

令和 元年 9 月 2 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02196

研究課題名(和文) X線観測による超重核の原子番号直接同定

研究課題名(英文) Direct identification of atomic numbers of superheavy nuclei by X-ray observation

研究代表者

森本 幸司 (Morimoto, Kouji)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・チームリーダー

研究者番号：00332247

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円

研究成果の概要(和文)：理化学研究所仁科加速器科学研究センターを中心とする研究グループにおいて、新たに開発した気体充填型反跳分離装置GARIS-IIを用いて原子番号119番新元素の探索を開始した。本研究は、この新元素探索実験へ向けたGARIS-IIおよびGARIS-IIIの高度利用技術の開発が目的である。本研究により開発したGe検出器と計測回路を新元素探索実験用のセットアップに組み込み、ビームを利用した実証実験を行って、崩壊観測と同時にX線を観測する事に成功し目的とする性能を実証した。その後、119番新元素探索実験のセットアップに実装し本装置を可動させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新元素発見を目的とした超重核探索に関する研究は、化学と物理についての基本的な問いに答える一つの試みとして、科学の進歩とともに営々と続けられている。人類はこれまでに100を超える元素を発見し、その性質を理解する試みが続けられている。これは、すべての物質の根源である元素を理解する上で重要な元素周期表の拡張を意味する。本研究は、新元素発見の確実な証拠を示すための重要な技術開発となる。元素を発見した研究グループには、元素名および元素記号を提案する権利が与えられる。新しい元素の命名が、これから社会を担う子供たちへ自然科学、科学技術の進歩に対する興味を抱かせることになれば、それも大きな社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：A research group led by RIKEN Nishina Center, started searching for a new element atomic number 119 using the newly developed gas-filled recoil separator GARIS-II. The purpose of this study is to develop advanced application technology of GARIS-II and GARIS-III for this new element search experiment. The Ge detector and measurement circuit developed in this study were incorporated in the setup for the new element search experiment, and the demonstration experiment using the beam was carried out, and it succeeded in observing X-ray simultaneously with the decay observation, and the performance for the purpose was verified. After that, it was installed into the setup of new element 119th element search experiment.

研究分野：原子核実験

キーワード：原子核実験 放射線検出器 超重元素 X線 新元素

1. 研究開始当初の背景

新元素発見を目的とした超重核探索に関する研究は、化学と物理についての基本的な問いに答える一つの試みとして、科学の進歩とともに営々と続けられている。人類はこれまでに 100 を超える元素を発見し、現在、原子番号 112 番までの元素と 114, 116 番元素が国際的な新元素認定委員会組織 IUPAC-IUPAP JWP によって認定されている。113 番元素以上の元素については、ドイツ・ロシア・米国・日本の研究グループが中心となって熾烈な先陣争いを行っていた。応募者らは理研重イオン線型加速器(RILAC)から供給される重イオンビームを Pb や Bi 標的に照射し重イオン融合反応(Cold fusion)を起こさせ、原子番号 108~113 番までの超重核  $^{278}113$ ,  $^{277}113$ ,  $^{272}113$ ,  $^{271}113$ ,  $^{263,264,265}113$  Hs の合成・確認に成功した(図 1)。 $^{263}113$ ,  $^{270}113$ ,  $^{274}113$  は、世界にさきがけての報告した新同位体である。当時、 $^{278}113$  はアジア諸国初となる新元素発見の可能性があり、命名権獲得が期待されていた。

