

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月30日現在

機関番号：14301  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23656589  
 研究課題名（和文） 超高エネルギー加速器施設における放射性エアロゾルの挙動追跡と  
 その生成機構の解明  
 研究課題名（英文） Tracing of behavior of radioactive aerosol produced in high-energy  
 accelerator facility and elucidation of its formation mechanism  
 研究代表者  
 柴田 誠一（SHIBATA SEIICHI）  
 京都大学・原子炉実験所・教授  
 研究者番号：80110708

研究成果の概要（和文）： 米国フェルミ国立加速器研究所の反陽子ターゲットステーションにおいて、120 GeV 陽子をインコネルターゲットに入射した際に生成する放射性エアロゾルを分級、捕集し、そこに含まれる放射性核種とエアロゾルの粒径の測定を行った。その結果、得られた放射性エアロゾルの幾何中央径が低エネルギー加速器施設で得られた既報値よりも1桁大きいこと、それにこれらの核種の半減期と粒径に比例関係があるという非常に興味深い結果が得られた。その結果をもとに放射性エアロゾルの生成機構について検討した。

研究成果の概要（英文）： The radioactive aerosol was produced by irradiation of the inconel target with 120-GeV protons in the anti-proton target station at Fermi National Accelerator Laboratory. Consequently, it was found that the particle-size of the radioactive aerosol was proportional to the half-life of the produced radioactivity contained in the radioactive aerosol. The formation mechanism was studied based on the result obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射性エアロゾル、放射線工学、ビーム科学

## 1. 研究開始当初の背景

運転中の加速器室内では、二次的に発生した中性子などの放射線により、放射性エアロゾルが生成される。この放射性エアロゾルの生成機構の解明、その粒径分布の情報は内部被ばく線量評価の観点から重要であり、これ

まだに放射性エアロゾルの種類、生成機構の解明に関する研究やエアロゾル発生時の粒径分布、エアロゾルとガスの比率に関する研究などが、ビームエネルギーが数 10 MeV～100 MeV までの加速器を用いてなされている。しかしながら、このエネルギー領域では

放射性エアロゾルに含まれる放射性核種の種類、生成するエアロゾルの数量ともに不十分で、定量的に詳細な議論をするためには、さらに高エネルギー加速器施設での実験が望まれていた。

## 2. 研究の目的

運転中の加速器室内においては、放射線の影響により放射性エアロゾルが生成されることが知られている。米国フェルミ国立加速器研究所において、ターゲットのインコネルに 120 GeV の陽子ビームが入射するターゲット室内より放射性エアロゾルを分級して捕集し、それに含まれる放射性核種の分析及びそれらの粒径分布の測定を行う。

それらの結果から、これまで議論されたことのない、放射性エアロゾルに含まれる放射性核種の半減期とその粒径との相関関係を明らかにし、それをもとに放射性エアロゾルの成長速度を見積もり、加速器ターゲット室内での放射性エアロゾルの生成・挙動機構の解明を目指す。

日本国内においても J-PARC 等の大強度高エネルギー加速器施設が建設され、利用運転が始まっているが、それらの施設における残留放射能の評価には、放射線の影響により生成する放射性エアロゾルの種類及び量についての情報が不可欠である。また放射性エアロゾルの粒径に関する情報は内部被ばく評価の観点から重要な知見となる。

## 3. 研究の方法

米国フェルミ国立加速器研究所の 120 GeV の超高エネルギー陽子をインコネルターゲットに入射し、反陽子を生成している反陽子ターゲットステーションにおいて、ターゲット室内及びエアギャップ（ターゲット室の上側の鉄遮蔽外側）よりインパクター法と GSA 法を用いて放射性エアロゾルを分級し

て捕集し、そこに含まれる放射性核種の同定及び粒径分布の測定を行った。ターゲット室とエアギャップ及び陽子入射の概略を図 1 に、GSA 法によるサンプリングの 3 段メッシュの構造の例を図 2 に示す。この一連の実験を、加速器非運転時、運転開始数週間後、数ヵ月後に行い、生成した放射性エアロゾルについて、含まれる放射性核種の半減期と粒径の相関を明らかにするとともに、実験結果の再現性を確認した。

