workers in the nuclear industry

H. Yoshitomi¹, M. Kowatari¹, M. Hagiwara², S. Nagaguro², H. Nakamura²

¹JAEA, ²KEK

To manage the equivalent doses for radiation workers, exposure inhomogeneity is an important factor in the decision-making process related to protection measures and additional monitoring. Our previous study proposed the methodology to evaluate the inhomogeneity of exposure quantitatively. In this study, we applied proposed method to five different types of actual exposure situations encountered in the nuclear industry. Two of them were conventionally characterized as homogeneous exposure, and the other three were conventionally characterized as inhomogeneous exposure. The evaluation of homogeneity exposure was conducted using Monte Carlo calculations with two simplified models, which were then verified with phantom experiments. Consequently, all of the evaluations reproduced the experimental results, implying that our proposed method would be applicable for actual work conditions in the nuclear industry. Furthermore, the two presumed homogeneous exposure situations were found to be rather inhomogeneous because of the contribution of positrons and the limited source region. The results also show that the worker's posture has an impact on the inhomogeneity rather than the energy of incident radiation in nuclear works. The investigation also implies that obtaining the information on the most probable posture of the exposed worker, as well as the existence of the weakly penetrating radiation such as $\beta\pm$ ray as a main source of exposure would be the key for more precise estimation.

Published as Radiation Protection Dosimetry 184(2019)179-188.

1.6 Measurement and calculation of thermal neutrons induced by the 24 GeV/c proton bombardment of a thick copper target

T. Oyama¹, M. Hagiwara¹, T. Sanami¹, H. Yashima², N. Nakao³, E. J. Lee⁴, E. Iliopoulou^{5,6},
R. Froeschl⁵, A. Infantino⁵, S. Roesler⁵

¹ KEK, ² KURNS, ³ Shimizu Corp. ⁴ Kyushu Univ., ⁵ CERN, ⁶ Univ. of Thessaloniki,

The CERN High-Energy Accelerator Mixed field (CHARM) facility provides a secondary particle field, produced by irradiating a thick target with 24 GeV/c protons supplied by the proton synchrotron. In order to investigate the thermalization process of secondary neutrons in the CHARM facility, we measured the thermal neutrons using the gold foil activation method. Bare and Cd-covered gold foils were placed at 35 positions to deduce the thermal neutron distribution in the CHARM facility. The $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ reaction rates and thermal neutron fluxes measured in this study were compared with the Monte Carlo simulation codes, PHITS, FLUKA, and MARS. The comparison between the measured and simulated values gives an agreement better than a factor of two. Besides, we investigated the simple empirical formula to estimate a thermal neutron flux in the accelerator room, $\phi_{\text{th}} = CQ/S$, where Q is the neutron source intensity and S is the total surface area of a room. The coefficient C estimated in this study did not significantly depend on the incident proton beam energy.

Published as Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 434 (2018) 29–36.

1.7 Measurements of the alpha-induced activation cross sections for Cu

H. Yashima¹, M. Hagiwara², T. Sanami², S. Yonai³

¹KURNS, ² KEK, ³NIRS

The decommissioning of old accelerator facilities requires activation cross section data to estimate the residual activities induced in the accelerator components. But experimental data of activation cross section are very scarce for heavy ions which were required for decommissioning of accelerator facilities such as tandem accelerator and cyclotron. We therefore irradiated a Cu target with 101.9 MeV alpha beam to obtain excitation functions of residual radionuclides in Cu, which is a main element of accelerator components. Irradiation experiment was performed at cyclotron facility (NIRS-930), National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Japan. The

Cu target was composed of a stack of 15 mm x 15 mm x 0.03 mm natural Cu foils. The natural Al (0.05 mm) and Ti (0.04 mm) foils were inserted to the Cu target as a monitor. The total thickness of Cu target was thicker than the range of projectile alpha-beam. The targets were irradiated both for a shorter irradiation (15 minutes, 70 nA) and a longer irradiation (5 hours, 80 nA). After irradiation, gamma-rays were measured with a HPGe detector. The production rates of radionuclides in Cu samples are determined by a gamma-ray spectroscopy. The excitation functions of residual radionuclides in the Cu samples by taking into account the projectile energy degradation in the target are estimated. In this conference, we will present these experimental cross section data, combined with other experimental data and calculations.

Presented at the 11th. International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC XI) .

1.8 Spectrum measurement down to 1 MeV/u particles with hydrogen-identification using Bragg curve counter

Y. Yamaguchi¹, T. Sanami² and Y. Uozumi¹

¹Kyuhu Univ., ²KEK

We have developed a low threshold detector consisting of Bragg curve counter (BCC) and two built-in solid-state detectors (SSDs) to measure spectra of low energy charged particles emitted by nuclear reactions. Since the BCC, ionization chamber offers advantages of self particle identification capability and a few μ m-thick entrance window, the threshold energy less than 1 MeV/u is expected with particle identification. The detector is tested using 70 MeV protons for measurement of double-differential cross sections (DDXs) of charged particle production. Protons produced down to 1 MeV have been identified and resultant DDXs for proton production have been obtained down to 1.5 MeV.

Published as Proceedings of the Second International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2018).

1.9 Cross comparison on neutron spectra obtained by time-of-flight and unfolding methods with liquid organic scintillator

E. Lee¹, N. Shigyo¹, T. Sanami², T. Kajimoto³, and N. Matsufuji⁴

¹Kyushu Univ., ²KEK, ³Hiroshima Univ., ⁴QST

The consistency of neutron energy spectra with a liquid organic scintillator derived from unfolding light output and those using the time-of-flight (TOF) method were studied by measuring neutron production double-differential cross sections for 100- and 290-MeV/nucleon ^{28}Si ion beams on silicon targets at Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba, National Institute of Radiological Sciences. For neutron spectra ranging between 10 and 300 MeV, the unfolding results were consistent with the experimental results obtained using the TOF method. Both energy spectra were compared with those obtained with the PHITS Monte Carlo code.

Published as Proceedings of the Second International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2018).

1.10 Reproduction of neutron fluence by unfolding method with an NE213 scintillator

T. Kajimoto¹, T. Sanami², N. Nakao³, R. Froeschl⁴, S. Roesler⁴, E. Iliopoulou⁴, A. Infantino⁴, M. Brugger⁴, K. Tanaka¹, and A. Endo¹

¹Hiroshima Univ., ²KEK, ³Shimizu Corp., ⁴CERN

The reproduction of neutron fluence derived by the unfolding method was confirmed by simulating an experiment at Cern High energy Accelerator Mixed field facility (CHARM). Fluences on an NE213 scintillator located at positions surrounded with shields were calculated using PHITS. A neutron light output spectrum and response matrix were calculated according to the calculated fluence. Furthermore, response matrices with simple distributions of neutron incident position and direction on the scintillator were also prepared because a response matrix with guessed distributions is used in measurements. In spite of using response matrices with different distributions, the unfolded fluence agreed with each other, unless the distribution was focused on a position. The agreement of the fluences enables us to measure the fluence at various positions even though the distributions are experimentally unknown. Finally, experimental fluences were obtained under the same conditions, and were compared with the simulation results.

Published as Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 906 (2018) 141–149.

1.11 Measurement of scintillation and ionization in helium mixed with xenon

A. Takeuchi¹, K. Saito^{1,2}, Y. Kishimoto^{1,2}, T. Oyama², and T. Sanami^{1,2}

¹Sokendai, ²KEK

We precisely measured the scintillation time profiles, scintillation yield, and ionization yields of He/Xe mixture to investigate the basic properties of the gas mixture for the anticipation for developing neutron detector with $^3\text{He}/\text{Xe}$ mixture. The observed rise and decay times of scintillation depend on partial pressure of He and Xe. Various mixture of He/Xe are tested, and the scintillation yields saturated when the concentration of Xe exceeds 10%. The measurements of ionization yields show to correspond with the theoretical values.

Published at Proceedings of the Second International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2018).

1.12 The effects of impurities on the ionization yield in helium

A. Takeuchi¹, K. Saito^{1,2}, Y. Kishimoto^{1,2}, T. Oyama², and T. Sanami^{1,2}

¹Sokendai, ²KEK

The experimental determination of the ionization yield in helium is affected by impurities due to the Penning effect. The excited helium atom He^* ionizes the impurity atom or molecule in the collision, which increases the ionization yield as additional ion pairs are generated. To enable measurements not affected by the impurities, it is important to maintain a high gas purity during measurement as the impurities are continuously released from the surface of an ionization chamber. In this study, we investigated two purification methods namely, the gas flow and purifier, to measure the ionization yield in helium. High purity gas was supplied to a chamber continuously in the gas flow method, which can inhibit the impurities from increasing. The purifier method employed a purifier containing Zr-Ba-Fe getters. The chamber was connected to a purifier to achieve continuous gas purification. Measurements were performed under a pressure of 40 kPa in helium.

The variation in the ionization yield in helium was measured over time. The ionization yield in helium increased over time, and finally settled at a constant value. The increase in the ionization yield was lower when using a purifier, as the purification process reduces the impurities. The change in the ionization yield over time in the case of gas flow also showed a similar trend to when using a purifier. Thus, this indicates that the gas flow method can also prevent the impurities from increasing in the chamber.

Presented at the 33th. Workshop on Radiation Detectors and Their Uses.

1.13 Development of Position Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber "PS-TEPC" : Derivation of LET distribution in the ISS

Y. Kishimoto¹, S. Sasaki¹, K. Takahashi¹, K. Saito¹, K. Terasawa², K. Miuchi³, N. Ikeda⁴, D
Masuda⁴,
A. Nagamatsu⁴, M. Katsuta⁴, Y. Matsumura⁴, H. Matsumoto⁴, K. Mori⁴, T. Tanimori⁵, H. Kubo⁵,
Y. Uchihori⁶, H. Kitamura⁶
¹KEK, ²Keio Univ., ³Kobe Univ., ⁴JAXA, ⁵Kyoto Univ., ⁶QST

PS-TEPC was launched by HTV-6 from Tanegashima Space Center on December 9th, 2016 and installed in the Japanese Experiment Module "Kibo" on the International Space Station. After starting up the system, configuring parameters and performing initial tests, we started an experimental operation from December 28th, 2016. This presentation focuses the derivation of the LET distribution, which is important to evaluate dose equivalent. The method of corrections using simulations with the detailed response of the detector unit and the obtained LET distribution will be presented.

Presented at the 79th JSAP Autumn Meeting, Nagoya, Japan.

1.14 Some Properties of Plastic Scintillators to Construct a LET Spectrometer

Ngan N. T. Tran¹, S. Sasaki^{1,2}, T. Sanami^{1,2}, Y. Kishimoto^{1,2}, and E. Shibamura³
¹Sokendai ²KEK, ³Waseda Univ.

The properties of plastic scintillators as candidate materials for constructing a dosimeter based on LET spectrometry are studied. In order to obtain LET, it is necessary to determine the deposited energy and the trajectory of the incident radiation. For determining the deposited energy, energy resolution is an important factor which must be evaluated. In this study, the energy resolution of plastic scintillators EJ-200, EJ-212, and EJ-252 are determined based on the results of electron response and the absolute light yield. Additionally, in the progress of determining the trajectory of radiations, we examine the relationship between the incidence positions of radiation in the plastic scintillator and signals from the photomultiplier tube.

Published as Proceedings of the Second International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2018).

2. Experimental Technology and Monte Carlo Simulation Related to Radiation Shielding

2.1 Studies on Total Beta Measurements at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company with egs5

H. Hirayama

KEK

Total beta measurements at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company (TEPCO) were studied using the egs5 Monte Carlo code. Number of β -rays from various calibration sources emitted to 2π direction, β -ray counts rates by the low background gas-flow counter (LBC) were calculated for calibration sources, imitation sources. Detector efficiencies obtained using these calculated values were compared with measured ones by TEPCO. Total beta values for imitation sources were compared between measurement and calculation to study dependence for radionuclide to get detector response, for imitation source radionuclides and the thickness of LBC wall. Self-absorption effects inside source were also studied using measured count rates from KCl.

Published as Jpn. J. Health Phys., 53(2018)294-302.

2.2 Calculation of Gross Beta Conversion Coefficient for Nuclide Necessary to Consider at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company with egs5

H. Hirayama

KEK

A gross-beta activity measurement method is used at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company to confirm that sample water does not contain β -emitting nuclides other than the target nuclide. For measurement, a low background gas flow counter manufactured by Hitachi Ltd., having a very thin detector window of 0.5 mg/cm^2 , is used. When the target nuclides are $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ and ^{137}Cs , it is confirmed by actual measurement and calculation using egs5 that the conversion factor from the radioactivity concentration to the gross-beta value can be evaluated as approximately 1. However, since the conversion factor depends on the spectrum of β -rays and the number of β -rays emitted per decay, such treatment can not always be performed even if the same LBC is used. In particular, if it is used for the purpose of confirming that it does not contain β -rays emitting nuclide other than the measurement target nuclide, it is necessary to use an appropriate conversion factor from the concentration for each target nuclide to gross-beta values. The nuclide

targeted in the ALPS-treated water also includes a short half-life progeny nuclide generated by decay of the long half-life nuclide, and it is not practical to obtain a conversion factor by actual measurement. Therefore, the conversion factor of all target nuclides from the radiation concentration to the gross-beta value was calculated using the electronic cascade Monte Carlo calculation code egs5.

Published as KEK Internal 2018-6, January (2019).

