

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26286082

研究課題名(和文) 気体充填型反跳核分離装置を用いた最重元素の溶液化学

研究課題名(英文) Aqueous chemistry of the heaviest elements using a gas-filled recoil ion separator

研究代表者

羽場 宏光 (HABA, HIROMITSU)

国立研究開発法人理化学研究所・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) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、理研気体充填型反跳核分離装置に、ガスジェット搬送装置、連続溶液化装置、フロー溶媒抽出装置ならびに液体シンチレーション計数装置を連結することによって、新元素(超重元素、原子番号104以上)の溶液系における化学的性質を単一原子レベルで解明するための新しい化学分析システムを開発した。本システムによって、これまで困難であった106番元素シーボーギウム(Sg)や107番元素ボーリウム(Bh)などの最重元素を対象とした溶液化学研究が可能になると期待される。

研究成果の概要(英文)：A rapid chemical analysis system has been developed for superheavy elements by installing a gas-jet transport system, a continuous dissolution apparatus, a flow solvent extractor, and a flow liquid scintillation detector to the RIKEN gas-filled recoil ion separator. The present system is expected to realize aqueous chemistry of the heaviest elements such as element 106, seaborgium (Sg) and element 107 bohrium (Bh).

研究分野：核化学

キーワード：超重元素 106番元素シーボーギウム 107番元素ボーリウム 気体充填型反跳核分離装置 溶媒抽出装置 単一原子化学

1. 研究開始当初の背景

周期表の最下段に並び 104 番元素ラザホージウム (Rf) 以降の重い元素群は超重元素と呼ばれる。超重元素は重イオン加速器を用いた核融合反応により合成される人工元素であり、その化学的性質はほとんど未知であることから、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 Rf で数原子/分、108 番元素ハッシウム (Hs) で数原子/日と極めて低く、寿命は 1 分にも満たないほど短いため、1 度にわずか 1 個の原子しか取り扱うことができない。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体 (RI) 取扱施設などの特殊な設備を要するため、アメリカ、ドイツ、スイス、フランス、中国、日本の数カ所の研究所でのみ行われてきた。

従来の超重元素の化学実験では、キュリウム (Cm) などのアクチノイド標的から反跳脱出した超重元素原子をヘリウムガス中に捕獲し、ガスジェット法によって気体または液体クロマトグラフ装置に搬送して化学分析が行われてきた。核種の同定は、シリコン (Si) 半導体検出器を用いて、超重核の α 壊変や自発核分裂 (SF) 壊変を観測することにより行われてきた。しかし、この手法では、超重元素 RI とともに大量の副反応生成物が化学分析装置に導入されるため、超重元素 RI 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著しく制限されてきた。さらに、近年、加速器技術の進歩とともに大強度の重イオンビームを利用できるようになったが、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問題も生じていた。

これらの問題を克服するため、我々の研究グループは、理研 RI ビームファクトリーにおいて世界最高の超重元素製造・分離能を誇る気体充填型反跳核分離装置 (GARIS) にガスジェット搬送装置を結合し、ビームや副反応生成物から質量分離された超重元素 RI を化学実験室に引き出す画期的な装置の開発を進めてきた[1]。そして、GARIS を用いて質量分離した Rf (^{261}Rf)、105 番元素ドブニウム (^{262}Db) ならびに 106 番元素シーボーギウム (^{265}Sg) の RI を化学実験室へ搬送することに成功した[2]。

超重元素の溶液化学研究は、これまでに Rf から Sg までを対象に行われ、その加水分解や錯形成反応が調べられてきた。Sg の溶液化学研究に関しては、1997 年にドイツ重イオン研究所 (GSI) において、フッ化水素酸-硝酸の混酸系および硝酸系における Sg の陽イオン交換実験が試みられた[3,4]。しかし、これらの実験では、 ^{265}Sg の壊変は 1 事象も観測されておらず、 ^{265}Sg の壊変生成物である ^{261}Rf