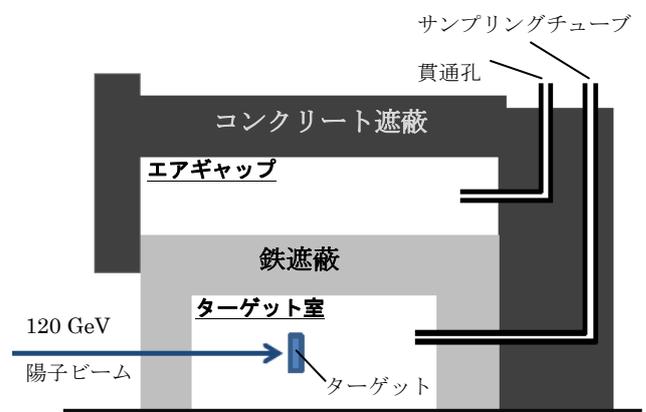


図 1. 反陽子ターゲットステーション

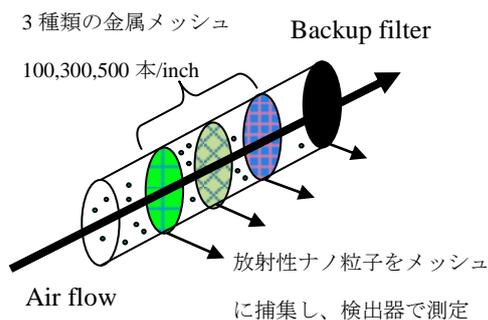


図 2. 3 段メッシュ GSA の構造例

## 4. 研究成果

今回の実験では、Be-7 から Au-198 に至る 14 放射性核種を十分な統計精度で測定でき、それらの核種ごとに粒径分布、幾何中央径を

求めることができた。そして、それらの中央径が低エネルギー加速器施設で断片的に得られていた既報値よりもほぼ1桁大きいこと（図3にBe-7の例を示す）、これらの核種の半減期と粒径には比例関係がある（図4）という非常に興味深い結果が得られた。これは、今回の実験で初めて明らかになった結果であり、放射性エアロゾルの生成機構の解明へ向けて重要な成果を得ることができた。これまで、放射性エアロゾルの生成機構として、(1)エアロゾル粒子上への放射性核種の拡散付着、(2)放射性核種を含む化学種の粒子への凝縮、(3)放射性核種をイオン核とする粒子生成、の3つのモデルが提案されている。本実

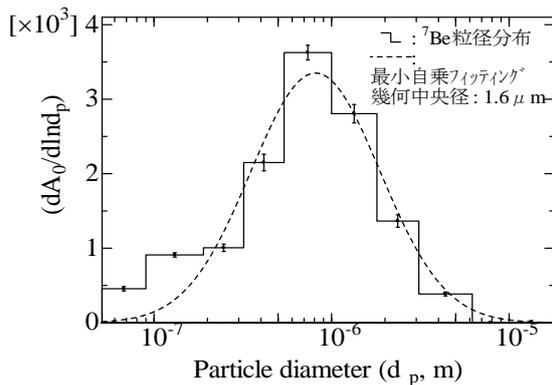


図3 <sup>7</sup>Beの粒径分布

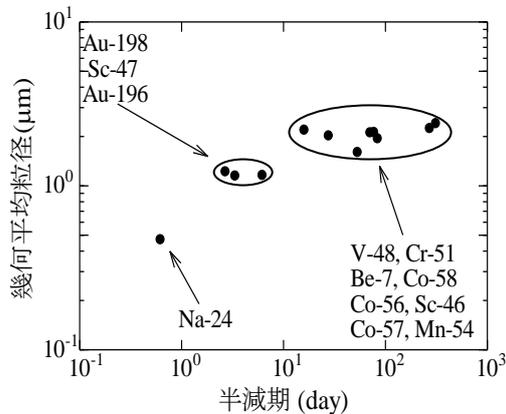


図4 放射性エアロゾルの粒径と含まれる放射性核種の半減期との関係

験で得られた結果については、(3)のモデルが最もよく実験結果を再現できると考えているが、矛盾点がないか現在さらに検討を進めている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

① S. Sekimoto, H. Yashima, S. Fukutani, S. Shibata, H. Matsumura, A. Toyoda, K. Oishi, N. Matsuda, Y. Kasugai, Y. Sakamoto, H. Nakashima, T. Nakamura, D. Boehnlein, G. Lauten, A. Leveling, N. Mokhov and K. Vaziri

Measurement of radionuclides in radioactive aerosols produced in a 120-GeV proton target station

13th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 13)

May 16, 2012

Glasgow, UK

② S. Sekimoto, H. Yashima, N. Osada, Y. Oki, S. Shibata, H. Matsumura, A. Toyoda, K. Oishi, N. Matsuda, Y. Kasugai, Y. Sakamoto, H. Nakashima, D. Boehnlein, G. Lauten, A. Leveling, N. Mokhov and K. Vaziri

Correlation between the particle size distribution of radioactive aerosols and their half-lives derived from measurement of radioactive aerosols at a 120-GeV proton target station

3rd International Nuclear Chemistry Congress (3rd-INCC)

Sept. 20, 2011

Sicily, Italy

③ 長田直之、関本俊、沖雄一、柴田誠一  
放射性エアロゾルに含まれる放射性核種の  
半減期を利用したエアロゾルの生成機構の  
検討

第12回環境放射能研究会

2011年3月9日

高エネルギー加速器研究機構

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 誠一 (SHIBATA SEIICHI)  
京都大学・原子炉実験所・教授  
研究者番号：80110708

(2) 研究分担者

関本 俊 (SEKIMOTO SHUN)  
京都大学・原子炉実験所・助教  
研究者番号：10420407