2.3 Studies on Personal Dosimeter for β -ray 3 mm Dose Equivalent with egs5 code

H. Hirayama

KEK

ICRP has issued a new recommendation to “lower the worker's lens equivalent dose limit to 20 mSv/year (≤ 50 mSv/year) on a 5-year basis”. A “personal dosimeter for 3 millimeter dose equivalent” using TLD (LiF) has been developed for medical workers involved in IVR, etc. mainly in Europe. The target dose is X-rays, not studied for β -rays. Regarding radiation protection of the crystalline lens by β -rays, in the section related to the nuclear facilities in the report of the Research Specialist Committee of the Japan Health Physics Society, following proposal is described; “As an issue unique to Japan, we engaged in emergency work at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (1F). There is exposure to the lens of the workers. The work of dismantling and decommissioning is planned from now on, and the work in the radiation field which becomes more complicated and relatively high dose is also expected.” As described in the report of the Japan Health Physics Society, “Establishing a more accurate method for evaluating the dose of the lens that is not overly conservative and appropriately reflecting the shielding effect of the full mask face etc” is mandatory. The “individual dosimeter for measurement of 3 millimeter dose equivalent by β -ray” is one of the important issues. Regarding the measurement of β -ray dose equivalent to 3 mm in the field using a radiation source, two research results have been published from Japan Atomic Energy Agency. Although studies of personal dosimeters based on measurements are important, their properties are easier to understand in the calculations. In this report, based on this kind of situation, using electromagnetic cascade Monte Carlo calculation code egs5, 3 mm dose equivalent by β -ray for ^{90}Y β -ray, which is the main source of lens exposure by β -ray at 1F, is estimated.

Published as KEK Report 2018-2, October (2018).

2.4 Skyshine Calculation due to γ -rays from Radionuclides Distributed Uniformly inside Operation Floor of Unit-1 of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station with egs5 code

H. Hirayama
KEK

TEPCO is examining "Estimate of the progress of the accident at Unit 1 based on the air dose rate monitoring data, linking with the progress of the accident" until 8:00 am on March 12. The air absorbed dose rates near the main gate, around MP-7 and MP-8, which were background levels at 4 o'clock on March 12, began to rise from the measurement after 4 o'clock, and became almost constant from 7 o'clock. As this tendency was not seen in monitoring posts in Fukushima Prefecture outside the site, the air dose rate in the site was determined to be due to direct and skyshine by radionuclides accumulated on the Unit 1 operation floor. The calculation by MCNP5 is carried out, and it is put out that it is consistent with the measured value of air absorbed dose rate if 0.43% of iodine and cesium, 2.37% of noble gas, 0.22% of antimony and tellurium in the inventory are transferred to the operation floor. In this study, the dose rate by skyshine due to the radionuclide filled in the operation floor was calculated using egs5 in a different geometry from the calculated one of TEPCO, and compared with the calculated result of TEPCO.

Published as KEK Report 2018-3, March (2019).

2.5 Production of Scattered Radiation Contribution Measurement Device with Position Information

H. Hirayama^{1,2}, K. Kondo^{1,2}, S. Suzuki², K. Iwanaga² and Y. Tanimura³

¹KEK, ²Nuclear Regulation Authority, ³Japan Atomic Energy

Cs-137 is the main source at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. However, it is known that the portions of scattered photons are high at many places. It is presumed that the situation is similar in the reactor building as well. Grasping the portion of scattered photons is important for decreasing radiation exposure. From such a point of view, we have produced a device that can record the portion of scattered photon of 200 keV or less with the position information by walking even in places where GPS signals can not be received. Outline of the device and examples of the measurement result was given.

Presented at Annual Meeting 2019 of Atomic Energy Society of Japan.

2.6 Intercomparison of Particle Production (3)

H. Hirayama^{1,2} and T. Sanami¹

¹KEK, ²Nuclear Regulation Authority

In accordance with the discussion at SATIF13, we propose the same intercomparison problems of neutron production from thick targets. There were large difference than our expectation in the intercomparison at SATIF-13 between Geant4, MARS and PHITS. Results by using FLUKA and MCNP will be included in this intercomparison as desired at SATIF-13. At SATIF14, we will present comparison between major Monte Carlo codes concerning neutron production with high energy protons.

Presented at SATIF-14, Gyeongju, Korea, 30 Oct- 2 Nov (2018).

2.7 Dark Current and Radiation of KEK Accelerator Tube

H. Iwase¹, H. Ego², S. Matsumoto², N. Toge², Y. Namito¹ and H. Hirayama¹

¹KEK Radiation Science Center, ²KEK Accelerator

Secondary radiations induced by dark current from a single unit of the KEK-Linac accelerator tube are measured and calculated. An S-band accelerator tube, which has about 2 m length with the accelerating gradient of 20 MV/m, is operated in a test room for a baking-out (and the tube will be placed back in the KEK-Linac). The room has 50 cm-thick concrete walls, but the radiation levels are not satisfactory low at the sides. Additional shields are required to reduce the secondary radiations, however, the source term of the shielding calculation, i.e., the dark current energies, directions and intensities are unclear. In this study, a model of dark current beam acceleration is developed for the purpose to predict the induced secondary radiation calculation by comparing with radiation measurements performed inside and outside the room. It is confirmed that the model, in which electrons uniformly generated on a surface of innermost (inner radius of the disks) along the tube will be accelerated in a uniform electric field, shows good agreement.

Presented at SATIF-14, Gyeongju, Korea, 30 Oct- 2 Nov (2018).

3. Radiation Protection Study in Accelerator Facilities

3.1 Establishment of measurement and evaluation procedure of activated materials for decommissioning of accelerator facilities

H. Matsumura, T. Miura, G. Yoshida, A. Toyoda, K. Bessho, H. Nakamura, K. Masumoto
KEK

In order to make a plan for decommissioning of accelerator facility, we proposed the three important key points, such as (1) the defining of activated area of accelerator room and parts of accelerator components, (2) the standard procedure for the evaluation of activation levels and (3) the manual for the decommissioning work.

- (1) As the research target of this year, four facilities of electrostatic type accelerators were selected such as 1.7MV tandem accelerator of Kobe Univ., 4.5MV dynamitron of Tohoku Univ., 6MV tandem of Univ of Tsukuba and 20MV tandem of JAEA, Tokai. As neutrons are major source of activation of surrounding materials, Au foils, TLD and CR-39 were used for neutron detection during operation of accelerators. After irradiation, Surface dose and induced activity after operation were measured by survey meter and gamma-ray spectrometer, respectively. As the results, activation was very low except for target, slit and beam pipe. Neutron flux on the wall, floor and accelerator tank was $10^{-4} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ during operation.
- (2) As the model facility, the cyclotron facilities of the Advanced Medical and Pharmaceutical Research Center, Ishikawa pref., and National Cerebral and Cardiovascular Center was selected. At the former facility, we tried to perform the evaluation scheme of residual activity in the concrete wall and floor by using the in-situ gamma-ray spectrometry and several types of survey meter. We also evaluated the suitable shield thickness for detector. At the latter facility, we measure the neutron flux in the cyclotron vault during the production of ^{18}F and ^{11}C by proton and deuteron irradiation, respectively. And we also obtained the concrete core samples and measure depth profiles of residual activity.

In order to grasp the activity profiles on accelerator magnets, three types of imaging detectors such as mask method, Compton method and collimeter method were compared.

- (3) In order to discuss and make the manual for the decommissioning work, we organized the editorial committee.

3.2 Simplified method for determining residual specific activity in activated concrete of a PET-cyclotron room using a survey meter

H. Matsumura¹, G. Yoshida¹, A. Toyoda¹, K. Masumoto¹, K. Nishikawa¹,
T. Nakabayashi², Y. Miyazaki³, T. Miura¹, H. Nakamura¹ and K. Bessho¹

¹KEK, ²Japan Environment Research Co., Ltd.,

³The Medical and Pharmacological Research Center Foundation

An in situ method to determine the specific activity in concrete structures using a survey meter was established in this study for decommissioning accelerator rooms. This method is much simpler than the conventional sampling method that requires core boring. A survey meter (T-SP2, TAC Inc., Japan) was customized and equipped with a small detector probe, whose size allowed the design of a light-weight Pb shield. For dose rate measurement, a Pb shield thickness of 4.5 cm was enough to shield ambient γ -rays, and its weight (16 kg) was low enough for the device to be carried by a human. A calibration curve was obtained to quickly and easily convert the net contact dose rate on concrete into the specific activity in a PET cyclotron room. The specific activity detection limit for this device was lower than the clearance limit of ¹⁵²Eu and ⁶⁰Co in activated materials. Therefore, this method can be used for separating non-activated concrete from activated concrete during decommissioning. A general correction factor for the slope of the calibration curve was also obtained for use at other accelerator facilities.

Presented at 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.

3.3 Investigation of neutron-fluence measurement methods for estimating neutron-induced activity in an electrostatic accelerator room

H. Nakamura¹, H. Matsumura¹, G. Yoshida¹, A. Toyoda¹,
K. Masumoto¹, T. Miura¹, K. Sasa² and T. Moriguchi²

¹KEK, ²Univ. of Tsukuba

Three methods to detect neutrons emitted around an electrostatic accelerator were examined. These were gold foil activation, thermoluminescent dosimeters (TLDs), and CR-39. The gold-foil activation method was effective in the measurement of the cyclotron. In the case of electrostatic accelerators, a greater amount of fast neutrons and a smaller amount of thermal neutrons were observed compared to cyclotron accelerators. Therefore, the cadmium ratio became nearly one and

the error in thermal neutron flux calculation became large. The CR-39 detectors were apparently unable to measure thermal neutrons well, because some tracks were also generated by fast neutrons in the thermal-neutron detection side of CR-39. In the case of TLD, as it is not sensitive to fast neutrons, it is not affected by them, but in some cases it cannot conduct measurements properly under the influence of high dose rate of gamma rays.

Presented at 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.

3.4 Quantitative evaluation of radioactivity in concrete at PET cyclotron facility with simple and nondestructive measurement

A. Toyoda¹, H. Matsumura¹, K. Masumoto¹, G. Yoshida¹, T. Miura¹,
H. Nakamura¹, K. Bessho¹, T. Nakabayashi² and G. Horitsugi³
¹KEK, ²Japan Environment Research Co., Ltd., ³Osaka Univ.

Accelerator operations often generate neutrons that may activate concrete in the accelerator room. When accelerators are decommissioned, the concrete will remain as radioactive waste. However, only those parts of the concrete containing a large number of neutrons will actually be radioactive. Therefore, it is very important to determine where and how many neutrons are generated during accelerator operation. We used gold foils to obtain this information in positron emission tomography (PET) cyclotron facilities. We obtained concrete core samples from a PET cyclotron to determine the amount of radioactivity contained in concrete. We obtained the operational parameters (particle, radioactive product, current, and operation time) of the PET cyclotron facility and estimated the radioactivity generated in concrete using the operational parameters and gold foil results. A comparison of the estimated and core sampling measurement results showed good agreement.

Presented at 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.

3.5 Evaluation of different gamma ray imaging techniques for visualization of induced activity in accelerator magnets

G. Yoshida, A. Toyoda, H. Matsumura, K. Masumoto, T. Miura, H. Nakamura and K. Bessho
KEK

Activated accelerator magnets were measured with three different types of commercially available gamma ray imaging devices (pinhole, Compton scattering, and masked type) and the results were compared, for simplifying a distinction between activated / non-activated areas in the magnet during the decommissioning of an accelerator facility. In general, an activated magnet includes ^{60}Co and emits gamma rays over 1 MeV, but current devices are not designed to detect such high-energy photons. Our results showed that two devices could identify the location of highly activated areas correctly, though they could not detect the total absorption peaks of the 1173 and 1333 keV photons from ^{60}Co . Additionally, the device was affected by gamma rays from the surroundings as a result of insufficient radiation shielding.

Presented at 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.

3.6 Radioactivity generated in low activated concrete by operation of the proton synchrotron accelerators in J-PARC

K. Nishikawa^{1,4}, K. Bessho^{1,4}, M. Hagiwara¹, T. Miura¹, S. Sekimoto², H. Yashima²,
H. Yamazaki^{1,4}, H. Nakamura^{1,4}, M. J. Shirakata^{1,4}, A. Kanai³⁾

¹KEK, ²KURNS, ³Tokyo Nuclear Services Co., Ltd, ⁴J-PARC

^{24}Na is one of the most dominant radionuclides involved in γ -ray exposures on radiation workers approaching inside the accelerator tunnel for the maintenance immediately after the beam stop, and ^{22}Na generated in the concrete shield should be addressed from the perspective of decommissioning of accelerator facilities. The Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) is a large research facility using world-class high-intensity proton beams (design value; 3 GeV: 1 MW, 30 GeV: 750 kW); hence, extremely intense neutrons are produced at beam loss points. At the areas around large beam-loss points, low-activation concrete, which has a low Na content compared with an ordinary concrete, was adopted in the facility-design stage of J-PARC, to reduce ^{24}Na and ^{22}Na production.

The radioactive concentrations of ^{22}Na were measured using a high-purity Ge detector and were compared at two locations, where ordinary concrete (Na content: 1.3%) and low-activation concrete (Na content: 0.035%) were used, respectively. For these locations, the dominant beam loss is occurred by 400 MeV protons, and the neutron spectra corresponding to the beam loss were estimated to be similar. The concentrations of ^{22}Na in ordinary concrete and low-activation concrete were determined to be 2.9×10^{-2} Bq/g and 6.2×10^{-3} Bq/g, respectively. The effect of reducing ^{22}Na production by adopting low-activation concrete was demonstrated for the first time at high-energy accelerator facilities.

Presented at Japanese Society of Radiation Safety Management 17th Annual Meeting.

