

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 8 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23750072

研究課題名(和文) GARIS直結型ガスクロマトグラフ装置を用いた超重元素の気相化学

研究課題名(英文) Gas-phase chemistry of superheavy elements using a gas-chromatograph apparatus coupled to GARIS

研究代表者

羽場 宏光 (Haba, Hiromitsu)

独立行政法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・チームリーダー

研究者番号：60360624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、理研重イオンリニアック施設に設置された気体充填型反跳核分離装置(GARIS)にガスクロマトグラフ装置を結合し、超重元素(原子番号104以上)の気相系における化学的性質を調べるための新しい元素分析システムを開発した。GARIS直結型ガスジェット搬送装置と回転式連続 $\alpha$ /SF壊変測定装置(SF:自発核分裂)を用いて、105番元素Dbと106番元素Sgの長寿命同位体( $^{262}\text{Db}$ ,  $^{265}\text{Sg}$ )の核反応断面積と壊変特性を決定した。また、GARISガスジェットシステムを用いてSgのカルボニル錯体 $\text{Sg}(\text{CO})_6$ を合成し、低温ガスクロマトグラフ装置を用いてその揮発性に関するデータを取得した。

研究成果の概要(英文)：A novel elemental analysis system for superheavy elements (SHEs, atomic numbers  $Z > 103$ ) in gas phase was developed by directly coupling a gas chromatograph apparatus to the gas-filled recoil ion separator (GARIS) at the RIKEN linear accelerator facility. The production and decay properties of isotopes of element 105,  $^{262}\text{Db}$ , and element 106,  $^{265}\text{Sg}$ , were investigated for the future SHE chemistry using the GARIS gas-jet system and a rotating wheel system for  $\alpha$ /SF-spectrometry (SF: Spontaneous Fission). A carbonyl complex of  $\text{Sg}(\text{CO})_6$ , was synthesized with the GARIS gas-jet system and its volatility was investigated with the thermochromatography detector array COMPACT developed by the SHE chemistry group of GSJ.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・無機化学

キーワード：超重元素 気相化学 気体充填型反跳核分離装置 GARIS ガスクロマトグラフ装置 ドブニウム シーボーギウム

## 1. 研究開始当初の背景

周期表の最下段に並ぶ104番元素ラザホージウム(Rf)以降の重い元素群を超重元素と呼ぶ。超重元素は、重イオン加速器を利用し、核融合反応によって人工的に合成される。超重元素の化学的性質は未知で、我々化学者にとっては魅力あふれる新元素である。超重元素領域では、大きな原子核電荷によって電子軌道が大きく変化し(相対論効果)、周期表の位置からは予測もつかないユニークな性質の出現も期待されている。しかし、超重元素の生成率は極めて低く[例えば、Rfで数原子/分、108番元素ハッシウム(Hs)で数原子/日]、寿命は1分間にも満たないくらい短いため、一度にわずか1個の原子しか取り扱うことができない。超重元素の化学は、単一原子の化学とも呼ばれ、まさに究極の微量元素分析である。この分野の実験的研究は、大強度重イオン加速器や放射性同位元素取扱施設などの特殊な設備を要するため、アメリカ、ロシア、ドイツ、スイス、フランス、日本の数ヶ所の研究所でのみ実験が行われてきた。溶液系の化学で、Rfから106番元素シーボーギウム(Sg)まで、気相系でRfからHsまでと、112番元素コペルニシウム(Cn)と114番元素フレロビウム(Fl)についての報告がある。我が国では、日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターを中心とする核化学研究グループによって、イオン交換法によるRfと105番元素ドブニウム(Db)の系統的な溶液化学研究が行われてきた。

化学実験の対象となる超重元素核種は、キュリウム( $^{248}\text{Cm}$ )やバークリウム( $^{249}\text{Bk}$ )などのアクチノイド元素の標的に加速器で加速した酸素( $^{18}\text{O}$ )やネオン( $^{22}\text{Ne}$ )などの重イオンビームを衝突させ、核融合反応によって製造される。これまでの超重元素化学実験では、標的から反跳分離された超重核をそのままガスジェット法によって気体あるいは液体クロマトグラフ装置にオンライン搬送することによりその化学的性質が調べられてきた。核種の同定は、超重核の放射性壊変に伴って放出される核種固有の線や核分裂片を測定することによって行われてきた。しかし、この実験手法では、標的構成物質から生成する大量の副反応生成物もすべて化学分析装置に導入されるため、目的核種の放射線計測が妨害され、研究対象とできる元素種や化学実験系が大幅に制限されてきた。さらに、近年、 $1\text{ ppA}$  ( $6.25 \times 10^{12}$  粒子/秒)を超える大強度の重イオンビームを利用できるようになってきたが、標的チャンパー内に生じるプラズマが原因となりガスジェット搬送効率が激減するという深刻な問題も生じていた。超重元素の化学研究は、上に述べた着実な進歩と成果はあるものの、実験手法におけるブレイクスルーが切望されていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、現在世界トップレベルにある