および ^{257}No のわずか 4 原子の α - α 相関事象から間接的に Sg の化学挙動が推定されているにすぎない。その後現在に至るまでの約 20 年間、Sg やより重い超重元素の溶液化学実験の報告はない。この原因として、従来の液体クロマトグラフ装置と Si 半導体検出器を用いた手法では、化学分離と放射線計測に時間がかかりすぎ(数十秒)、半減期 10 秒程度の ^{265}Sg に適用できないこと、また ^{265}Sg 合成時に生じる副反応生成物からの放射線が妨害となり ^{265}Sg の検出が困難であることが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では、上述の GARIS ガスジェット搬送装置に直結した迅速溶液化学装置を新しく開発することにより、実質的に世界初となる Sg や未踏の 107 番元素ボーリウム (Bh) の溶液化学研究を展開することを目的とした。さらに、Bh の化学研究に向け、化学実験に利用できる長寿命の Bh 同位体を $^{248}\text{Cm} + ^{23}\text{Na}$ の核反応によって合成し、その詳細な壊変特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

理研重イオン線形加速器と GARIS 直結型ガスジェット搬送装置を用いて、Bh の長寿命の同位体 $^{266,267}\text{Bh}$ を $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 5; 4n)^{266,267}\text{Bh}$ 反応によって合成し、その反応断面積や壊変特性など、Bh の化学研究を行う上で必須となる基礎データを取得する。さらに、GARIS ガスジェット搬送装置に、連続溶液化学装置、フロー溶媒抽出装置ならびに液体シンチレーション計数装置を結合することにより、次世代の超重元素の溶液化学装置を開発する。このようなフロータイプの分析装置では核反応生成物の捕集や α 線源調製中の壊変ロスを最小限に抑えることができ、また液体シンチレーション検出器を用いることで超重元素 RI からの α - α や α -SF 相関事象を 100% の効率で検出できるため、これまで困難であった Sg や Bh の溶液化学研究が可能になる。本装置の開発は、Sg や Bh の軽い同族元素の RI を製造して行う。

4. 研究成果

(1) ^{266}Bh の合成と壊変特性の研究

理研重イオン線形加速器と GARIS 直結型ガスジェット搬送装置を用いて、 $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 5; 4n)^{266,267}\text{Bh}$ 反応によって Bh の化学実験に利用できる長寿命同位体の合成を行った。GARIS によって質量分離された $^{266,267}\text{Bh}$ をガスジェットチャンパー内で He ガス中に捕獲し、KCl のエアロゾルとともにテフロン細管を通して化学実験室にガスジェット搬送した。ここに回転式連続 α /SF 測定装置を設置し、Si 半導体検出器を用いて放射線計測した結果、 ^{266}Bh を低放射線バックグラウンドで検出することに成功した。

本研究では、 ^{266}Bh に帰属される α - α 、 α -SF、

α - α - α 相関事象をそれぞれ 4, 12, 7 事象観測できた。一方, $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 4n)^{267}\text{Bh}$ 反応によって生成する ^{267}Bh に帰属される相関事象は観測できなかった。 ^{266}Bh の α 壊変エネルギー (E_α) は, $E_\alpha = 8.62\text{--}9.40$ MeV の広い範囲に分布し, これは先行研究[5-8]に矛盾しない結果であった。また, 観測された合計 23 個の ^{266}Bh の α 壊変から, ^{266}Bh の半減期を $T_{1/2} = 10.0^{+2.6}_{-1.7}$ s と決定した。この半減期は, 先行研究[5-8]で報告された ^{266}Bh の半減期 $T_{1/2} = 1.20^{+0.66}_{-0.31}$ s より約 8 倍長いことが分かった。さらに本研究では, 4 点の異なるビームエネルギーで ^{266}Bh を合成し, $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 5n)^{266}\text{Bh}$ 反応の励起関数を取得した。この核反応の断面積 (σ) は 131 MeV において最大となり, $\sigma = 57 \pm 13$ pb を得た。一方, $^{248}\text{Cm}(^{23}\text{Na}, 4n)^{267}\text{Bh}$ 反応の断面積については, 121 MeV において上限値 14 pb を得た。

本研究によって, Bh の化学実験に必要な ^{266}Bh の合成と壊変特性に関するデータを取得できた。GARIS ガスジェット法によって長寿命の ^{266}Bh を製造することにより, 次世代の Bh の化学研究が理研で可能となった。