3.7 Study of the radiation damage effect on titanium metastable beta alloy by high intensity proton beam

T. Ishida^{1,10}, E. Wakai^{1,11}, M. Hagiwara^{1,10}, S. Makimura^{1,10}, M. Tada¹, D. M. Asner², A. Casella², A. Devaraj², D. Edwards², R. Prabhakaran², D. Senor², M. Hartz^{3,6}, S. Bhadra⁴, A. Fiorentini⁴, M. Cadabeschi⁵, J. Martin⁵, A. Konaka⁶, A. Marino⁷, A. Atherthon⁸, C. J. Densham⁸, M. Fitton⁸, K. Ammigan⁹, P. Hurh⁹

¹J-PARC, ²PNNL, ³Kavli IPMU, ⁴York Univ., ⁵Univ. of Toronto, ⁶TRIUMF, ⁷Univ. of Colorado Boulder, ⁸STFC RAL, ⁹Fermilab, ¹⁰KEK, ¹¹JAEA

A foil of a metastable β Titanium alloy Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al was irradiated at the J-PARC neutrino experimental facility with 1.4×10^{20} 30 GeV protons at low temperature (100–130 °C at most), and microstructural characterization and hardness testing were conducted as an initial study on the radiation damage effects of Titanium alloy by the high energy proton beam exposure. Expected radiation damage at the beam center is about 0.06–0.12 displacement per atom. A high density ($> 10^{23} \text{ m}^{-3}$) of a nanometer-sized precipitate was observed by TEM studies, which would be identified as martensite α -phase and athermal ω -phase formed during the solution-treatment process to fabricate metastable β alloy. They did not appear to change substantially after irradiation with protons. In the irradiated specimen, we could not identify an obvious signature of radiation damage distributed along the proton beam profile. Very small, nanometer-scale black dots were present at a low density in the most highly irradiated region, and may be small dislocation loops formed during irradiation. The micro-indentation test indicated that the radiation exposure led to tiny increase in Vickers micro-hardness of $\Delta\text{HV} = 20$ at beam center. Atom probe tomography reveals compositional fluctuations that reach a maximum amplitude of 10 at% Ti within a space of < 5 nm both before and

after irradiation, which may also indicate presence of rich precipitates. These experimental results suggest this specific β alloy may exhibit radiation damage resistance due to the existence of a high density of nano-scale precipitates, but further studies with higher exposure are required to explore this possibility.

Published as Nuclear Materials and Energy 15 (2018) 169-174.

3.8 Analysis of the radionuclides produced in the circulating helium gas for inspecting the gold target installed in the J-PARC Hadron Experimental Facility

K. Bessho^{1,2}, M. Hagiwara^{1,2}, H. Watanabe^{1,2}, K. Nishikawa^{1,2},
R. Kurasaki^{1,2}, R. Muto^{1,2}, K. Saito^{1,2}, Y. Kasugai^{1,3}
¹J-PARC Center, ²KEK, ³JAEA

At the J-PARC Hadron Experimental Facility, a gold target bombarded with proton beam is placed in a hermetic chamber, which is filled with circulating helium gas. Various γ -emitting nuclides are detected in the helium gas in beam-operation conditions. Detected activity in gas phase and calculated activity produced in the solid components were obtained for various nuclides, and the rates released to gaseous phase was compared for various nuclides. The results indicate that C, N, O, F, Ne, Ar and Hg nuclides are selectively released to gas phase reflecting their elemental volatility. The rates released to gaseous phase were analogous for C, N, O, Ne and Ar nuclides. On the other hand, corresponding rates for F-20 and those for Hg nuclides were smaller compared to those of C, N, O, Ne, Ar nuclides, which suggest that F and Hg nuclides tend to remain partially on the target and window surfaces. It is possible that these characteristics are related with fluoride formation on the metal surface and low volatility for Hg nuclides depending on the target temperature.

Presented at the 14th PHITS Workshop.

Published as Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity.

4. Nuclear Chemistry and Radiochemistry

4.1 Development of muonic atom beam extraction system and first evaluation by intense negative muon beam of J-PARC MUSE

G. Yoshida¹, K. Ninomiya², M. Inagaki², M. Toyoda², J. Aoki²,
N. Kawamura¹, Y. Miyake¹ and A. Shinohara²
¹KEK, ²Osaka Univ.

A negative muon strongly shields the positive charge of a nucleus in a muonic atom; thus, the properties of a muonic Z atom are expected to be similar to those of the Z-1 atom. However, slight differences between the muonic Z atom and Z-1 atom were found in the X-ray energy range. Nevertheless, the chemical properties of a muonic atom, such as electron arrangement, have not been investigated in detail. Initially, to examine the chemical properties of muonic atoms, we established a muonic atom beam extraction system with static electronic field. The system is similar to the time of flight mass spectrometer (TOF-MS). We optimized the mass resolution of the system by laser ablation, and then evaluated the yield of muonic atom beam and background noises by using the muon beam in the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC). In this paper, the signals were found to be too small to determine the event from the muonic atom beam; an improvement of muonic atom extraction mechanism will solve this problem.

Published in JPS Conf. Proc 21, 011046 (2018).

4.2 Muon transfer rates from muonic hydrogen atoms to gaseous benzene and cyclohexane

M. Inagaki¹, K. Ninomiya¹, G. Yoshida², W. Higemoto³,
N. Kawamura², Y. Miyake², T. Miura² and A. Shinohara¹
¹Osaka Univ., ²KEK, ³JAEA

The chemical effect of the muon transfer process from muonic hydrogen atom was examined for benzene and cyclohexane under low pressure gaseous conditions. The muon transfer rates were investigated by measuring the resulting muonic X-rays resulting from muon irradiation of hydrogen and neon gas mixtures. The muon transfer rates to benzene and cyclohexane carbon atoms were very similar in the gaseous state. The results differed from previous results obtained for muon and pion transfer rates to benzene and cyclohexane under high density liquid conditions. It was concluded that the difference originated from the atomic muon state of the muonic hydrogen atoms

with a large radius.

Published in Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences **18**, 5–8 (2018).

4.3 Further examination for the chemical environmental effect in muon transfer by using low pressure gaseous carbon sulfide samples

G. Yoshida

KEK

We have studied the chemical effect of muonic atom formation using low pressure gaseous carbon oxides and sulfides (CO, CO₂, COS, and CS₂) and their hydrogen mixture system, by analyzing muonic X-ray spectra. In muon transfer process, because the muon transferred to deep binding state, the muonic X-rays originated from $n > 5$ states were not observed for carbon, and from $n > 6$ states were not observed for oxygen. A precise spectrum was obtained for H₂+CS₂ with high intensity and high quality negative muon beam of MUSE, MLF. Transition series from $\mu\text{S-K}_\alpha$ to $\mu\text{S-K}_\theta$ ($n=9$ to 1) could be determined from the spectrum.

Presented at Progress Report of J-PARC/MUSE in 2017, Tokai, Ibaraki, Japan, July 4-5, 2018.

4.4 Optimization of heating conditions in metal heating experiment using a high-frequency induction furnace system

Y. Oki¹, T. Miura² and H. Matsumura²

¹ Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto Univ., ²KEK

Radioactive aerosols were released to the environment in both accidents of the J-PARC in 2013 and Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). The release occurred due to melting of the metallic target or the highly radioactive nuclear fuel. The particle size of the aerosols is very important information to clarify their formation mechanism. We have developed a new high-frequency induction furnace system for simulation of the radioactive aerosol release in accidents. The furnace system consists of the quartz induction heating furnace and a low-pressure impactor to analyze the size of the aerosol particles. Highly pure carbon crucibles were used for melting of the metal samples; however, aerosol generation was observed during heating at high temperature from the crucible itself. In this work in 2018 pre-treatment conditions for the crucibles

were optimized to minimize the aerosol generation in blank baking of the crucibles. Nearly aerosol-free condition in the furnace was achieved up to 1,800 °C by the pre-baking treatment for the crucible under vacuum and pure argon gas.

5. Research related to Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

5.1 Differences of radiocesium concentrations in masu salmon inhabiting lakes and rivers within the same river systems in Fukushima Prefecture

K. Takasaki¹, W. Teramoto¹, T. Wada², H. Nakakubo¹, T. Sohtome¹, T. Fujita¹ and K. Masumoto³

¹*Fukushima Prefectural Inland Water Fisheries Experimental Station*

²*Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima Univ.*

³*KEK*

To promote precise prediction of radiocesium contamination in freshwater fish in Fukushima Prefecture, temporal changes in radiocesium (¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs) concentrations of masu salmon inhabiting lakes and rivers connected within the same river systems were analyzed in two river systems with different contamination levels. We chose two river systems: Aga River system (including Lake Akimoto and upper-streams “Okura and Kokura Rivers” and a down-stream “Nagase River”) and Ukedo River system (including Ogaki Dam and upper-streams “Shiobide and Koideya River and a down-stream” Kayatsuka Bridge”). Radiocesium concentrations of masu salmon in each river system were compiled and analyzed. Radiocesium data of Aga River system were obtained from monitoring inspections by Fukushima Prefecture during fiscal years 2011-2018, while those of Ukedo River system were obtained by our own surveys conducted during fiscal years 2013-2018. Results revealed that radiocesium concentrations in masu salmon inhabiting rivers did not necessarily show higher values as compared with those in lakes. Radiocesium concentrations of masu salmon in rivers were higher than in a lake in Aga River systems. In Ukedo River system, radiocesium concentrations in masu salmon were higher in two rivers as compared with those in a lake, but were lower in one river.

Published as the Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity

5.2 The Variation of Atmospheric Radioactive Caesium Concentration from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Tsukuba and Iitate, and Factors Controlling Its High Concentration Events

T.Do¹, M.Takagi², A. Tanaka⁴, M. Kanno⁴, Y. Dokiya⁴,
Y. Tao⁴ and K. Masumoto⁵

¹ National Institute for Environmental Studies, Material Cycles and Waste Management Research,

² National Institute for Environmental Studie, Fukushima Branch

³ National Institute for Environmental Studies, Environmental Measurement and Analysis

⁴ Resurrection of Fukushima

⁴ KEK

Radiocaesium (¹³⁴Cs+¹³⁷Cs) concentrations in surface air of Tsukuba (Ibaraki prefecture) and Iitate (Fukushima prefecture) about one year after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident were levels of 10⁻⁵ Bq m⁻³ and 10⁻⁴ Bq m⁻³, respectively. The atmospheric radiocaesium at two sites of Iitate occasionally showed high concentrations due to resuspension of soil particles accompanied with strong wind and operation of local decontamination. A marked high concentration event on August 2013 seems to occur due to the removal of the debris at FDNPP. The activity median aerodynamic diameters of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs bearing particles were larger than 1.2 μm. Radiocaesium-bearing aerosols with particle size of larger than 1 μm may partly be reached into the alveoli by respiration, although they will be excreted from lung thereafter. It is thought that the influence of annual internal radiation exposure by inhalation estimated from the atmospheric concentrations of radiocaesium was low.

Published in RADIOISOTOPES, 68(2019)83–104.

Chapter 2 研究支援活動

放射線科学センターは、機構における放射線安全、並びに化学安全を含む環境安全に責任を有する。対象となる施設の規模が大きいこと、個々の課題が未解決や未知の課題を複雑に含んでいることから、その業務内容は研究的側面を持っている。管理業務に直接関連した研究テーマが発展していく場合もあるが、それ以外にも純粋な学問的研究テーマとして至らないまでも関連分野として有益な課題が多い。

このほかに、放射線科学センターのスタッフは、放射線関連、化学関連の専門家として機構の内外から個々の課題について相談を受けること多々あり、これに取り組んできた事項もある。

本章では、2018年度の研究支援活動に関連して放射線科学センターが取り組んだ活動について報告する。

1. 体制

1.1 放射線管理体制

1.1.1 つくばキャンパス

| | |
|---|---------------|
| 放射線取扱主任者 | 波戸 芳仁 |
| 放射線取扱主任者代理 | 松村 宏 |
| 放射線管理室長 | 佐波 俊哉 |
| 放射線管理室長代理 | 萩原 雅之 |
| 統括（PS 施設（1,2,3,7 区域）・電子加速器施設光源関係(4A,5D 区域)・試験加速器施設（5E, 6 区域）） | 松村 宏 |
| 統括(電子加速器施設（4B, 5A,5B,5C 区域）） | 佐波 俊哉 |
| 業務 | 三浦 太一 |
| 教育・将来計画 | 榎本 和義 伴 秀一 |

| 管理区域 | 氏 名 | 職 名 等 |
|--|--|--|
| 第 1 区域 PS 施設 （前段加速器+デジタル加速器） | 飯島 和彦 三浦 太一 高原 伸一 | 管理区域責任者 管理区域副責任者 管理区域業務担当 |
| 第 2 区域 PS 実験施設 東カウンターホール（ERL 開発棟） 北カウンターホール | 松村 宏 萩原 雅之 三浦 太一 大山 隆弘 | 管理区域責任者 管理区域副責任者 管理区域副責任者 管理区域業務担当 |
| 第 3 区域 PS 施設 （旧中性子ミュオン科学研究施設） | 飯島 和彦 三浦 太一 大山 隆弘 | 管理区域責任者 管理区域業副責任者 管理区域業務担当 |
| 第 4 区域 放射光科学研究施設（4A） 電子陽電子入射器（4B） | 岸本 祐二 吉田 剛 豊田 晃弘 岩瀬 広 吉田 剛 | 管理区域責任者 管理区域副責任者 管理区域業務担当 管理区域責任者 管理区域副責任者 |

| | | |
|---|-------|----------|
| | 豊田 晃弘 | 管理区域業務担当 |
| 第5区域 | | |
| SuperKEKB 施設 (5A) | 萩原 雅之 | 管理区域責任者 |
| | 飯島 和彦 | 管理区域副責任者 |
| | 大山 隆弘 | 管理区域業務担当 |
| DR (5B) | 大山 隆弘 | 管理区域責任者 |
| | 岩瀬 広 | 管理区域副責任者 |
| | 豊田 晃弘 | 管理区域業務担当 |
| BT ライン (5C) | 萩原 雅之 | 管理区域責任者 |
| | 岩瀬 広 | 管理区域副責任者 |
| | 大山 隆弘 | 管理区域業務担当 |
| 大強度放射光施設 (5D) | 吉田 剛 | 管理区域責任者 |
| | 飯島 和彦 | 管理区域副責任者 |
| | 大山 隆弘 | 管理区域業務担当 |
| ATF (5E) | 豊田 晃弘 | 管理区域責任者 |
| | 岸本 祐二 | 管理区域副責任者 |
| | 高原 伸一 | 管理区域業務担当 |
| 第6区域 | 大山 隆弘 | 管理区域責任者 |
| 超伝導リニアック試験施設 (STF) 棟 | 岸本 祐二 | 管理区域副責任者 |
| | 高原 伸一 | 管理区域業務担当 |
| 第7区域 | | |
| RI 実験準備棟、放射化物加工棟、 放射性廃棄物第2,3,4保管棟、 電子陽電子放射性排水処理施設、 12GeVPS 放射性廃液処理施設、 放射線管理棟、放射性試料測定棟、 放射線照射棟、放射化物使用棟、 熱中性子標準棟、PS エネソ排水設備 | 豊田 晃弘 | 管理区域責任者 |
| | 吉田 剛 | 管理区域副責任者 |
| | 高原 伸一 | 管理区域業務担当 |