理研RIビームファクトリーの優れた超重元素製造能力を生かし、気体充填型反跳核分離装置(GARIS)に直結したガスクロマトグラフ化学分析装置を新規に開発することによって、次世代の超重元素の気相化学研究を展開することを目的とした。また、DbやSgの気相化学実験を行うことを目的とし、それぞれ $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F}, 5n)^{262}\text{Db}$ 、 $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{265}\text{Sg}$ 反応によって $^{262}\text{Db}$ と $^{265}\text{Sg}$ の製造を行い、 $^{262}\text{Db}$ と $^{265}\text{Sg}$ の反応断面積や壊変データを取得することを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず超重元素の気相系における化学的性質を調べるために不可欠なGARIS直結型のガスクロマトグラフ化学分析装置を開発する。本装置を用いれば、目的の超重元素を重イオンビームや副反応生成物から質量分離した後に化学分析でき、極低バックグラウンド下で放射線計測を行える。他核種からの妨害放射線の影響を考慮する必要がなく、これまで同定が困難であった自発核分裂によって壊変する超重核も研究の対象とできる。また、従来手法では、塩化カリウムなどのエアロゾル物質を標的チャンパー内に導入し、反跳した超重核を錯形成部まで何メートルもガスジェット搬送する必要があった。このエアロゾル物質は化学分析時の不純物となり、錯形成やガスクロマトグラフ分離に深刻な障害となっていた。本研究で開発するシステムでは、ビームがGARISによって前段分離されるため、GARIS直後に錯形成部を配置でき、エアロゾル物質を全く使用せずに高効率かつ迅速に錯形成とクロマトグラフ分析を行うことができる。さらに、有機系の錯形成試薬もビームに破壊されることなく初めて使用可能となり、対象とできる超重元素化合物の種類を飛躍的に増大できる。さらに、本研究では、それぞれ $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F}, 5n)^{262}\text{Db}$ 、 $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{265}\text{Sg}$ 反応によって生成する化学実験の対象となる長寿命の $^{262}\text{Db}$ と $^{265}\text{Sg}$ の合成を行い、回転アクチノイド標的照射システム、GARISの磁場設定やヘリウム充填圧力、ガスジェット搬送条件など、超重元素製造に必須の基礎データを取得する。最終的に、軽い同族元素のRIを用いて超重元素を模擬した基礎実験を十分に行った後、超重元素の気相化学実験に挑戦する。

## 4. 研究成果

## (1) GARIS直結型ガスクロマトグラフ装置の開発

本研究では、超重元素の気相化学研究に向けて、GARIS直結型ガスジェットチャンパーならびに石英製等温ガスクロマトグラフ装置の開発を行った。さらに、超重元素のカルボニル錯体の合成とその気相化学分離を目指し、AVFサイクロトロンに開発したヘリウム/一酸化炭素混合ガスジェットを用いて、



A. Shinohara, T. Sumita, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wakabayashi, and A. Yoneda, Production of  $^{262}\text{Db}$  in the  $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F},5n)^{262}\text{Db}$  reaction and decay properties of  $^{262}\text{Db}$  and  $^{258}\text{Lr}$ , RIKEN Accel. Prog. Rep. **47**, (in press), <http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/index.html>, 査読無

M. Huang, J. Kanaya, M. Murakami H. Haba, and S. Shibata, Production of  $^{179\text{m}}\text{W}$  in the form of carbonyl complex, RIKEN Accel. Prog. Rep. **47**, (in press), <http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/index.html>, 査読無

H. Haba, M. Huang, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Ozeki, R. Sakai, T. Sumita, Y. Wakabayashi, A. Yoneda, Y. Kasamatsu, Y. Kikutani, Y. Komori, K. Nakamura, A. Shinohara, H. Kikunaga, H. Kudo, K. Nishio, A. Toyoshima, and K. Tsukada, Production of  $^{262}\text{Db}$  in the  $^{248}\text{Cm}(^{19}\text{F},5n)^{262}\text{Db}$  reaction and decay properties of  $^{262}\text{Db}$  and  $^{258}\text{Lr}$ , Phys. Rev. C **89**, 024618-1-11 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.89.024618>, 査読有