(2) GARIS 直結型迅速溶媒抽出装置の開発

本研究では, Sg や Bh の溶液化学研究に向け, GARIS ガスジェット搬送装置に迅速溶媒抽出装置を結合した。本装置の概念図を図 1 に示す。本装置はメンブレンデガッサー (MDG) と呼ぶ連続溶媒抽出装置, フロー溶媒抽出器 (FSE) ならびに液体シンチレーション検出器で構成される。

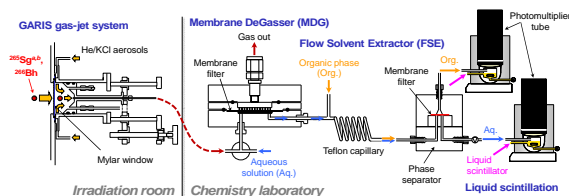


図 1. 迅速溶媒抽出装置の概念図。

MDG は, ガスジェット He ガスと水溶液を混合し, ガス中に含まれる KCl エアロゾルに付着した核反応生成物を連続的に溶液化する装置である[9]。従来の MDG では, 溶液の流速が高い (> 6 mL/min) ときには 80% を超える溶液化効率を得られるが, 流速が減少するとともに溶液化効率が急激に減少する問題があった。また, 短寿命 RI の溶液化効率が長寿命 RI に比べて低いという問題があった。本研究では, より短寿命の RI を 1 mL/min の低流速で高効率に溶液化することを目指し, 装置内のデッドボリュームを従来の約 1/4 に低減し, ガスと水溶液の合流部の構造を単純化した新しい MDG を開発した。理研 AVF サイクロトロンを用いて製造した $^{90\text{m.g}}\text{Nb}$ ($T_{1/2} = 18.8$ s, 14.6 h) と $^{178\text{a}}\text{Ta}$ ($T_{1/2} = 2.36$ h) をガスジェット法で化学実験室に搬送し, MDG を用いてこれらの RI の溶液化効率を測定した。その結果, He ガス流量 1.5 L/min, 水溶

液流速 1 mL/min の条件で, ^{265}Sg や ^{266}Bh と同程度の半減期の $^{90\text{m}}\text{Nb}$ について, 約 50% の溶液化効率を達成した。ただし, 比較的長寿命の $^{90\text{g}}\text{Nb}$ や $^{178\text{a}}\text{Ta}$ については 80% 以上の高い溶液化効率を得られたため, MDG での連続溶液化に十数秒の時間を要することが示唆された。

FSE は内径 0.5 mm のテフロンチューブと相分離器から成る。溶媒抽出が行われるテフロンチューブ (抽出チューブ) の長さを変えることで, 抽出反応時間を変化させることができる。FSE を MDG に接続し, Bh の同族元素である Tc と Re の RI を用いた溶媒抽出実験を行った。理研 AVF サイクロトロンを用いて製造した $^{92,94}\text{Tc}$ ($T_{1/2} = 4.25, 293$ min) および ^{181}Re ($T_{1/2} = 20$ h) をガスジェット法で化学実験室の MDG に搬送し, 1 mL/min の 1 M HNO_3 で溶液化した後, 1 mL/min の 0.01 M トリオクチルアミン (TOA) /トルエン溶液とともに FSE に送液した。Tc および Re は, 7 価の酸化状態では水溶液中で安定な陰イオン種である過テクネチウム酸イオン, 過レニウム酸イオンを形成するため, TOA などの陰イオン交換体を用いて有機相に抽出することができる。相分離器で有機相と水相を分離後, 各相について γ 線スペクトロメトリーを行い, Tc と Re の分配比を導出した。抽出チューブの長さを変えて分配比を測定した結果, 40 cm 以上の抽出チューブで抽出平衡状態に到達することがわかった。この抽出チューブを溶液が流れるのに要する時間は, 溶液流速と内容積から計算して約 2.4 秒と見積られ, 半減期 10 秒程度の Sg や Bh の溶媒抽出に十分適用できることが分かった。