1.1.2 東海キャンパス

| | |
|------------------|--------|
| 放射線取扱主任者 | 沼尻 正晴 |
| 放射線取扱主任者代理 | 山崎 寛仁 |
| 安全ディビジョン副ディビジョン長 | 別所 光太郎 |
| 放射線安全セクションサブリーダー | 沼尻 正晴 |

| 管理区域 | 氏名 | 職名等 |
|-----------------|------|-----------|
| リニアック施設 | 斎藤 究 | 管理区域責任者 |
| 3 GeVシンクロトロン施設 | 斎藤 究 | 管理区域責任者代理 |
| 50 GeVシンクロトロン施設 | 中村 一 | 管理区域責任者 |
| | 穂積憲一 | 管理区域責任者代理 |
| 放射線測定棟 | 穂積憲一 | 管理区域責任者 |
| | 長畔誠司 | 管理区域責任者代理 |
| ハドロン実験施設 | 山崎寛仁 | 管理区域責任者 |
| | 高橋一智 | 管理区域責任者代理 |
| ニュートリノ実験施設 | 高橋一智 | 管理区域責任者 |
| | 山崎寛仁 | 管理区域責任者代理 |

1.2 放射線業務分担

1.2.1 つくばキャンパス

| 業 務 | 担当者氏名 |
|---|--|
| 管理事務（書類管理を含む） （女子放射線業務従事者対応） （管理システム） （管理事務・従事者登録） | 佐波 俊哉 豊島 規子 室町 啓子 豊田 晃弘 室町 啓子 豊島 規子 |
| 出入管理システム | 佐波 俊哉 高原 伸一 岸本 祐二 飯島 和彦 |
| 放射性物質等 （密封・非密封 R I） （核燃） （廃棄物） （表示付認証機器） （チェックングソース） （放射化物） | 佐波 俊哉 三浦 太一 榊本 和義 吉田 剛 豊田 晃弘 岸本 祐二 松村 宏 豊田 晃弘 吉田 剛 大山 隆弘 吉田 剛 大山 隆弘 豊田 晃弘 飯島 和彦 吉田 剛 |
| 環境放射能 | 豊田 晃弘 高原 伸一 吉田 剛 |
| 安全管理設備（集中放射線監視システム モニターサーベメーター等） | 萩原 雅之 飯島 和彦 岸本 祐二 大山 隆弘 佐波 俊哉 |

| | |
|---|--|
| 放射能測定器等 (Ge 検出器、サンプルチェンジャー、 液体シンチレーションカウンター、 イメージングプレート) | 松村 宏 飯島 和彦 高原 伸一 豊田 晃弘 吉田 剛 |
| 放射線校正施設 (放射線照射棟) (熱中性子準備棟) | 飯島 和彦 岸本 祐二 大山 隆弘 萩原 雅之 |
| 線量計等 (線量計評価、OSL、APD、PD 等) | 岩瀬 広 三浦 太一 飯島 和彦 豊田 晃弘 大山 隆弘 |
| 機構長の指定する発生装置等 (PS 系) (電子系) | 松村 宏 岩瀬 広 |
| 安全教育 (オンライン教育開発 含む) | 波戸 芳仁 伴 秀一 |
| 出版物等 (安全ビデオ) (安全の手引き、パンフレット等) | 豊田 晃弘 波戸 芳仁 松村 宏 |
| 広報 (WEB 管理・更新) (管理業務ページ) (サーバー管理、環境ページ) (トップページ更新情報) (サーバー管理、研究ページ) | 萩原 雅之 松村 宏 佐藤 充 豊田 晃弘 岩瀬 広 |
| 作業環境測定 (内部被ばく評価を含む) | 豊田 晃弘 萩原 雅之 佐波 俊哉 三浦 太一 |

発生装置責任者

中性子発生装置 飯島 和彦

X 線発生装置 飯島 和彦

1.2.2 東海キャンパス

| 業務 | 担当氏名 |
|---|--------------------------------------|
| 従事者登録、線量管理、教育訓練、UO対応 | 高橋一智 西川功一 |
| 環境放射線管理、廃棄物管理、放射性物質等管理（表示付認証機器、チェックソース） | 長畔誠司 西川功一 |
| 放射線安全管理設備（出入管理システム、放射線モニター、監視システム） | 斎藤 究 山崎寛仁 長畔誠司 穂積憲一 飯島和彦 |
| 変更申請、委員会等の所内手続事務 | 山崎寛仁 中村 一 斎藤 究 |

1.3 化学安全管理体制

1.3.1 化学安全関係責任者等

| | |
|-------------------------|--------|
| 環境安全管理室長 | 文珠四郎秀昭 |
| 環境安全管理室員 | 平 雅文 |
| 環境安全管理室員 | 古宮 綾 |
| 環境安全管理室員 | 佐藤 充 |
| J-PARC 安全ディビジョン副ディビジョン長 | 別所光太郎 |
| 化学薬品等取扱主任者 | 平 雅文 |
| 危険物屋内貯蔵所保安監督者 | 平 雅文 |
| 除害施設等管理責任者 | 文珠四郎秀昭 |
| PCB 特別管理産業廃棄物管理責任者 | 文珠四郎秀昭 |
| 特別管理産業廃棄物管理責任者 (PCB 以外) | 平 雅文 |

1.3.2 化学安全業務分担

| 業 務 | 担当氏名 |
|---------------|--------------------------------|
| 化学安全管理業務 (総括) | 文珠四郎秀昭 |
| 水質検査 | 佐藤 充 |
| 化学薬品管理 | 平 雅文 佐藤 充 |
| 依頼分析 | 平 雅文 文珠四郎秀昭 古宮 綾 佐藤 充 |
| 実験廃液処理 | 平 雅文 |
| RI 廃水処理 | 古宮 綾 |
| 作業環境管理 | 古宮 綾 |
| 環境管理 | 平 雅文 |
| 広報 | 古宮 綾 佐藤 充 |

2. 放射線安全管理関係

2.1 つくばキャンパス

2.1.1 概要

今年度、放射線発生装置や放射性同位元素の取扱いや被ばく線量等に関して、放射線安全のための法及び機構の諸基準を逸脱するような事例は無かった。

陽子加速器施設では、PS 主リング室内をはじめ、放射化物の整理作業が進められた。

電子加速器では、SuperKEKB のフェーズ3 にむけて、HER 及び LER の最大出力の増強が行われた。

放射性同位元素の使用に関しては、密封放射性同位元素の使用、貯蔵能力の減少が行われ、非密封放射性同位元素 Mo-99 の製造と使用の追加が行われた。

2.1.2 放射線管理業務

(1) 機構所属の放射線業務従事者

機構所属の従事者数は 749 名（女性は 79 名）であった。職員で管理区域内作業にかかわる被ばくがあったものは 10 名（0.4 mSv が 2 名、0.3 mSv 2 名、0.1 mSv 6 名）であった。被ばくを受けた作業場所は、所内では PS 主リング、電子陽電子入射器棟、STF、他事業所では、東北大、J-PARC、京都大である。

(2) 共同利用者、業者の受入

今年度登録された本機構所属以外の放射線業務従事者数は 4 6 2 2 名で、内訳は 業者：1339 名（新規 386 名、更新 953 名）、共同利用者：3283 名（新規 1676 名、更新 1607 名）であった。

今年度の被ばく状況は、業者では、0.5 mSv が 1 名、0.4 mSv が 1 名、0.3 mSv が 1 名、0.2 mSv が 2 名であり、放射化物の整理作業、電子陽電子入射器棟での作業、によるものである。共同利用者は、0.1 mSv が 1 名で、SuperKEKB の共同利用者である。

(3) 女性の被ばく

今年度の女性の放射線業務従事者被ばく状況は、職員 1 名が 0.4 mSv の被ばくが記録されている。

(4) 放射性同位元素、核燃料物質等の受入払出

密封放射性同位元素の払出し 3 件を行った。核燃料及び核原料物質の受入れと払出しは 22 件あり、8 件が放射光実験で、4 件が先端計測実験棟で使用された。

2.1.3 申請関係

(1) 防止法関係

ア) 第 20 回放射線安全審議委員会で審議された以下の内容で、平成 30 年 6 月 5 日付で変更承認申請を行い、6 月 25 日付で承認を得た。

- a) 陽子加速器施設の使用方法変更に係る放射線安全対策
 - (i) 北カウンターホール屋外の管理区域を縮小する
 - (ii) 陽子ビーム利用実験棟の立入制限区域(汚染管理区域)を一般管理区域に変更する
 - (iii) 陽子加速器施設リニアック室に設定されている放射化物保管設備の出入口位置を変更する
 - (iv) P4 ビームライン室放射化物保管設備を拡張する
- b) ERL 開発棟における開発共用棟の管理区域縮小に係る放射線安全対策
 - (i) 開発共用棟の管理区域及び放射化物保管設備を縮小する
- c) 大強度放射光リング使用方法の変更に係る放射線安全対策
 - (i) 南実験棟管理区域出入口数を変更する
 - (ii) 居室の名称を変更する。これに伴い、本施設の 22 条の 3 の規定を適用する区域の名称を下記のように変更する。
(旧名称) 北実験準備棟, 南実験準備棟, 北西実験棟, 放射光実験施設, 高周波西棟地上部全域および入射点直上部を含むフェンス区画
(新名称) 北実験棟, 南実験棟, 北西実験棟, 北東実験棟, 西実験棟地上部全域および入射点直上部を含むフェンス区画
 - (iii) インターロックからエリアモニタを削除する
- d) SuperKEKB 6SM4 棟管理区域解除に係る放射線安全対策
 - (i) 6SM4 補助機械棟管理区域を解除する

イ) 第 21 回放射線安全審議委員会で審議された以下の内容で、平成 30 年 10 月 29 日付で変更申請を行い、平成 31 年 1 月 25 日付けで承認を得た。

- a) 陽子加速器施設の使用方法変更に伴う放射線安全対策
 - (i) 加速器北実験棟およびリニアック電源室の管理区域を解除する
 - (ii) ミューオン第 2 実験棟の管理区域を縮小する
- b) ERL 開発棟のコンパクト ERL 加速器室における照射部ビームラインの新設に係る放射線安全対策
 - (i) 使用目的に「電子ビームを使用した放射性同位元素の製造・電子ビームを使用した理化学的研究」を追加する
 - (ii) 「照射部」を新設し、その最大出力とインターロックを設定する
 - (ii) 下記の密封されていない RI の使用を開始する
Mo-99 100MBq/日, Tc-99m 100MBq/日
- c) 陽電子ダンピングリングの出力増強に伴う放射線安全対策

- (i) 最大出力を 21.23GeV・mA から 42.47GeV・mA に変更する
 - (ii) 使用目的を変更する
- d) 放射光科学研究施設における放射線発生装置の使用目的の変更に係る放射線安全対策
- (i) 使用目的を変更する
 - (ii) 管理区域のその他の出入口を 4 か所追加する
- e) SuperKEKB フェーズ 3 に係る放射線安全対策
- (i) LER の最大出力を 7.2GeV・A から 10.4GeV・A に変更する
 - (ii) HER の最大出力を 9.1GeV・A から 13.3GeV・A に変更する
 - (iii) 下記の密封 RI の使用と貯蔵を減少させる
Fe-55 370MBq 1 個, Sr-90 370MBq 1 個, Sr-90 37MBq 1 個
 - (iv) 富士実験棟 B4 管理区域を縮小する
- f) ATF の使用方法変更に伴う放射線安全対策
- (i) 管理区域のその他の出入口を 1 か所追加する
- g) STF 変更使用に係る放射線安全対策
- (i) 最大エネルギーを 7.5MeV から 500MeV に変更する
 - (ii) 最大出力を 235W から 135W に変更する
 - (iii) 使用目的を変更する
 - (iv) ビームダンプを 2 台設置し、関連するインターロックの変更を行う
 - (v) 管理区域を拡張する
- h) 放射性試料測定棟における密封されていない放射性同位元素の核種 ^{99}Mo と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の使用の追加に係る放射線安全対策
- (i) 下記の密封されていない RI の使用を追加する
 ^{99}Mo 40MBq/日, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 40MBq/日
 - (ii) 施設名称を「放射線測定機器較正施設放射性試料測定棟」から「放射性試料測定棟」に変更する
- i) 放射線照射棟における密封線源の廃止と追加に係る放射線安全対策
- (i) 密封 RI (Am-Be 185GBq 1 個) の使用と貯蔵を減少させる
 - (ii) 密封 RI (Am-Be 37GBq 1 個) の使用と貯蔵を追加する
 - (iii) 密封 RI (Sr-90 370MBq 1 個) の使用と貯蔵を追加する
 - (iv) 施設名称を「放射線測定機器較正施設放射線照射棟」から「放射線照射棟」に変更する
- j) 熱中性子標準棟における密封された放射性同位元素の使用方法の変更に係る放射線安全対策
- (i) 密封 RI (Am-Be 185GBq 1 個) の使用と貯蔵を減少させる
 - (ii) 密封 RI (Am-Be 37GBq 1 個) の使用と貯蔵を減少させる