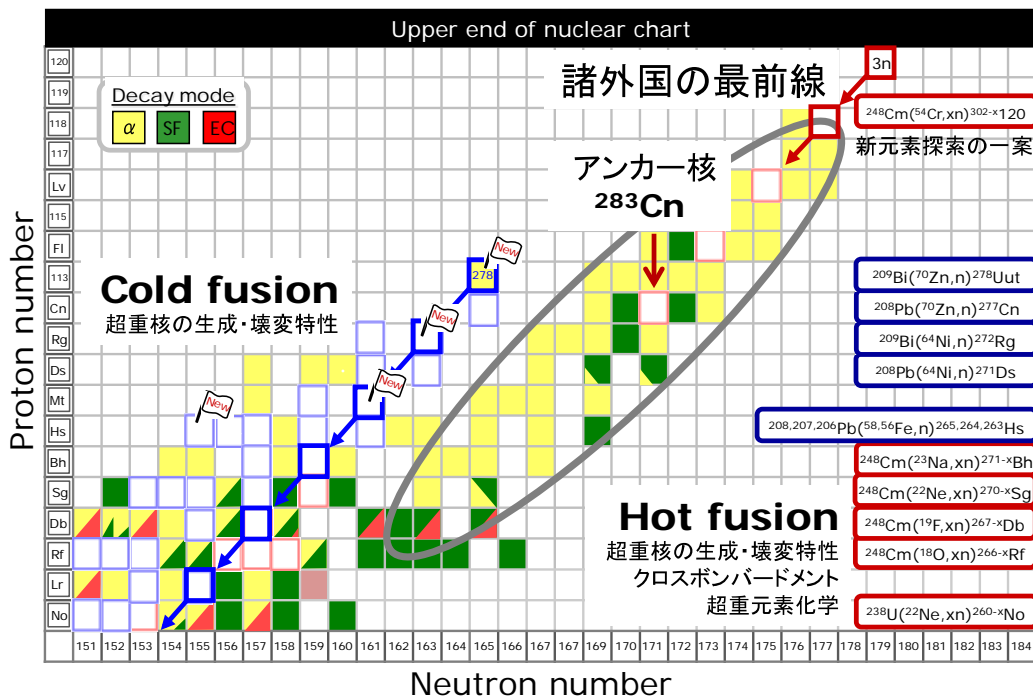


図 1: 核図表の末端領域。観測に成功した超重核と反応系を示す。

諸外国の研究動向は、Hot fusion による中性子過剰な超重核の合成に関する報告が主である(図 1)。反応断面積が Cold fusion と比較して高い値(112-118 番元素合成系のいずれも 1 pb 以上)を示しており、超重核の安定島へ向けて融合核の核分裂障壁が高くなっていることに起因すると解釈されている。Hot fusion で合成された原子核からの崩壊連鎖は既知核へ到達する前に自発核分裂を起こしてしまっているため、Cold fusion 系と比べて核種同定に関する確度が小さい。しかし、新元素認定基準のうち励起関数測定・クロスボンバードメント・娘核の化学的性質調査に関わる試みがなされ、それらを元に新元素発見を主張していた。最近、異なる実験装置を用いた他機関による追試実験もなされはじめ、Hot fusion 路線の認定が徐々に始まりつつある。そのキーは、アンカー核と呼ばれる IUPAC-IUPAP JWP が認める確度の高い超重核への到達である。アンカー核は、励起関数測定・クロスボンバードメント・他機関による独立な検証などが行われた超重核(原子番号が偶数の場合、 $^{283}112$ )を意味する。しかしながら、Hot fusion で合成される超重核のほとんどはアンカー核を経由せずに崩壊連鎖の末端で自発核分裂にて崩壊している。このような核同定の困難さを打破するために、特性 X 線測定による超重核の原子番号同定を検討した。X 線観測による原子番号同定は新元素認定基準の一つであり、本研究を進めることは極めて重要である。

2. 研究の目的

超重核の研究はもっぱら新元素の発見に最重点がおかれてきたため、存在は確認されても科学的に重要な核分光データは極めて乏しいのが現状である。理化学研究所の豊富なビーム環境と本研究による独創的かつ総合的な高度分析技術を組み合わせる事によって、多くの未知超重核の核種同定を行えると同時に核構造研究(K-isomer 研究を含めた  $\alpha$  核分光)も可能となる。また、本研究で開発する光子検出器により、核分裂にともなって放出される  $\alpha$  線の観測、同定の難しいベータ/電子捕獲やベータ遅延核分裂にともなう X 線観測にも適用が可能になり、中性子欠損アクチノイド核種の崩壊特性に関する研究への波及効果も期待できる。さらに、Hot fusion で合成された超重核は、原子核構造の理論研究から予測される超重核領域における魔法数(Z=114, N=184)へ近づくために、比較的長い半減期(秒~分オーダー)をもつ。