次に, MDG と FSE を GARIS ガスジェット搬送装置に結合し, Bh に向けたモデル実験として, 理研重イオン線形加速器を用いて $\text{nat}\text{Gd}(^{23}\text{Na}, xn)^{174,176}\text{Re}$ 反応により製造した $^{174,176}\text{Re}$ ($T_{1/2} = 2.4, 5.3$ min) のオンライン溶媒抽出実験を行った。40 cm の抽出チューブを用いて TOA 濃度を 0.005–0.1 M の範囲で変化させ, 分配比の変化を調べた。その結果, TOA 濃度が 0.05 M 以上では抽出平衡に到達するのにより長い抽出チューブを必要とすることがわかった。100 cm の抽出チューブを用いた場合, 分配比 0.3–20 の範囲で抽出平衡状態の分配比を得ることができた。さらに, $^{152}\text{Gd}(^{23}\text{Na}, 5n)^{170}\text{Re}$ 反応により製造した ^{170}Re ($T_{1/2} = 9.2$ s) を用い, ガスジェット搬送, 溶液化, 溶媒抽出ならびに相分離に要する時間を調べた。その結果, ガスジェット搬送に約 3 秒, MDG での溶液化に約 10 秒, 100 cm の抽出チューブを用いた溶媒抽出に約 6 秒, 相分離に約 4 秒かかることが分かった。

さらに本研究では, MDG および FSE と接続するための液体シンチレーション検出器の開発を行った。光電子増倍管とテフロン製検出セル, アクリルライトガイドから成る検出チャンバーを製作した。光電面の直径が 46 mm と 65 mm の 2 種類の光電子増倍管を用い

て、 ^{212}Bi 線源の液体シンチレーション測定を行い、 ^{212}Bi の 6.1 MeV の α 粒子のエネルギー分解能を評価したところ、光電面径の小さい光電子増倍管のほうが良好なエネルギー分解能を示すことが分かった。データ収集系にデジタイザを用い、イベントごとのパルス波形を収集できるように工夫した。 ^{252}Cf の液体シンチレーション測定から、 α 粒子および自発核分裂片を β 粒子や γ 線からパルス波形弁別できることを確認した。FSE で相分離された水相および有機相は、それぞれ乳化シンチレータおよびトルエンベースシンチレータと混合された後、検出セルに送液される。最後に、液体シンチレーション検出器を MDG, FSE に連結し、気液分離、溶媒抽出、相分離、各相とシンチレータとの混合の一連の操作が連動してできるかどうかを調べた。水相に乳化シンチレータを合流させるとガスジェットチャンバーの圧力が上がり気液分離や相分離ができなくなったが、検出セルの下流で溶液を減圧吸引することでガスジェットチャンバー圧力の上昇を抑え気液分離、相分離、液体シンチレーション測定を行えるようになった。

本研究によって、超重元素を対象とした次世代の迅速溶液化学分離装置を完成させることができた。本装置では、短寿命の超重元素 RI の壊変ロスをも最小限に抑えることができ、また液体シンチレーション検出器を用いることで超重元素 RI を 100% の高効率で検出できるため、これまで困難であった Sg や Bh の溶液化学研究が可能になると期待される。

参考文献

- [1] H. Haba et al., Chem. Lett. **38**, 426 (2009).
- [2] H. Haba et al., Phys. Rev. C **83**, 034602 (2011); **85**, 024611 (2012); **89**, 024618 (2014).
- [3] M. Schädel et al., Nature **388**, 55 (1997).
- [4] M. Schädel et al., Radiochim. Acta **83**, 163 (1998).
- [5] P. A. Wilk et al., Phys. Rev. Lett. **85**, 2697 (2000).
- [6] R. Eichler et al., Nature **407**, 63 (2000).
- [7] Z. Qin et al., Nucl. Phys. Rev. **23**, 400 (2006).
- [8] K. Morita et al., J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 103201 (2012).
- [9] K. Ooe et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. **303**, 1317 (2015).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

羽場宏光, “GARIS が拓く超重元素の化学”, 原子核研究 **62**, No. 1, 95–99 (2017).
<http://www.genshikaku.jp/index.php>, 査読無
Y. Komori, H. Haba, K. Ooe, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, A. Mitsukai, K. Morimoto, R. Motoyama, J. P. Omtvedt, Z. Qin, D. Sato, N. Sato, Y. Shigekawa, T.

Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wang, K. Watanabe, S. Wulff, S. Yamaki, S. Yano, and Y. Yasuda, “On-line solvent extraction of Re with a rapid solvent extraction apparatus coupled to the GARIS gas-jet system”, RIKEN Accel. Prog. Rep. **50**, 247–247 (2017).

http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/Document/RIKEN_APR50.pdf, 査読無
H. Haba, “Superheavy element chemistry at GARIS”, EPJ Web of Conf. **131**, 07006 (2016).

<https://doi.org/10.1051/epjconf/201613107006>, 査読有

T. Yokokita, Y. Kasamatsu, A. Kino, H. Haba, Y. Shigekawa, Y. Yasuda, K. Nakamura, K. Toyomura, Y. Komori, M. Murakami, T. Yoshimura, N. Takahashi, K. Morita, and A. Shinohara, “Observation of the chemical reaction equilibria of element 104, rutherfordium: Solid-liquid extraction of Rf, Zr, Hf and Th with Aliquat 336 resin from HCl”, Dalton Trans. **45**, 18827–18831 (2016). DOI: 10.1039/C6DT03497G, 査読有

S. Cao, Y. Wang, Z. Qin, F. Fan, H. Haba, Y. Komori, X. Wu, C. Tan, and X. Zhang, “Gas-phase chemistry of ruthenium and rhodium carbonyl complexes”, Phys. Chem. Chem. Phys. **18**, 119–125 (2016). DOI: 10.1039/c5cp05670e, 査読有

Y. Komori, H. Haba, K. Ooe, A. Toyoshima, A. Mitsukai, M. Murakami, D. Sato, R. Motoyama, S. Yano, K. Watanabe, A. Sakaguchi, J. Inagaki, H. Kikunaga, and J. P. Omtvedt, “Development of a rapid solvent extraction apparatus for aqueous chemistry of the heaviest elements”, RIKEN Accel. Prog. Rep. **49**, 21–21 (2016).

http://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/Document/RIKEN_APR49.pdf, 査読無
Y. Wang, Z. Qin, F. L. Fan, H. Haba, Y. Komori, S. W. Cao, X.-L. Wu, and C.-M. Tan, “Gas-phase chemistry of technetium carbonyl complexes”, Phys. Chem. Chem. Phys. **17**, 13228–13234 (2015). DOI: 10.1039/c5cp00979k, 査読有

M. Huang, H. Haba, M. Murakami, M. Asai, D. Kaji, J. Kanaya, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Kikutani, Y. Komori, H. Kudo, Y. Kudou, K. Morimoto, K. Morita, K. Nakamura, K. Ozeki, R. Sakai, A. Shinohara, T. Sumita, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wakabayashi, and A. Yoneda, “Production of ^{88}Nb and ^{170}Ta for chemical studies of element 105, Db, using the GARIS gas-jet system”, J. Radioanal. Nucl. Chem. **304**, 845–859 (2015).

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10>

967-014-3877-4, 査読有
Y. Komori, T. Yokokita, Y. Kasamatsu, H. Haba, A. Toyoshima, K. Toyomura, K. Nakamura, J. Kanaya, M. Huang, Y. Kudou, N. Takahashi, and A. Shinohara, “Solid-liquid Extraction of Mo and W by Aliquat 336 from HCl Solutions toward Extraction Chromatography Experiments of Sg”, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **303**, 1385–1388 (2015).

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-014-3476-4>, 査読有

H. Haba, “Productions of radioisotopes for application studies at RIKEN RI Beam Factory”, *J. Particle Accel. Soc. Jpn.* **12**, 206–212 (2015).

<https://www.pasj.jp/kaishi/contents/contents/12-4s.htm>, 査読無

J. Even, A. Yakushev, Ch. E. Düllmann, H. Haba, M. Asai, T. K. Sato, H. Brand, A. Di Nitto, R. Eichler, F. L. Fan, 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, M. Murakami, Y. Nagame, H. Nitsche, K. Ooe, Z. Qin, M. Schädel, J. Steiner, T. Sumita, M. Takeyama, K. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, A. Türler, I. Usoltsev, Y. Wakabayashi, Y. Wang, N. Wiehl, and S. Yamaki, “Synthesis and Detection of a Seaborgium Carbonyl Complex”, *Science* **345**, 1491–1493 (2014). DOI: 10.1126/science.1255720, 査読有

羽場宏光, “GARIS が拓く新元素の化学”, *放射化学* **30**, 7–18 (2014).

http://www.radiochem.org/pdf/rad_nw30.pdf, 査読無

M. Murakami, H. Haba, S. Goto, J. Kanaya, and H. Kudo, “Production Cross Sections of Niobium and Tantalum Isotopes in Proton-Induced Reactions on ^{nat}Zr and ^{nat}Hf up to 14 MeV”, *Appl. Radiat. Isot.* **90**, 149–157 (2014).