(2) 規制法関係

なし

2.1.4 検査関係

(1) 防止法関係

ア) 原子力規制庁による立入検査が7月2日と7月3日に実施され、指摘事項無し、指導事項8件であった。7月2日は帳簿検査が行われ、手続き関係（承認証、定期検査、定期確認など）および記録関係（放射線発生装置使用記録、教育訓練など）の確認が行われた。7月3日には現場検査が行われた。対象は、PF, PF-AR, ERL 開発棟、SuperKEKB 筑波実験室、陽電子ダンピングリング、EP1 下流部、放射性試料測定棟であった。法改正に伴う放射線管理の方法の変更に関する説明があった。指導事項への対応を行った。

イ) 原子力安全技術センターによる定期検査、定期確認が11月28日から30日、12月3日から4日、12月19日から21日に実施された。定期確認については、平成31年1月15日付で定期確認証を受領した。定期検査については、所定の日数の検査を受検し、指摘事項・指導事項はなかった。停止中のため運転時検査を受検できなかった加速器について2月20日(デジタル加速器)、3月14日(DR と STF)、4月12日(cERL:施設検査も兼ねる)、および5月29日(SuperKEKB)に追加測定が行われ、令和元年6月10日付で定期検査に合格した。

(2) 規制法関係

茨城県による平成30年度核燃料使用許可事業所に係る現地調査が11月5日に行われ、指摘事項・指導事項は無かった。

2.1.5 放射線安全審議委員会

(1) 第21回放射線安全審議委員会

平成30年9月12日に開催され、主な議題は以下の通りであった。

- a) 陽子加速器施設の使用方法変更に伴う放射線安全対策
- b) ERL 開発棟のコンパクト ERL 加速器室における照射部ビームラインの新設に係る放射線安全対策
- c) 陽電子ダンピングリングの出力増強に伴う放射線安全対策
- d) 放射光科学研究施設における放射線発生装置の使用目的の変更に係る放射線安全対策
- e) SuperKEKB フェーズ3に係る放射線安全対策
- f) ATF の使用方法変更に伴う放射線安全対策
- g) STF 変更使用に係る放射線安全対策

- h) 放射性試料測定棟における密封されていない放射性同位元素の核種 ^{99}Mo と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の使用の追加に係る放射線安全対策
- i) 放射線照射棟における密封線源の廃止と追加に係る放射線安全対策
- j) 熱中性子標準棟における密封された放射性同位元素の使用方法の変更に係る放射線安全対策

2.1.6 その他

(1) 機構内検査等

- a) 「機構長の指定する発生装置」として申請のあった下記装置について放射線取扱主任者による機構内検査を実施し、安全を確認し使用開始を許可した。検査日を[]内に記す。
 - ・ 先端薄膜ターゲット開発棟「iBNCT 新イオン源開発スタンド」[6月26日]
- b) X線発生装置として申請のあった下記装置について放射線取扱主任者による機構内検査を実施し、安全を確認し使用開始を許可した。検査日を[]内に記す。
 - ・ PANalytical 社製 X線回折装置 Aeris Research edition CuLFF セラミック管球 (最大出力 600W) [12月12日]
- c) STF 変更使用に係る承認に伴い、主任者検査を平成 31 年 2 月 8 日に行い、同日付で使用を許可した。
- d) SuperKEKB 変更使用に係る承認に伴い、主任者検査を平成 31 年 3 月 11 日に行い、同日付で使用を許可した。
- e) 管理区域縮小の承認(H30.6.5 付)に伴い、平成 30 年 7 月 31 日に管理区域の解除を行った。本解除に関する施設の廃止措置報告を規制委員会に提出した。
- f) 管理区域縮小・廃止に係る承認(H31.1.25 付)に伴い、平成 31 年 2 月 28 日に管理区域の縮小、解除を行った。本解除に関する施設の廃止措置報告を規制委員会に提出した。

(2) 教育訓練等

- a) つくばキャンパスにおける平成 30 年度放射線安全教育訓練第 1 回を平成 30 年 11 月 15 日に、第 2 回目を平成 31 年 2 月 12 日に行った。本教育訓練は既認定者の再教育および新規認定者の追加教育を目的としている。第 1 回と第 2 回の受講者数はそれぞれ、471 名と 133 名であった。

2.2 東海キャンパス (J-PARC)

2.2.1 J-PARC の進行状況と当放射線科学センターの役割

J-PARC は、日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構との共同プロジェクトであり、主としてJ-PARC センターが運営を担っている。当放射線科学センターからはJ-PARCセンターの安全ディビジョン・放射線安全セクションに別所、沼尻、山崎、齋藤、穂積、中村、高橋、長畔、西川の9名が専任として所属し、萩原、岸本、飯島が兼任として所属している。

2.2.2 放射線安全セクションの関連業務

関連業務としては、放射線障害防止法に関わる申請、届出、施設検査対応、規程等の改訂、放射線安全に関する委員会活動、放射線安全教育がある。2018年度も点検、訓練、講習会、規程改訂等の対応が行われた。

2.2.3 放射線申請関係

2018年度は、2回の変更申請が行われた。1回目は原子力規制委員会に7月9日付で申請し、8月22日付で許可を得た。主な変更内容は、MLFの遮へい構造の変更 (M2トンネル)、ミュオンU1ライン遮へい体を一時移動可とするための措置、HDの最大粒子数の変更(増強)、NUの排水設備の変更であった。

2回目は原子力規制委員会に11月21日付で申請し、2019年2月4日付で許可を得た。主な変更内容は、3NBT照射実験の試料追加、MLFの放射化物保管設備の縮小(ステライルニュートリノ実験)、密封RI核種追加であった。

J-PARCの各施設は、原科研敷地内に建設するため、茨城県との原子力安全協定により放射線施設の建設前及び規制庁への申請前に新增設等計画書を、建設後に工事完了報告書を県に提出し了解を得る必要がある。今年度は、施設検査に該当する申請がなかったため、新增設等計画書の提出はなかった。

2.2.4 内部規程の改訂、委員会活動

放射線安全に関する内部規程の見直しを行い、J-PARCセンター事故等通報規則及びJ-PARCセンター通報基準の改正を行った。また、諸手続等をまとめた「放射線安全ガイドブック」、放射線管理実務をまとめた「放射線管理要領」の改訂を行った。

JAEA、KEKの2者で申請を行うため、両機関で一元的に検討するための諮問会議として放射線安全委員会が設置されており、4回開催した。また、J-PARCセンター内で放射線安全に関する事項を検討する放射線安全評価委員会が設置されており、5回開催された。放射線安全評価委員会には特定の技術的項目を審議するための作業部会が設けられている。作業部会である運転手引専門部会を2回、インターロック専門部会を2回開催した。

2.2.5 放射線安全教育

2018年度の入城前教育訓練は、KEK・JAEA職員等 90名、外来業者 1438名、ユーザー 1328名が受講した。職員等の再教育訓練は2018年度に2回実施し、年度内に対象者全員の644名が受講した。

3. 化学安全・環境関係

3.1 依頼分析

環境安全管理室では、機構職員、共同利用者から種々の化学分析の依頼、相談などを受け付けており、本年度は 31 件の分析依頼を受け付けた。試料の量が少ない物が多く、ほとんどの分析で卓上型電子顕微鏡及びエネルギー分散型 X 線分析装置を使用した。次いで粉末 X 線回折装置、蛍光 X 線分析装置の使用頻度が高かった。粉末 X 線回折装置については、老朽化したため、新たに卓上型の装置を導入した。個々の分析内容、結果については部内レポート CHEM-A にまとめてある。

3.2 環境管理

環境安全管理室員の他、環境・地球温暖化・省エネ対策連絡会委員を中心に、「環境報告 2018」を作成し、機構 HP 上に公開した。さらに印刷した冊子体を関係機関及び近隣の中学校・高等学校（中等教育学校）に送付するとともに、機構内の関係部署に配布した。

3.3 実験廃液処理

所内各所の化学実験室等から排出される洗浄廃水は、実験廃液処理施設において凝集沈殿及び各種樹脂塔への通水により全量を処理している。処理水は污水排除基準（排水基準）を満たしていることを確認し、放流を行っている。本年度は、機構内の洗浄廃水貯留槽からの廃水、および、KEKB 地区の各機械室の冷却系統のメンテナンス及び試運転に伴う廃水、計 206.2 m³を受け入れ、処理を行った。

また、超伝導空洞電解研磨設備より排出されるフッ素系洗浄廃水についても実験廃液処理施設で無害化処理を行った。受け入れたフッ素系洗浄廃水は、計 19.3 m³であった。

廃液処理装置の保守としては、洗浄廃水受槽揚水ポンプの修理、フッ素反応槽移送ポンプの交換等を行った。更に安全対策として、無機ヤード内の階段に滑り止めを設置する等、作業の安全性向上を図った。装置や配管、架台等老朽化している箇所が多く、今後、設備の更新を検討していく必要がある。

3.4 廃水処理

3.4.1 PF 系統廃水処理

PF 系統の廃水処理施設では、廃水の全量を凝集沈殿処理して放流を行ってきた。しかし、放射性廃水の発生が理論上なく、また過去にも検出されたことも無い。一方で、大量の地下水が発生することが台風の時期などにあり、処理能力の増強が望まれてきた。このため、2019 年 1～3 月に施設の改修を行い、凝集沈殿処理施設の撤去、希釈水槽の新設、処理水槽の増設を行った。

Chapter 3 資料

ここでは、2018 年度における放射線科学センターにおける外部資金獲得状況、共同研究の展開、大学院生等の人材育成、センター開催の研究会及びシンポジウム、教育活動、機構外委員会等活動、社会貢献活動等の現状を具体的な資料として年度毎に示す。また、2018 年度の放射線科学センター名簿を示した。

1. 外部資金導入状況

1.1 科学研究費補助金

- (1) 基盤研究(C)
研究課題名：He ビームを用いた医療用 Mo-99/Tc-99m の製造技術にかかる基礎研究
研究代表者 萩原雅之
- (2) 基盤研究(C)
研究課題名：低エネルギー荷電粒子の核反応による誘導放射能の系統的測定とデータベース化
研究代表者 八島浩(京大炉)
研究分担者 萩原雅之
- (3) 基盤研究(C)
研究課題名：大強度加速器施設の気体中に生成される放射性核種の存在状態と挙動の解明
研究代表者：別所光太郎

1.2 受託研究等

- (1) 平成 30 年度放射線安全規制研究推進事業
研究課題名：加速器施設の廃止措置に係わる測定、評価手法の確立
研究代表者：松村 宏
- (2) 平成 30 年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業（課題解決型廃炉研究プログラム）
研究課題名：先端計測技術の融合で実現する高耐放射線燃料デブリセンサーの研究開発
研究代表者：萩原雅之
研究分担者：佐波俊哉、岩瀬広、岸本祐二

1.3 共同開発研究

- (1) 研究課題名：LET 測定に基づく新型宇宙線量計開発とそれを用いた線量測定システムの確立、並びに加速器混合放射線場測定への適用
研究代表者：佐々木慎一
研究分担者：岸本祐二、齋藤究、高橋一智

1.4 その他

- (1) 日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）
研究課題名：大強度陽子ビーム生成標的・窓材料に関する先端的研究
研究代表者：石田卓
研究分担者：萩原雅之
- (2) 2018 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」
研究課題名：高エネルギー二次粒子照射場の特性評価に係わる研究
研究代表者：佐波俊哉

2. 共同研究等

2.1 大学等との共同研究

2.1.1 共同研究（覚え書き等によるもの）

- (1) 研究課題名：はじき出し原子エネルギースペクトルに関する実験研究
共同研究先：日本原子力研究開発機構、東北大学 CYRIC
研究代表者：萩原雅之(KEK)、岩元洋介(JAEA)、渡部浩司(CYRIC)
- (2) 研究課題名：ワイドバンドギャップ半導体を用いた高効率放射線検出器の高性能化に関する研究
共同研究先：日本原子力研究開発機構(JAEA)
研究代表者：田中真伸、大島武(JAEA)
研究分担者：萩原雅之
- (3) 研究課題名：位置有感生体等価比例係数箱 (PS-TEPC) による宇宙ステーション内での線量等量計測技術の確立
共同研究先：JAXA
研究代表者：佐々木慎一、坂下哲也(JAXA)
研究分担者：岸本祐二、齋藤究、高橋一智
- (4) 研究課題名：マイクロパターンガス検出器を用いた特性評価に関する研究
共同研究先：産業技術総合研究所(AIST)
研究代表者：藤原健(AIST)、岸本祐二
研究分担者：佐波俊哉

2.1.2 大学、研究所等との共同研究 (2.1.1 によらないもの)

- (1) 研究課題名：核反応により生成する微量放射性核種の放射能分析法に関する研究
共同研究先：筑波大学
研究代表者：松村 宏
- (2) 研究課題名：CERN/CHARM施設での24GeV陽子からの二次中性子の遮蔽透過実験
共同研究先：CERN
研究代表者：Robert Froeschl(CERN)、佐波俊哉(KEK)
研究分担者：萩原雅之、山崎寛仁、大山隆弘、長畔誠司
- (3) 研究課題名：レーザー逆コンプトン散乱からの単色光子線を用いた(γ ,n)断面積測定
共同研究先：兵庫県立大学
研究代表者：浅野芳裕 (兵庫県立大)、宮本修治 (兵庫県立大)
研究分担者：波戸芳仁、佐波俊哉、山崎寛仁、Tran Kim Tuyet
- (4) 研究課題名：重粒子線治療に用いる炭素イオンビーム入射における水ファントム周囲の中性子収量および線量分布に関する研究
共同研究先：九州大学、原子力研究開発機構、放射線医学総合研究所、清水建設
研究代表者：魚住祐介 (九大)
研究分担者：佐波俊哉