M. Murakami, S. Goto, H. Murayama, T. Kojima, H. Kudo, D. Kaji, K. Morimoto, H. Haba, Y. Kudou, T. Sumita, R. Sakai, A. Yoneda, K. Morita, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, and T. K. Sato, Excitation functions for production of Rf isotopes in the  $^{248}\text{Cm} + ^{18}\text{O}$  reaction, Phys. Rev. C **88**, 024618-1-8 (2013), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.88.024618>, 査読有

M. Huang, M. Asai, H. Haba, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Kikutani, Y. Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nakamura, K. Ozeki, R. Sakai, A. Shinohara, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, Y. Wakabayashi, and A. Yoneda, Production of  $^{88}\text{Nb}$  and  $^{170}\text{Ta}$  for chemical studies of element 105, RIKEN Accel. Prog. Rep. **46**, 244 (2013), <http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/index.html>, 査読無

H. Haba, D. Kaji, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, K. Ozeki, R. Sakai, T. Sumita, A. Yoneda, Y. Kasamatsu, Y. Komori, A. Shinohara, H. Kikunaga, H. Kudo, K. Nishio, K. Ooe, N. Sato, and K. Tsukada, Production of  $^{265}\text{Sg}$  in the  $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne},5n)^{265}\text{Sg}$  reaction and decay properties of two isomeric states in  $^{265}\text{Sg}$ , Phys. Rev. C **85**, 024611-1-11 (2012), DOI:

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.85.024611>, 査読有

M. Murakami, S. Goto, H. Murayama, T. Kojima, D. Kaji, K. Morimoto, H. Haba, Y. Kudou, T. Sumita, R. Sakai, A. Yoneda, K. Morita, H. Kikunaga, Y. Kasamatsu, T. K. Sato, and H. Kudo, Excitation functions of Rf isotopes produced in  $^{248}\text{Cm} + ^{18}\text{O}$  reaction, RIKEN Accel. Prog. Rep. **45**, 202 (2012), <http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/index.html>, 査読無

羽場宏光, 反跳核分離装置が拓く新元素の化学, Isotope News No. 702, 2-7 (2012),

[http://www.jrias.or.jp/member/2012010\\_TENBO\\_HABA.pdf](http://www.jrias.or.jp/member/2012010_TENBO_HABA.pdf), 査読無

羽場宏光, 新元素の化学 - 気体充填型反跳核分離装置を用いた新展開 -, 放射線 **38**, 73-78 (2012),

<http://annex.jsap.or.jp/radiation/hoshasen.html>, 査読無

H. Haba, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, K. Ooe, K. Ozeki, R. Sakai, N. Sato, A. Shinohara, T. Sumita, K. Tsukada, and A. Yoneda, Production and decay properties of  $^{265}\text{Sg}$ , RIKEN Accel. Prog. Rep. **44**, xii (2011), <http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/index.html>, 査読無

羽場宏光, 新元素の合成と化学, 放射化学ニュース **24**, 34-40 (2011),

[http://www.radiochem.org/rad-nw/rad\\_nw24.pdf](http://www.radiochem.org/rad-nw/rad_nw24.pdf), 査読無

[学会発表](計22件)

M. Murakami, S. Goto, H. Murayama, T. Kojima, D. Kaji, K. Morimoto, H. Haba, Y. Kudou, T. Sumita, R. Sakai, A. Yoneda, K. Morita, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, T. Sato, and H. Kudo, Excitation functions for production of rutherfordium isotopes in the  $^{248}\text{Cm} + ^{18}\text{O}$  reaction, 17<sup>th</sup> Radiochemical Conference (Radchem2014), May 12, 2014, Mariánské Lázně, Czech Republic

H. Haba, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Komori, H. Kudo, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nishio, K. Ooe, A. Shinohara, A. Toyoshima, K. Tsukada, and Y. Wakabayashi, Production of  $^{261}\text{Rf}$ ,  $^{262}\text{Db}$ , and  $^{265}\text{Sg}$  for chemical studies using GARIS at RIKEN, 17<sup>th</sup> Radiochemical Conference (Radchem2014), May 12, 2014, Mariánské Lázně, Czech Republic

I. Usoltsev, R. Eichler, A. Di Nitto, Ch. E. Düllmann, F. Fangli, W. Hartman, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya,

Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, A. Türler, B. Kindler, J. Kratz, J. Krier, Y. Kudou, N. Kurz, B. Lommel, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, Y. Wang, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, M. Takeyama, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, J. Even, Y. Wakabayashi, N. Wiehl, S. Yamaki, Z. Qin, A. Yakushev, H. Haba, M. Asai, T. K. Sato, H. Brand, Decomposition studies of W and Mo carbonyl complexes and their implications for future experiments with  $\text{Sg}(\text{CO})_6$ , 17<sup>th</sup> Radiochemical Conference (Radchem2014), May 12, 2014, Mariánské Lázně, Czech Republic

H. Haba, Production and decay studies of  $^{261}\text{Rf}$ ,  $^{262}\text{Db}$ , and  $^{265}\text{Sg}$  at GARIS@RIKEN, 16<sup>th</sup> ASRC International Workshop Nuclear Fission and Structure of Exotic Nuclei, Mar. 20, 2014, Tokai, Japan

H. Haba, Production of  $^{261}\text{Rf}$ ,  $^{262}\text{Db}$ , and  $^{265}\text{Sg}$  for chemical studies using the gas-jet transport system coupled to GARIS, Fifth Symposium on Nuclear Analytical Chemistry (NAC-V), Jan. 21, 2014, Mumbai, India

H. Haba, Present Status and Perspectives of Superheavy Element Nuclear Chemistry at RIKEN GARIS, The Third International Conference on Application of RadiotraCers and Energetic Beams in Sciences (ARCEBS-14), Jan. 15, 2014, Kolkata, India

J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. K. Sato, D. Ackermann, M. Block, H. Brand, A. Di Nitto, R. Eichler, F. Fangli, W. Hartmann, F. P. Hessberger, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, B. Kindler, J. V. Kratz, J. Krier, Y. Kudou, N. Kurz, B. Lommel, J. Maurer, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, S. Yamaki, and Z. Qin, In-Situ Synthesis of Volatile Carbonyl Complex with Short-Lived Isotopes, The Third International Conference on Application of RadiotraCers and Energetic Beams in Sciences (ARCEBS-14), Jan. 13, 2014, Kolkata, India

M. Huang, M. Asai, H. Haba, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y.

Kikutani, Y. Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nakamura, K. Ozeki, R. Sakai, A. Shinohara, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wakabayashi, and A. Yoneda, Production of  $^{88}\text{Nb}$  and  $^{170}\text{Ta}$  for chemical studies of element 105 Db using the GARIS gas-jet system, The 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '13 (APSORC13), Sept. 24, 2013, Kanazawa, Japan

J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. Sato, H. Brand, A. Di Nitto, R. Eichler, F. Fangli, W. Hartmann, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, B. Kindler, J. V. Kratz, J. Krier, Y. Kudou, N. Kurz, B. Lommel, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, S. Yamaki, and Z. Qin,  $\text{Sg}(\text{CO})_6$  - The first organometallic transactinide complex opening a window to a new compound class, The 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '13 (APSORC13), Sept. 24, 2013, Kanazawa, Japan

H. Haba, Production and Decay Studies of Transactinide Nuclides with GARIS at RIKEN, The 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '13 (APSORC13), Sept. 24, 2013, Kanazawa, Japan

J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. Sato, H. Brand, A. Di Nitto, R. Eichler, F. Fangli, W. Hartmann, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, J. V. Kratz, J. Krier, Y. K. Kuboki, B. Lommel, N. Kurz, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, S. Yamaki, and Z. Qin,  $\text{Sg}(\text{CO})_6$  - The First Organometallic Transactinide Complex opening a Window to a new Compound Class, 8<sup>th</sup> Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements (CHE 8), Sept. 21, 2013, Takayama, Japan

M. Murakami, S. Goto, H. Murayama, T. Kojima, D. Kaji, K. Morimoto, H. Haba, Y. Kudou, T. Sumita, R. Sakai, A. Yoneda, K. Morita, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, T. K. Sato, and H. Kudo, Excitation functions for production of Rf isotopes in  $^{248}\text{Cm} + ^{18}\text{O}$  reaction, 8<sup>th</sup>

Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements (CHE 8), Sept. 21, 2013, Takayama, Japan

H. Haba, Coupling Superheavy Element Chemistry to Recoil Separators, 8<sup>th</sup> Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements (CHE 8), Sept. 20, 2013, Takayama, Japan