<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.03.014>, 査読有

[学会発表](計 21 件)

H. Haba, “Synthesis and Chemistry of Superheavy Elements at RIKEN”, DAE-BRNS Eighth Biennial Symposium on Emerging Trends in Separation Science and Technology (SESTEC-2018), May 25, 2018, Goa, India

H. Haba, “Production of Radioisotopes for Application Studies at RIKEN RI Beam Factory”, The 7th Yamada workshop on RI Science Evolution 2018 (RISE18), Mar. 16, 2018, Suita, Japan.

H. Haba, “Superheavy Element Nuclear

Chemistry at RIBF”, International symposium on RI beam physics in the 21st century: 10th anniversary of RIBF, Dec. 5, 2017, Wako, Japan

H. Haba, “Production of radioisotopes for application studies at RIKEN RI Beam Factory”, 9th International Conference on Isotopes (9 ICI), Nov. 15, 2017, Doha, Qatar.

Y. Komori, H. Haba, K. Ooe, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, A. Mitsukai, K. Morimoto, J. P. Omtvedt, Z. Qin, D. Sato, N. Sato, Y. Shigekawa, T. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wang, S. Wulff, S. Yamaki, S. Yano, and Y. Yasuda, “Development of a rapid solvent extraction apparatus coupled to the GARIS gas-jet transport system for aqueous chemistry of Sg and Bh”, 9th Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements, Oct. 11, 2017, Ascona, Switzerland.

H. Haba, F. Fan, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Komori, N. Kondo, H. Kudo, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nishio, J. P. Omtvedt, K. Ooe, Z. Qin, D. Sato, N. Sato, T. K. Sato, Y. Shigekawa, A. Shinohara, M. Takeyama, T. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, Y. Wakabayashi, Y. Wang, S. Wulff, S. Yamaki, S. Yano, Y. Yasuda, and T. Yokokita, “Production and decay studies of ^{261}Rf , ^{262}Db , ^{265}Sg , and ^{266}Bh for superheavy element chemistry at RIKEN GARIS”, 6th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry (APSORC17), Sept. 18, 2017, Jeju, Korea.

H. Haba, “Present Status and Perspectives of SHE Chemistry at RIKEN”, 3rd International Symposium on Super-Heavy Elements “Challenges in the studies of super-heavy nuclei and atoms” (SHE 2017), Sept. 12, 2017, Kazimierz Dolny, Poland.

羽場宏光, “新元素 ニホニウムの発見 - 理研・森田グループからの詳細報告 -”, 日本化学会第 97 春季年会 特別講演会, 2017 年 3 月 19 日, 横浜市.

羽場宏光, “超重元素化学の現状と展望”, 日本物理学会 第 72 回年次大会, 2017 年 3 月 17 日, 豊中市.

羽場宏光, “いかにして人工元素は合成されたか”, 2016 年度 (第 62 回) 仁科記念講演会, 2016 年 12 月 5 日, 文京区.

Y. Komori, H. Haba, K. Ooe, A. Toyoshima, A. Mitsukai, M. Murakami, D. Sato, R. Motoyama, S. Yano, K. Watanabe, A. Sakaguchi, J. Inagaki, H. Kikunaga, S. Wulff, and J. P. Omtvedt, “Development of a rapid solvent extraction apparatus for aqueous chemistry of the heaviest elements”, 9th International Conference on Nuclear and

Radiochemistry (NRC9), Sep. 1, 2016, Helsinki, Finland.