2.2 民間との共同研究

- (1) 研究課題名：高エネルギー加速器を用いた生成粒子と遮蔽透過の測定
共同研究先：清水建設株式会社
研究代表者：佐波俊哉
研究分担者：萩原雅之、大山隆弘
- (2) 研究テーマ名：船内実験室第2期利用テーマ「位置有感生体等価比例計数箱 (PS-TEPC) による宇宙ステーション内での線量当量計測技術の確立」
共同研究先：日本宇宙フォーラム
研究代表者：佐々木慎一
研究分担者：岸本祐二、齋藤究、高橋一智

- (3) 研究課題名：放射線発生装置使用施設に係る放射化機構の研究及びクリアランス等の検認技術の開発
共同研究先：東京ニュークリア・サービス株式会社
研究代表者：三浦太一
研究分担者：松村 宏, 吉田 剛
- (4) 研究課題名：放射線環境下にあるサイクロトロン本体及び周辺機器の放射化評価に関する研究
共同研究先：住友重機械工業株式会社
研究代表者：松村宏
研究分担者：吉田 剛, 豊田晃弘
- (5) 研究課題名：放射光施設における遮蔽設計法の開発
共同研究先：清水建設株式会社
研究代表者：松村 宏
研究分担者：吉田 剛, 榎本和義

2.3 共同利用研究（施設利用）

- (1) 研究課題名：軽核破砕片生成二重微分断面積の測定
共同研究先：放射線医学総合研究所, 九州大学
研究代表者：佐波俊哉
- (2) 研究課題名：重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究
共同研究先：放射線医学総合研究所
研究代表者：萩原雅之
研究分担者：佐波俊哉
- (3) 研究課題名：FNTD 中性子線量計の単色中性子に対する応答評価
共同研究先：日本原子力研究開発機構
研究代表者：萩原雅之
研究分担者：佐波俊哉、飯島和彦
- (4) 研究課題名：He ビームを用いた医療用 RI の製造技術にかかる基礎研究
共同研究先：放射線医学総合研究所
研究代表者：萩原雅之
研究分担者：佐波俊哉
- (5) 研究課題名：粒子・重イオン輸送計算コード PHITS の高度化に関する研究(III)
共同研究先：(独)日本原子力研究開発機構、(財)高度情報科学技術研究機構
研究代表者：佐藤達彦(JAEA)
研究分担者：佐々木慎一、波戸芳仁、岩瀬広、萩原雅之

3. 大学院生等の人材育成

3.1 学位論文の指導（総合研究大学院大学）

- (1) 総研大博士後期課程
博士：Ngan Tran
指導教員：佐々木慎一、岸本祐二、佐波俊哉
- (2) 総研大博士後期課程
博士：橋詰拓弥
指導教員：佐波俊哉、萩原雅之、文珠四朗秀昭
- (3) 総研大博士後期課程
博士：竹内章博
指導教員：齋藤究、岸本祐二、佐波俊哉
- (4) 総研大博士後期課程
博士：Tran Kim Tuyet
指導教員：佐波俊哉、山崎寛仁

3.2 学位論文等の指導（他大学）

- (1) 九州大学
研究課題：陽子入射による二次荷電粒子生成二重微分断面積の測定
修士：山口雄二
指導教員：佐波俊哉
- (2) 九州大学
研究課題：高エネルギー二次粒子の遮蔽透過実験
博士：李恩智
指導教員：佐波俊哉、萩原雅之、山崎寛仁

3.3 学術指導

- (1) 東京電力ホールディングス株式会社
学術指導題目：福島第一原子力発電所における放射線管理に関わる学術指導
学術指導代表者：波戸 芳仁
学術指導分担者：平山 英夫

4. センター開催の研究会及びシンポジウム

4.1 第25回 EGS4 研究会

主催：高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター
開催場所：高エネルギー加速器研究機構（茨城県つくば市）
開催期間：2018年8月5日～8月7日
出版物：KEK Proceedings 2018-13, “Proceedings of the Twenty-Fifth EGS Users' Meeting in Japan”.
参加者数：105名

4.2 第20回「環境放射能」研究会

主催：KEK 放射線科学センター、日本放射化学会 α 放射体・環境放射能分科会
共催：日本原子力学会保健物理・環境科学部会、日本放射線影響学会、日本放射線安全管理学会
開催場所：高エネルギー加速器研究機構（KEK） 研究本館 小林ホール
開催期間場所：2019年3月12日～3月14日
参加者：195名
プロシーディング編集：(Edited) K. Bessho, K. Tagami, K. Takamiya, T. Miura : “Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity”, KEK Proceedings in press.

4.3 第33回研究会「放射線検出器とその応用」

主催：高エネルギー加速器研究機構
開催場所：高エネルギー加速器研究機構（KEK） 研究本館 小林ホール
開催期間：2019年1月28日～1月30日
参加者：90名

5. 教育活動

5.1 総合研究大学院大学

- (1) 総研大共通専門科目加速器概論Ⅰ（放射線相互作用と検出）
- (2) 総研大共通専門科目加速器概論Ⅱ／同演習Ⅱ（"Radiation Interaction and Detection"）
- (3) 加速器科学専攻「加速器工学特別演習」（学位論文指導）

5.2 非常勤講師等

- (1) 首都大学東京・大学院人間健康科学研究科非常勤講師
- (2) 首都大学東京健康福祉学部非常勤講師
- (3) 成蹊大学大学理工学研究科非常勤講師
- (4) 中央大学兼任講師「高エネルギー加速器科学第2」
- (5) 放射線医学総合研究所協力研究員
- (6) 理化学研究所客員研究員
- (7) 産業総合研究所客員研究員

6. 機構外活動・社会貢献活動等

6.1 外部委員会等

- (1) J-PARC High-p /COMET 特別部会委員
- (2) J-PARC MLF 過酷事象 TF 委員
- (3) J-PARC 放射線安全評価委員会委員
- (4) J-PARC 放射線安全委員会委員
- (5) J-PARC FIFC (Facilities Impact and Finance Committee) 委員
- (6) 東京大学大学院工学系研究科原子力専攻原子力機構施設利用共同研究委員会委員
- (7) つくば市放射線懇話会委員
- (8) つくば市環境都市推進委員会委員

- (9) 筑波放射線安全交流会 会長
- (10) 放射線安全フォーラム理事
- (11) 放射線医学総合研究所共用施設運営委員会委員
- (12) 放射線医学総合研究所共用施設運営委員会部会委員

6.2 学会等

- (1) 日本原子力学会核データ部会委員
- (2) 応用物理学会放射線分科会幹事会部会員
- (3) 日本原子力学会放射線工学部会幹事
- (4) 核データ測定戦略検討 WG 委員
- (5) 日本原子力学会「遮蔽計算の応用技術」研究専門委員会委員,
- (6) 日本原子力学会標準委員会遮蔽分科会委員
- (7) 日本原子力学会放射線工学部会運営委員
- (8) 日本保健物理学会放射線安全文化の醸成に関する専門研究会委員
- (9) 日本放射線安全管理学会顧問
- (10) 日本放射線安全管理学会「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアル」改訂専門委員会委員長
- (11) 日本分光学会 代議員
- (12) 日本放射化学会 理事
- (13) 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会“原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会”委員
- (14) 大学等放射線施設協議会 理事、常議員
- (15) 大学等環境安全協議会 監事
- (16) 次期 JENDL 委員会核データ測定戦略検討 WG 委員
- (17) ISORD-10, International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology 組織委員会委員
- (18) 国際会議「放射線検出器とその応用」(ISR2016) 組織委員会委員長、プログラム委員会委員、現地委員会委員長
- (19) 日本原子力学会北関東支部若手研究者発表会実行委員
- (20) 日本原子力研究開発機構博士研究員研究業績評価委員
- (21) ニュートリノビームライン大強度化国際レビュー委員
- (22) 理研小型中性子源システム安全諮問委員会委員

6.3 講習会等

- (1) 除染情報プラザ登録専門家派遣

6.4 社会貢献等

- (1) 福島支援：福島県飯舘村の復興に向けた放射線測定支援
- (2) 福島支援：福島県内水面水産試験場：水産物の試験研究にかかわる放射能測定協力
- (3) 福島支援：福島県林業研究センター：樹木、果樹、土壌等の放射能測定協力
- (4) 福島支援：環境再生プラザ登録専門家派遣

7. 受賞記録

(1) 優秀プレゼンテーション賞 (日本放射線安全管理学会第 17 回学術大会)

受賞者：飯島和彦

発表題目：KEK 陽子加速器トンネルにおけるコンクリート壁・床の放射化

共同研究者：西川功一、吉田剛、中村一、豊田晃弘、松村宏、榎本和義、三浦太一

8. 放射線科学センター名簿

| | | |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 波戸 芳仁* | 飯島 和彦 | 榎本 和義 ^(f) |
| 佐波 俊哉 | 高原 伸一 | 佐藤 充 ^(c) |
| 沼尻 正晴 ^(#) | 豊田 晃弘 | 近藤 健次郎 ^(e) |
| 松村 宏 | 高橋 一智 ^(#) | 平山 英夫 ^(e) |
| 別所 光太郎 ^(#) | 長畔 誠司 ^(#) | 道川 太一 ⁽ⁱ⁾ |
| 山崎 寛仁 ^(#) | 古宮 綾 | 橋詰 拓弥 ^(g) |
| 齋藤 究 ^(#) | 大山 隆弘 | 竹内 章博 ^(g) |
| 萩原 雅之 | 三浦 太一 ^(a) | Tran Ngan ^(g) |
| 岩瀬 広 | 藤原 一哉 ^{(b)(#)} | Tuyet Tran ^(g) |
| 吉田 剛 | 西川 功一 ^{(b)(#)} | 山口 雄司 ^(h) |
| 平 雅文 | 穂積 憲一 ^{(d)(#)} | 豊島 規子 |
| 中村 一 ^(#) | 伴 秀一 ^(f) | 室町 啓子 |

(*) 放射線科学センター長

(#) J-PARC センター所属

(a) 特別教授

(b) 特別技術専門職

(c) 研究支援員

(d) シニアフェロー

(e) ダイヤモンドフェロー

(f) 研究員

(g) 総合研究大学院大学

(h) 特別共同利用研究員

(i) 協力研究員

Chapter 4 Publication List

1. Papers (2018.1.1~2018.12.31)

- (1) H. Matsumura, A. Toyoda, K. Masumoto, G. Yoshida, T. Yagishita, T. Nakabayashi, H. Sasaki, K. Matsumura, Y. Yamaya and Y. Miyazaki, “In-situ determination of residual specific activity in activated concrete walls of a PET-cyclotron room,” IOP Conf. Ser.: J. Phys., **1046** (2018) 012016.
- (2) A. Toyoda, G. Yoshida, H. Matsumura, K. Masumoto, T. Nakabayashi, T. Yagishita and H. Sasaki, “Evaluation of induced activity in various components of a PET-cyclotron”, IOP Conf. Ser., J. Phys., **1046** (2018) 012017.
- (3) M. Akemoto, D. Arakawa, S. Asaoka, E. Cenni, M. Egi, K. Enami, K. Endo, S. Fukuda, T. Furuya, K. Haga, R. Hajima, K. Hara, K. Harada, T. Honda, Y. Honda, T. Honma, K. Hosoyama, E. Kako, H. Katagiri, H. Kawata, Y. Kobayashi, Y. Kojima, Y. Kondou, O. Tanaka, T. Kume, M. Kuriki, H. Matsumura, H. Matsushita, S. Michizono, T. Miura, T. Miyajima, S. Nagahashi, R. Nagai, H. Nakai, H. Nakajima, N. Nakamura, K. Nakanishi, K. Nigorikawa, N. Nishimori, T. Nogami, S. Noguchi, T. Obina, F. Qiu, H. Sagehashi, H. Sakai, S. Sakanaka, S. Sasaki, K. Satoh, M. Sawamura, M. Shimada, K. Shinoe, T. Shishido, M. Tadano, T. Takahashi, R. Takai, T. Takenaka, Y. Tanimoto, T. Uchiyama, A. Ueda, K. Umemori, K. Watanabe, M. Yamamoto, “Construction and commissioning of the compact energy-recovery linac at KEK” , Nucl. Instrum. Method. Phys. Res., Sect A, **887** (2018) 197-219.
- (4) G. Yoshida, K. Ninomiya, M. Inagaki, M. Toyoda, J. Aoki, N. Kawamura, Y. Miyake, and A. Shinohara, “Development of muonic atom beam extraction system and first evaluation by intense negative muon beam of J-PARC MUSE”, JPS Conf. Proc., **21** (2018) 011046.
- (5) M. Inagaki, K. Ninomiya, G. Yoshida, W. Higemoto, N. Kawamura, Y. Miyake, T. Miura, and A. Shinohara, “Muon transfer rates from muonic hydrogen atoms to gaseous benzene and cyclohexane”, J. Nucl. Radiochem. Sci., **18** (2018) 5-8.
- (6) M. Kaneta, B. Beckford, T. Fujii, Y. Fujii, K. Futatsukawa, Y.C. Han, O. Hashimoto, K. Hirose, T. Ishikawa, H. Kanda, C. Kimura, K. Maeda, S.N. Nakamura, K. Suzuki, K. Tsukada, F. Yamamoto, H. Yamazaki, “Neutral Kaon Spectrometer 2”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.,

Sect. **A886** (2018) 88-103.