そのため、超重元素の化学的性質を調べる研究分野(核・放射化学)からも大きな注目を集めており、研究展開も期待される[6]。原子番号が大きくなるにつれて、大きな原子核電荷と軌道電子間に働く強い相対論効果が顕著になることが理論的に予測されている。超重元素化学も新元素認定基準の一つであり、新元素探索の戦略的にも重要である。

### 3. 研究の方法

現在使用している GARIS-II 用焦点面検出器、低エネルギー光子測定に特化した、薄窓型 Ge 検出器を設置した。X 線の検出効率を最大にするために、窓材の厚さと、半導体までの距離を極限まで薄く、また短く設計した。さらに、半導体検出器と同時計測が行われるように計測回路を改良し、データ取得ソフトウェアを開発した。GARIS-II 焦点面のセットアップを図 2 に、写真を図 3 に示す。

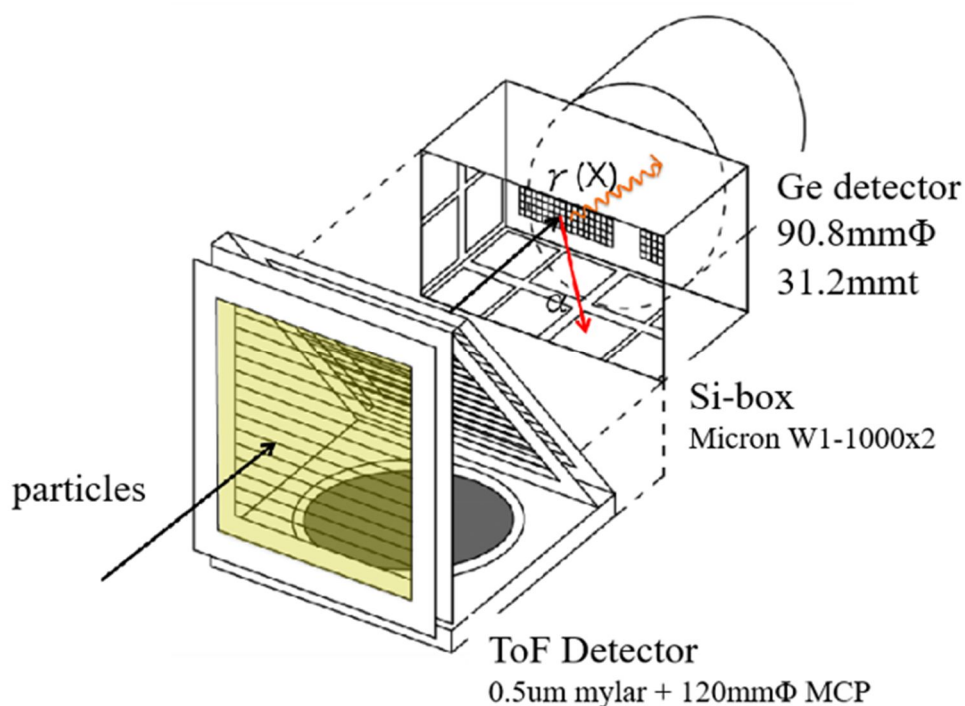


図 2 : GARIS-II に設置された、飛行時間検出器 (ToF 検出器)、半導体検出器および本研究で開発した Ge 検出器

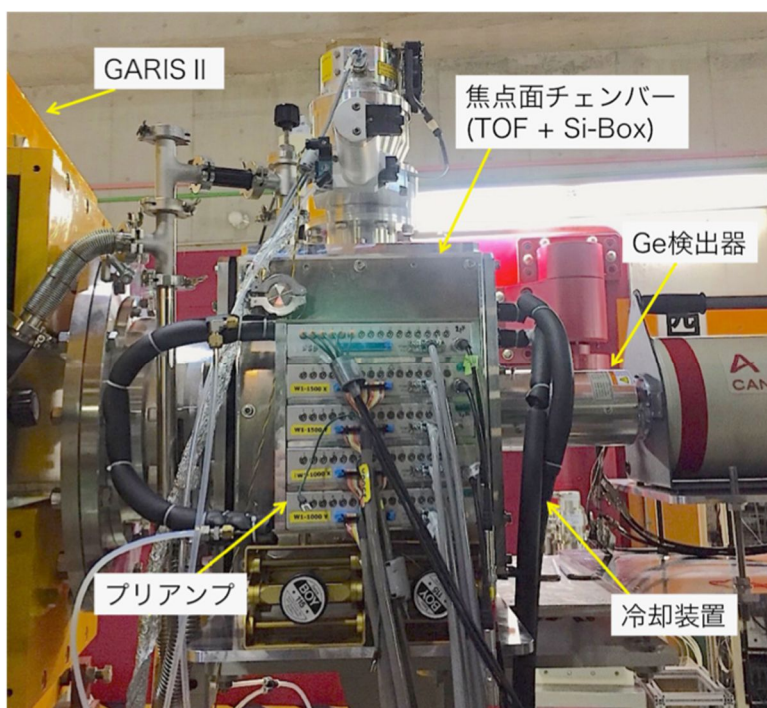




図 3 : Ge 検出器が組み込まれた GARIS-II の焦点面セットアップ写真