小森有希子, 羽場宏光, 大江一弘, 豊嶋厚史, 水飼秋菜, 佐藤大輔, 本山李沙, 矢納慎也, 渡邊慶子, 佐藤望, 山下さやか, 田中泰貴, 加治大哉, 森本幸司, 坂口綾, 稲垣純平, 菊永英寿, 重河優大, 笠松良崇, Jon Petter Omtvedt, “107 番元素ボーリウムの溶液化学研究に向けた GARIS ガスジェット装置による Re 同位体の製造とフロー溶媒抽出器を用いた Re のオンライン抽出”, 2016 日本放射化学学会年会・第 60 回放射化学討論会, 2016 年 9 月 10 日, 新潟市.

H. Haba, “Superheavy element chemistry behind GARIS at RIKEN”, Nobel Symposia, NS160: Chemistry and Physics of Heavy and Superheavy Elements, June 2, 2016, Scania, Sweden.

H. Haba, “Production and decay studies of ^{261}Rf , ^{262}Db , ^{265}Sg , and $^{266,267}\text{Bh}$ for superheavy element chemistry using GARIS at RIKEN”, International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Dec. 19, 2015, Hawaii, USA.

Y. Komori, H. Haba, K. Ooe, and A. Toyoshima, “Development of a rapid solvent extraction apparatus for aqueous chemistry of the heaviest elements”, International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem 2015), Dec. 19, 2015, Hawaii, USA.

小森有希子, 羽場宏光, 大江一弘, 豊嶋厚史, 水飼秋菜, 村上昌史, 佐藤大輔, 本山李沙, 矢納慎也, 渡邊慶子, 坂口綾, 菊永英寿, Jon Petter Omtvedt, “超重元素の溶液化学研究に向けた GARIS ガスジェット直結型フロー溶媒抽出装置の開発”, 2015 日本放射化学学会年会・第 59 回放射化学討論会, 2015 年 9 月 25 日, 仙台市.

H. Haba, R. Aono, D. Kaji, Y. Kasamatsu, H. Kikunaga, Y. Komori, H. Kudo, K. Morimoto, K. Morita, M. Murakami, K. Nishio, K. Ooe, A. Shinohara, M. Takeyama, T. Tanaka, A. Toyoshima, K. Tsukada, S. Tsuto, Y. Wakabayashi, S. Yamaki, T. Yokokita, and A. Yoneda, “Production of radioisotopes of ^{261}Rf , ^{262}Db , ^{265}Sg , and $^{266,267}\text{Bh}$ for superheavy element chemistry using GARIS at RIKEN”, 5th International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements (TAN15), May 29, 2015, Urabandai, Japan. H. Haba, “Production and decay studies of ^{265}Sg for chemical studies of seaborgium using the gas-filled recoil ion separator GARIS at RIKEN”, 249th American

Chemical Society National Meeting & Exposition, Mar. 22, 2015, Denver, USA.

H. Haba, “Productions and decay studies of transactinide elements for superheavy element chemistry”, DAE-BRNS 12th National Symposium on Nuclear and Radiochemistry (NUCAR-2015), Feb. 10, 2015, Mumbai, India.

H. Haba, “Production of Radioisotopes for Application Studies at RIKEN”, The 27th World Conference of the International Nuclear Target Development Society (INTDS-2014), Sep. 2, 2014, Odaiba, Japan.

- 21 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}Rf , ^{262}Db , and ^{265}Sg for Chemical Studies Using GARIS at RIKEN”, 17th Radiochemical Conference, Czech Republic, May 12, 2014, Marianske Lazne.

〔図書〕(計 3 件)

桜井 弘, 荒野泰, 小谷明, 高妻孝光, 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, “ブルーバックス 元素 118 の新知識”, 講談社, 546 (2017).
羽場宏光 他, “理科年表 国立天文台編 平成 29 年 第 90 冊”, 丸善出版, 582-582 (2016).
羽場宏光 他, “放射化学の事典”, 日本放射化学学会編集, 朝倉書店, 91-94 (2015).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽場宏光 (HABA, Hiromitsu)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器
研究センター・チームリーダー
研究者番号: 60360624

(2) 研究分担者

小森有希子 (KOMORI, Yukiko)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器
研究センター・特別研究員
研究者番号: 50726370

(3) 連携研究者

森本幸司 (MORIMOTO, Kouji)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器
研究センター・チームリーダー
研究者番号: 00332247