- (7) T. Kajimoto, T. Sanami, N. Nakao, R. Froeschl, S. Roesler, E. Iliopoulou, A. Infantino, M. Brugger, E. Lee, N. Shigyo, M. Hagiwara, H. Yashima, H. Yamazaki, K. Tanaka, S. Endo, “Neutron energy spectrum measurement using an NE213 scintillator at CHARM”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. **B429** (2018) 27-33
- (8) Y. Matsumura, T. Ishikawa, Y. Honda, S. Kido, M. Miyabe, I. Nagasawa, K. Nanbu, H. Shimizu, K. Takahashi, Y. Tsuchikawa, H. Yamazaki, “Development of a transmittance monitor for high-intensity photon beams”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. **A902** (2018) 103-109
- (9) Y. Unno, T. Sanami, S. Sasaki, M. Hagiwara, A. Yunoki, “Evaluation of absolute measurement using a 4π plastic scintillator for the $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence counting method”, Appl. Radiat. Isot. **134** (2018) 302-306.
- (10) T. Ishida, E. Wakai, M. Hagiwara, S. Makimura, M. Tada, D.M. Asner, A. Casella, A. Devaraj, D. Edwards, R. Prabhakaran, D. Senor, M. Hartz, S. Bhadra, A. Fiorentini, M. Cadabeschi, J. Martin, A. Konaka, A. Marino, A. Atherthon, C.J. Densham, M. Fitton, K. Ammigan, P. Hurh, “Study of the radiation damage effect on Titanium metastable beta alloy by high intensity proton beam”, Nucl. Mater. Ene. **15** (2018) 169-174.
- (11) H. Yoshitomi, M. Kowatari, M. Hagiwara, S. Nagaguro, H. Nakamura, “Quantitative Estimation of Exposure Inhomogeneity in Terms of Eye Lens and Extremity Monitoring for Radiation Workers in The Nuclear Industry”, Radiat. Prot. Dosim, **184**(2018)179-188, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy197>.
- (12) M. Hagiwara, H. Yashima, T. Sanami, S. Yonai, “Measurement of the excitation function of $^{96}\text{Zr}(\alpha, n)^{99}\text{Mo}$ for an alternative production source of medical radioisotopes”, J. Radioanal. Nucl. Chem. **318** (2018) 569-573.
- (13) T. Oyama, M. Hagiwara, T. Sanami, H. Yashima, N. Nakao, E.J. Lee, E. Iliopoulou, R. Froeschl, A. Infantino, S. Roesler, “Measurement and calculation of thermal neutrons induced by the 24 GeV/c proton bombardment of a thick copper target”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.,

Sect **B434** (2018) 29-36.

- (14) T. Kajimoto, T. Sanami, N. Nakao, R. Froeschl, S. Roesler, E. Iliopoulou, A. Infantino, M. Brugger, K. Tanaka, S. Endo, "Reproduction of neutron fluence by unfolding method with an NE213 scintillator", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. **A908** (2018) 141-149.
- (15) Ngan N.T. Tran, S. Sasaki, T. Sanami, Y. Kishimoto, and E. Shibamura, "Scintillation Efficiency and Position Sensitivity for Radiation Events in Plastic Scintillators", IEEE Trans. Nucl. Sci. 018(2805703), 2018.
- (16) E. Iliopoulou, P. Bamidis, M. Brugger, R. Froeschl, A. Infantino, T. Kajimoto, N. Nakao, S. Roesler, T. Sanami, A. Siountas, "Measurements and FLUKA simulations of bismuth and aluminium activation at the CERN Shielding Benchmark Facility (CSBF)", Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. **A885** (2018) 79-85.

2. Publication in Japanese (2018.1.1~2018.12.31)

- (1) 八島浩、萩原雅之、佐波俊哉、米内俊祐、「重粒子によるしきいエネルギー付近の核反応に関する研究」、平成29年度放医研サイクロトロン利用報告書 QST-M-15.
- (2) 萩原雅之、八島浩、佐波俊哉、米内俊祐、「Heビームを用いた医療用RIの製造技術にかかる基礎研究」、平成29年度放射線医学総合研究所・重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書.
- (3) 柴田徳思、榎本和義、「東京大学原子核研究所の廃止に向けた活動」、Radioisotopes 67(2018)605-618.
- (4) 平山 英夫、「egs5 による東京電力福島第1 原子力発電所における全ベータ放射能測定に関する研究」、保健物理**53** (2018) 294-301.

3. Proceedings (2018.1.1~2018.12.31)

- (1) 榎本和義、松村 宏、三浦太一、吉田 剛、豊田晃弘、中村 一、別所光太郎、中林貴之、延原文祥、笹公和、森口哲朗、土田秀次、松山成男、松田誠、谷池晃、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-1. 静電加速器施設の放射化調査」、日本放射線安全管理学会誌 **17 (2)** (2018)163.
- (2) 延原文祥、長島洋子、榎本和義、松村 宏、三浦太一、吉田 剛、豊田晃弘、中村 一、

別所光太郎、中林貴之、笹公和、森口哲朗、土田秀次、松山成男、松田誠、谷池晃、
「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認
手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-2. 静電加速器施設におけるモン
テカルロ計算」、日本放射線安全管理学会誌 **17 (2)** (2018)164.

- (3) 豊田晃弘、松村 宏、榎本和義、三浦太一、吉田 剛、中村 一、別所光太郎、中林
貴之、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の
確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-3. 国立循環器病研究センタ
ー研究所における PET サイクロトロン施設の放射化調査」、日本放射線安全管理学会
誌 **17 (2)** (2018)167.
- (4) 松村宏、吉田 剛、豊田晃弘、榎本和義、西川功一、中林貴之、宮崎吉春、三浦太一、
中村 一、別所光太郎、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-
放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-4. 放射化
物の線量および放射能測定評価手法の開発」、日本放射線安全管理学会誌 **17 (2)**
(2018)170.
- (5) 吉田 剛、豊田晃弘、松村 宏、榎本和義、三浦太一、中村 一、別所光太郎、「放
射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順
と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-5. 放射化物の放射線イメージング技
術の検討」、日本放射線安全管理学会誌 **17 (2)** (2018)172.
- (6) 松村 宏、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃
止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-6. 2018 年度安全研究計
画について」、日本放射線安全管理学会誌 **17 (2)**(2018) 175.
- (7) M. Sato, Z. Fang, M. Fukuda, Y. Fukui, K. Futatsukawa, Y. Honda, K. Ikegami, H. Kobayashi,
C. Kubota, T. Kurihara, T. Miura, T. Miyajima, F. Naito, K. Nanmo, T. Obina, T. Shibata,
T. Sugimura, A. Takagi, E. Takasaki, H. Kumada, Y. Matsumoto, T. Onishi, S. Tanaka, N.
Nagura, T. Ohba, T. Ouchi, H. Sakurayama and Hasegawa, "Commissioning status of the
LINAC for the iBNCT project", Proc. of 29th Int. linac conf., (2018, Sept. 16-21, Beijing)
pp.174-176.

- (8) 西川功一、金井敦史、関本俊、萩原雅之、別所光太郎、三浦太一、八島浩：“J-PARC MR加速器におけるコンクリート遮へい体内の含有元素と放射能深度分布の測定”、第19回「環境放射能」研究会報告集 (KEK Proceedings 2018-7) 、 pp. 270-275.
- (9) 別所光太郎、萩原雅之、渡辺丈晃、西川功一、倉崎るり、武藤亮太郎、齋藤究、春日井好己、「J-PARCハドロン実験施設の金標的監視用ガス中放射能の解析(2) ～ガス中放射能の観測値とシミュレーション計算結果の比較～」、第19回「環境放射能」研究会報告集 (KEK Proceedings 2018-7) 、 pp.259-264.
- (10) 鷹崎和義、富谷敦、和田敏裕、中久保泰起、佐藤利幸、川田 暁、松本育夫、梶本和義、「福島県の湖沼に生息するウグイの年齢と¹³⁷Cs濃度の関係」、第19回「環境放射能」研究会報告集 (KEK Proceedings 2018-7) 、 pp.128-132.

4. Reports (2018.1.1～2018.12.31)

- (1) H. Hirayama, “Studies on Total Beta Measurements at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company with egs5”, KEK Preprint 2018-56 (2018) (in Japanese).
- (2) H. Hirayama, “Studies on Personal Dosimeter for β -ray 3 mm Dose Equivalent with egs5 code”, KEK Report 2018-2(2018) (in Japanese).
- (3) H. Hirayama, “Skyshine Calculation with egs5 code due to γ -rays from Radionuclides Distributed Uniformly Inside Operation Floor of Unit-1 of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station”, KEK Report 2018-3(2018) (in Japanese).

5. Presentation at Conferences (2018.4.1～2019.3.31)

5.1 International Conference

- (1) 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.
- 1) H. Matsumura, G. Yoshida, A. Toyoda, K. Masumoto, K. Nishikawa, T. Nakabayashi, Y. Miyazaki, T. Miura, H. Nakamura and K. Bessho, "Simplified method for determining residual specific activity in activated concrete of a PET-cyclotron room using a survey meter"
- 2) H. Nakamura, H. Matsumura, G. Yoshida, A. Toyoda, K. Masumoto, T. Miura, K. Sasa and T.

- Moriguchi, "Investigation of neutron-fluence measurement methods for estimating neutron-induced activity in an electrostatic accelerator room"
- 3) A. Toyoda, H. Matsumura, K. Masumoto, G. Yoshida, T. Miura, H. Nakamura, K. Bessho, T. Nakabayashi and G. Horitsugi, "Quantitative evaluation of radioactivity in concrete at PET cyclotron facility with simple and nondestructive measurement"
- 4) G. Yoshida, A. Toyoda, H. Matsumura, K. Masumoto, T. Miura, H. Nakamura and K. Bessho, "Evaluation of different gamma ray imaging techniques for visualization of induced activity in accelerator magnets"
- (2) 29th International linac conference, Beijing, Sept. 16-21, 2018.
- 1) M. Sato, Z. Fang, M. Fukuda, Y. Fukui, K. Futatsukawa, Y. Honda, K. Ikegami, H. Kobayashi, C. Kubota, T. Kurihara, T. Miura, T. Miyajima, F. Naito, K. Nanmo, T. Obina, T. Shibata, T. Sugimura, A. Takagi, E. Takasaki, H. Kumada, Y. Matsumoto, T. Onishi, S. Tanaka, N. Nagura, T. Ohba, T. Ouchi, H. Sakurayama and Hasegawa, "Commissioning status of the LINAC for the iBNCT project"
- (3) The 11th. International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC XI), the Sheraton Keauhou Bay Resort, Kailua-Kona, HI, USA, 8-13, April 2018.
- 1) M. Hagiwara, H. Yashima, T. Sanami, S. Yonai, "Measurements of Excitation Function of $^{96}\text{Zr}(\alpha, n)^{99}\text{Mo}$ for Alternative Production Source of Medical Radioisotopes"
- 2) H. Yashima, M. Hagiwara, T. Sanami, S. Yonai, "Measurements of The Alpha-induced Activation Cross Sections for Cu"
- (4) 5th Asian & Oceanic IRPA Regional Congress on Radiation Protection, Melbourne, Australia, 20-23, May 2018.
- 1) T. Hashizume, T. Okazaki, T. Sanami, M. Hagiwara, H. Monjushiro, H. Hayashi, I. Kobayashi, "Simulation of alpha-ray track images on fluorescence nuclear track detectors using Monte Carlo code"
- (5) The 6th. International Workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics (CNR*18), LBNL, Berkeley, CA, USA, 24-28, September 2018.
- 1) M. Hagiwara, H. Yashima, T. Sanami, S. Yonai, "Measurement of the excitation functions on

zirconium induced by alpha particles up to 46 MeV”

2) H. Yashima, M. Hagiwara, T. Sanami, S. Yonai, “Excitation function measurements of alpha-induced reaction on natural copper and titanium up to 46 MeV”

(6) SATIF-14, 14th Specialists' workshop on Shielding aspects of Accelerators, Targets, and Irradiation Facilities, Gyeongju, Korea, Oct. 30 to Nov. 2, 2018

1) E. Lee, N. Shigyo, T. Kajimoto, T. Sanami, M. Hagiwara, T. Oyama, N. Nakao, H. Yashima, R. Froeschl, S. Roesler, E. Lliopoulou, A. Infantino, M. Brugger, “Measurement of neutron energy spectra after shield penetrating concrete at CERN/CSBF with 24 GeV/c proton on thick copper target,”

2) H. Hirayama, T. Sanami, “Intercomparison of Particle Production (3)”

3) E. Iliopoulou, P. Bamidis, M. Brugger, R. Froeschl, A. Infantino, T. Kajimoto, N. Nakao, S. Roesler, T. Sanami, A. Siountas, H. Yashima, “Measurements and FLUKA Simulations of Bismuth, Aluminium, Indium and Carbon Activation at the upgraded CERN Shielding Benchmark Facility (CSBF)”

4) T. Oyama, M. Hagiwara, H. Nakamura, S. Nagaguro, M. J. Shirakata, H. Yamazaki, K. Nishikawa, T. Sanami, “Thermal neutron profile inside J-PARC Main Ring tunnel”

5) H. Iwase, H. Ego, S. Matsumoto, Y. Namito, and H. Hirayama, “Dark current and radiation of KEK-Linac accelerator tube”

6) H. Hirayama and T. Sanami, “Intercomparison of Particle Production (3)”

5.2 Domestic Conference

(1) 第20回「環境放射能」研究会、高エネルギー加速器研究機構、つくば市、2019年3月12日～14日

1) 吉田剛、豊田晃弘、松村宏、榎本和義、三浦太一、中村一、西川功一、別所光太郎、「加速器施設廃止時における放射線イメージング技術適用の検討」

2) 鷹崎和義、富谷敦、和田敏裕、中久保泰起、佐藤利幸、川田 暁、松本育夫、榎本和義、「福島県の同一水系の湖沼・河川に生息するヤマメの放射性 Cs 濃度の差異」

(2) 第33回研究会「放射線検出器とその応用」、高エネルギー加速器研究機構、つくば市、2019年1月28日～30日

1) 竹内章博、齋藤究、大山隆弘、岸本祐二、佐波俊哉：“ヘリウムの電離収量に対する不

純物の影響”