A. Di Nitto, J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. Sato, H. Brand, R. Eichler, F. Fangli, W. Hartmann, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, B. Kindler, J. V. Kratz, J. Krier, Y. Kudou, N. Kurz, B. Lommel, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, S. Yamaki, and Z. Qin, Decay Spectroscopy of <sup>265</sup>Sg after combined physical and chemical separation, XXXIII Mazurian Lakes Conference on Physics, Frontiers in Nuclear Physics, Sept. 4, 2013, Piaski, Poland

J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. Sato, H. Brand, A. Di Nitto, R. Eichler, F. Fangli, W. Hartmann, M. Huang, E. Jäger, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kaneya, J. Khuyagbaatar, B. Kindler, J. V. Kratz, J. Krier, Y. Kudou, N. Kurz, B. Lommel, S. Miyashita, K. Morimoto, K. Morita, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, S. Yamaki, and Z. Qin, Sg(CO)<sub>6</sub> - First Organometallic Complex of a Superheavy Element, XXXIII Mazurian Lakes Conference on Physics, Frontiers in Nuclear Physics, Sept. 4, 2013, Piaski, Poland

H. Haba, Experiments on <sup>265</sup>Sg at GARIS, 9<sup>th</sup> ASRC International Workshop Chemistry of the Superheavy Elements, Mar. 8, 2013, Wako, Japan

羽場宏光, 大関和貴, 加治大哉, 金谷淳平, 工藤祐生, 酒井隆太郎, 住田貴之, 森田浩介, 森本幸司, 米田晃, 菊永英寿, 笠松良崇, 菊谷有希, 小森有希子, 篠原厚, 豊嶋厚史, 西尾勝久, 工藤久昭, 村上昌史, GARIS ガスジェット法によるドブニウムの化学実験対象核種 <sup>262</sup>Db の製造, 2012 日本放射化学学会年会・第 56 回放射化学討論会, 2012 年 10 月 4 日, 目黒区

H. Haba, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Kikutani, Y.

Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nishio, K. Ooe, K. Ozeki, R. Sakai, N. Sato, A. Shinohara, T. Sumita, A. Toyoshima, K. Tsukada, and A. Yoneda, RIKEN GARIS as a promising interface for superheavy element chemistry -Production of <sup>261</sup>Rf, <sup>262</sup>Db, and <sup>265</sup>Sg for chemical studies using the GARIS gas-jet system-, EuCheMS International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC8), Sept. 18, 2012, Como, Italy

村上昌史, 後藤真一, 村山裕史, 小嶋貴幸, 加治大哉, 森本幸司, 羽場宏光, 住田貴之, 酒井隆太郎, 工藤祐生, 米田晃, 森田浩介, 菊永英寿, 笠松良崇, 佐藤哲也, 工藤久昭, <sup>248</sup>Cm + <sup>18</sup>O 反応による Rf 同位体の励起関数の測定, 2011 日本放射化学学会年会・第 55 回放射化学討論会, 2011 年 9 月 22 日, 長野市

小嶋貴幸, 村山裕史, 村上昌史, 後藤真一, 羽場宏光, 加治大哉, 森本幸司, 工藤祐生, 森田浩介, 菊永英寿, 佐藤哲也, 塚田和明, 工藤久昭, 2011 日本放射化学学会年会・第 55 回放射化学討論会, 2011 年 9 月 20 日, 長野市

- 21 H. Haba, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, K. Ooe, K. Ozeki, R. Sakai, N. Sato, A. Shinohara, T. Sumita, K. Tsukada, and A. Yoneda, Production of <sup>265</sup>Sg for chemical studies using the gas-jet transport system coupled to the RIKEN gas-filled recoil ion separator, The 4<sup>th</sup> International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements (TAN11), Sept. 8, 2011, Sochi, Russia
- 22 羽場宏光, 新元素の化学: 気体充填型反跳核分離装置を用いた新展開, 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 8 月 29 日, 山形市

〔図書〕(計 1 件)

荒野泰, 上山憲一, 小谷明, 高妻孝光, 桜井弘, 佐治英郎, 鈴木晋一郎, 寺嶋孝仁, 中山祐正, 根矢三郎, 羽場宏光, 廣田俊, 藤井敏司, 吉村哲彦, ブルーバックス 元素 111 の新知識 第 2 版 増補版 桜井 弘 編, 講談社, 494, 2013

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

羽場 宏光 (HABA, Hiromitsu)

独立行政法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・チームリーダー

研究者番号: 6 0 3 6 0 6 2 4