- 2) 李恩智、執行信寛、梶本剛、佐波俊哉、松藤成弘：“液体有機シンチレータを用いたアンフォールディング法による中性子エネルギースペクトルに対する検出器較正の影響”
 - 3) Pi-En Tsai, Yosuke Iwamoto, Masayuki Hagiwara, Daiki Satoh, Shin-ichiro Abe, Tatsuhiko Sato, Masatoshi Itoh, and Hiroshi Watabe：“Development of a gas ionization chamber for PKA charge distribution measurements”
 - 4) 吉田剛、松村 宏、西川功一、豊田晃弘、梶本和義、宮崎吉春、「シンチレーション式スペクトロメーターを用いた PET サイクロトロン施設コンクリートの放射化判定法の開発」
- (3) 京都大学複合原子力科学研究所、大阪府泉南郡熊取町、京都大学複合原子力科学研究所 専門研究会「放射化分析及び中性子を用いた地球化学的研究-2-」、2019年1月25日
- 1) 吉田 剛、西川功一、中村 一、八島 浩、関本 俊、三浦太一、梶本和義、豊田晃弘、松村 宏、宮崎吉春、「加速器施設廃止時における非破壊でのコンクリート放射化判定手法の開発」
- (4) 大学等放射線施設協議会・加速器放射線安全検討委員会、東北大学東京サイト、東京都中央区、2019年1月25日
- 1) 松村宏、「原子力規制庁の放射線安全規制研究推進事業 加速器施設の廃止措置に関わる放射化物の測定・評価手法の研究」
- (5) 日本放射線安全管理学会 第 17 回 学術大会、名古屋大学 野依学術記念交流館、愛知県名古屋市、2018年12月5日～7日
- 1) 松村 宏、「放射線施設廃止措置マニュアルの改定 ー放射化物の測定ー」、
 - 2) 飯島和彦、西川功一、吉田剛、中村 一、豊田晃弘、松村 宏、梶本和義、三浦太一、「KEK 陽子加速器トンネルにおけるコンクリート壁・床の放射化」
 - 3) 西川功一、別所光太郎、萩原雅之、三浦太一、関本俊、八島浩、山崎寛仁、中村一、白形政司、金井敦史、「大強度陽子加速器の運転による低放射化コンクリート中の生成放射能」
- (6) 平成 30 年度 大学等における放射線安全管理研修会、東京大学農学部 弥生講堂、東京都文京区、2018年9月11日
- 1) 三浦太一、「KEK における教育訓練の現状と課題」

(7) 第2回大学加速器連携協議会、まちなかキャンパス長岡、新潟県長岡市、2018年8月8日

1) 松村 宏、「加速器施設の廃止措置に関わる放射化物の測定・評価手法の研究」

(8) 第15回日本加速器学会年会、ハイブ長岡、新潟県長岡市、2018年8月7日～10日

1) 佐藤将春、池上清、帯名崇、久保田親、栗原俊一、小林仁、柴田崇統、杉村高志、高木昭、高崎栄一、内藤富士雄、南茂今朝雄、方志高、福井祐治、福田将史、二ツ川健太、本田洋介、三浦太一、宮島司、熊田博明、大西貴博、田中進、松本孔貴、大場俊幸、名倉信明、大内利勝、櫻山久志、長谷川和男、「iBNCT 加速器の現状報告」

(9) 第31回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、東京都市大学 二子玉川夢キャンパス、東京都世田谷区、2018年7月13日～14日

1) 榎本和義、松村 宏、三浦太一、吉田 剛、豊田晃弘、中村 一、別所光太郎、中林貴之、延原文祥、笹公和、森口哲朗、土田秀次、松山成男、松田誠、谷池晃、企画講演「静電加速器施設の放射化に関する調査報告」

(10) 研究会「大型加速器施設の利用に関する放射線業務従事者教育訓練のあり方に関するワークショップ -法令改正に向けて-」、大阪大学核物理研究センター、大阪府茨木市、2018年6月21日～22日

1) 松村宏、「KEKにおける教育訓練の現状と課題」

(11) 第15回日本放射線安全管理学会6月シンポジウム、東京大学農学部弥生講堂、東京都文京区、2018年5月24日～25日

1) 榎本和義、松村 宏、三浦太一、吉田 剛、豊田晃弘、中村 一、別所光太郎、中林貴之、延原文祥、笹公和、森口哲朗、土田秀次、松山成男、松田誠、谷池晃、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂に向けて 5-1. 静電加速器施設の放射化調査」

2) 延原文祥、長島洋子、榎本和義、松村 宏、三浦太一、吉田 剛、豊田晃弘、中村 一、別所光太郎、中林貴之、笹公和、森口哲朗、土田秀次、松山成男、松田誠、谷池晃、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂に向けて 5-2. 静電加速器施設におけるモンテカルロ計算」

3) 豊田晃弘、松村 宏、榎本和義、三浦太一、吉田 剛、中村 一、別所光太郎、中林貴之、

「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-3. 国立循環器病研究センター研究所における PET サイクロトロン施設の放射化調査」

- 4) 松村 宏、吉田 剛、豊田晃弘、榎本和義、西川功一、中林貴之、宮崎吉春、三浦太一、中村 一、別所光太郎「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-4. 放射化物の線量および放射能測定評価手法の開発」
- 5) 吉田 剛、豊田晃弘、松村 宏、榎本和義、三浦太一、中村一、別所光太郎、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-5. 放射化物の放射線イメージング技術の検討」
- 6) 松村 宏、「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5-6. 2018 年度安全研究計画について」

(12) 平成 29 年度放射線医学総合研究所・重粒子線がん治療装置等共同利用研究成果発表会、ホテルポートプラザちば、千葉県千葉市、2018 年 4 月 16 日～17 日

- 1) He ビームを用いた医療用 RI の製造技術にかかる基礎研究、萩原雅之、八島浩、佐波俊哉、米内俊祐

(13) 第 14 回 PHITS 研究会、いばらき量子ビーム研究センター2 階多目的ホール、茨城県那珂郡東海村、2018 年 8 月 22 日

- 1) 西川功一、別所光太郎、萩原雅之、関本俊、三浦太一、八島浩、金井敦史：“大強度陽子加速器におけるコンクリート壁の放射化”
- 2) 別所光太郎、萩原雅之、渡辺丈晃、西川功一、倉崎るり、武藤亮太郎、齋藤究、春日井好己、“J-PARC ハドロン実験施設の金標的監視用ガス中放射能と PHITS / DCHAIN-SP による固体標的中生成放射能計算結果の比較”

(14) 日本原子力学会 2018 年秋の年会、岡山大学津島キャンパス、岡山市、2018 年 9 月 5 日～7 日

- 1) He ビームを用いた医療用 Mo-99/Tc-99m の製造技術の基礎研究 (2)Zr 標的に対する He 照射による RI 生成と励起関数の測定、萩原雅之、八島浩、佐波俊哉、米内俊祐
- 2) 低エネルギー測定下限二次粒子検出器の開発と 70 MeV 陽子入射反応への応用、山口雄司、佐波俊哉、魚住裕介

- 3) 数百 MeV/u α 粒子入射における分解反応の研究(2)、吉田和人、山口雄司、藤井基晴、佐波俊哉、松藤成弘、古場裕介、魚住裕介
- 4) 福島県相馬郡飯舘村における空間線量と個人線量の相関、今井誠、小原壮二、小川唯史、田尾陽一、菅野宗夫、高橋正二、飯島和彦、石川正、佐々木慎一
- (15) 応用物理学会 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会 (福岡国際会議場) 2018 年 9 月 18 日～21 日
- 1) 竹内章博、大山隆弘、岸本祐二、佐波俊哉、齋藤究：“希ガス W 値の圧力依存性”
 - 2) 岸本祐二、佐々木慎一、高橋一智、齋藤究、寺沢和洋、身内賢太郎、池田直美、梶田大輔、永松愛子、勝田真登、松村祐介、松本晴久、森國城、谷森達、窪秀利、内堀幸夫、北村尚：“位置有感型比例計数箱 PS-TEPC の開発：ISS における LET 分布の導出”
- (16) KEK スチューデント・デイ 2018(KEK 小林ホール) 2018 年 11 月 13 日
- 1) A. Takeuchi, K. Saito, Y. Kishimoto, T. Oyama, and T. Sanami, 「Measurement of scintillation and ionization in helium mixed with xenon」
- (17) 第 15 回 Micro-Pattern Gas Detector 研究会、京都大学、2018 年 12 月 14 日～15 日
- 1) 岸本祐二、「位置有感型比例計数箱 PS-TEPC による機上試験データの解析」
- (18) 第 6 回加速器施設安全シンポジウム、いばらき量子ビーム研究センター、茨城県那珂郡東海村、2019 年 1 月 24～25 日
- 1) 西川功一、別所光太郎、萩原雅之、三浦太一、白形政司、山崎寛仁、中村一、齋藤究、北川潤一、金井敦史、「J-PARC 加速器トンネルのコンクリート内における生成放射能の調査」
 - 2) 吉富寛、古渡意彦、萩原雅之、長畔誠司、中村一、「加速器施設における眼の水晶体モニタリングに関する被ばく不均等度の定量的評価」
 - 3) 大山隆弘、萩原雅之、中村一、白形政司、長畔誠司、山崎寛仁、西川功一、佐波俊哉、「J-PARC Main Ring トンネルにおける熱中性子空間分布の測定」
- (19) 研究会「放射化分析及び中性子を用いた地球化学的研究-2-」、京都大学複合原子力科学研究所、大阪府泉南郡熊取町)、2019 年 1 月 25 日
- 1) 西川功一、別所光太郎、関本俊、八島浩、白形政司、萩原雅之、三浦太一、山崎寛仁、中村一、金井敦史：“放射化分析による加速器トンネル内コンクリート中の含有元

素の定量値を用いたシミュレーション計算”

(20) Fukushima Research Conference, “Radiation Hardness, Smartness and Measurement in Remote Technology for the Decommissioning of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station”, Tomioka Town Art & Media Center Manabi-no-Mori, 26-27 November 2018

1) H. Hirayama, “Dose concepts and Fukushima Dai-ichi radiation field characteristics”

(21) 日本原子力学会 2019 年春の年会 (茨城大学)、2019 年 3 月 20 日～22 日

1) 平山英夫、近藤 健次郎、鈴木征四郎、岩永宏平、谷村嘉彦、「位置情報付き散乱線寄与測定装置の製作」

2) 杉原健太、李恩智、執行信寛、田中鐘信、赤塩敦子、佐波俊哉、「Bi に対する 7 MeV/u α 入射による中性子生成量測定」

3) 西谷健夫、松山成男、佐波俊哉、小川国大、磯部光孝、「中性子検出器校正のための東北大 FNL 重水素ガスタターゲットの再整備と PHITS による中性子場特性評価」

4) 李恩智、執行信寛、梶本剛、佐波俊哉、萩原雅之、八島浩、大山隆弘、R. Froeschl、E. Iliopoulou、「CERN/CHARM における 24GeV 陽子を用いた遮蔽実験(8)鉄の遮蔽体厚みに対するエネルギースペクトルと減弱係数 (2)」

(22) 平成 30 年度共通基盤研究施設技術交流会

1) 中村一、"加速器施設の廃止のための放射線測定"

(23) 応用物理学会第 66 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学・ベルサール高田馬場、2019 年 3 月 9 日～12 日

1) 竹内章博、齋藤究、大山隆弘、岸本祐二、佐波俊哉：“ヘリウムの電離収量に対する純化と不純物の効果”

(24) 平成 30 年度日本原子力学会北関東支部大会若手研究者発表会、東海村 (2018 年 4 月).

1) 橋詰拓弥、岡崎徹、佐波俊哉、萩原雅之、文珠四郎秀昭、林裕晃、松本哲郎、増田 明彦、海野泰裕、原野英樹、小林育夫、「蛍光飛跡検出器を用いた中性子線量計の応答解析」

2) 大山隆弘、中村一、萩原雅之、長畔誠司、白形政司、山崎寛仁、「J-PARC Main Ring 運転時におけるトンネル内熱中性子空間分布の測定及びその簡易推定法の検討」

6. 編集(2018.4.1～2019.3.31)

- (1) K. Bassho、 H. Matsumura、 T. Miura、 K. Tagami、 and K. Takamiya:
“Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity”、 KEK
Proceedings 2018-7 (2018)

7 手引き等

- (1) 松村 宏、三浦太一、中尾裕則、「核燃料物質使用に係わる放射線安全対策」、KEK
Internal 2017-10、 January 2018、 Japanese、 57 p.
- (2) 萩原雅之、「熱中性子標準棟における密封された放射性同位元素の使用方法の変
更に関わる放射線安全対策（放射性同位元素等の承認使用に係る変更承認申請書添
付資料）」、 KEK Internal 2018-11、 March 2019
- (3) 萩原雅之、「SurperKEKBフェーズ3に係る放射線安全対策（放射性同位元素等の
承認使用に係る変更承認申請書添付資料）」、 KEK Internal 2018-12、 March 2019
- (4) 大山隆弘、波戸芳仁、佐波俊哉、森川祐、早野仁司、「STF変更使用に係る放
射線安全対策」、 KEK Internal 2018-9、 March 2019
- (5) 大山隆弘、佐波俊哉、岩瀬広、豊田晃弘、波戸芳仁、三増俊広、「陽電子ダ
ンピングリングの出力増強に伴う放射線安全対策」、 KEK Internal 2018-10、 March
2019