#### 4 . 研究成果

理化学研究所仁科加速器科学研究センターを中心とする研究グループにおいて、新たに開発した気体充填型反跳分離装置 GARIS-II を用いて原子番号 119 番新元素の探索を開始した。本研究は、この新元素探索実験へ向けた GARIS-II および GARIS-III の高度利用技術の開発が目的である。本研究により開発した Ge 検出器と計測回路を新元素探索実験用のセットアップに組み込み、ビームを利用した実証実験を行う事が出来た。具体的には、 $^{51}\text{V}$  ビームと  $^{139}\text{La}$  標的を利用し Hg や Au を生成し 崩壊観測と同時に X 線を観測する事に成功し目的とする性能を実証した。その後、119 番新元素探索実験のセットアップに実装し本装置を可動させた。図 3 に、X 線の観測結果を示す。

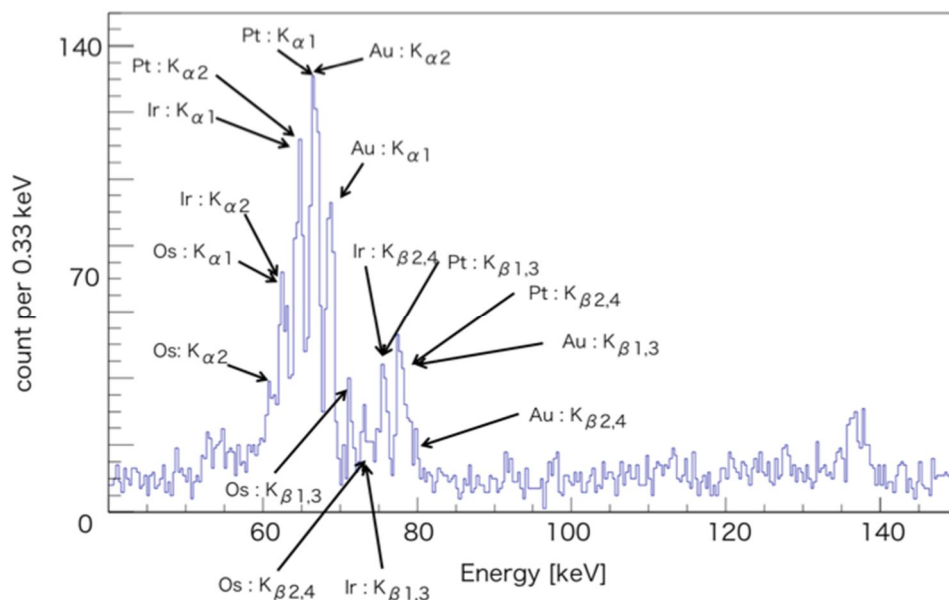


図 3 :  $^{51}\text{V}+^{139}\text{La}$  による融合反応により生成された Au の崩壊に伴う X 線が観測されたスペクトル。

しかしながら、加速器と標的技術の革新的進展により当所予定していたビーム強度をはるかに上回る強度での実験が可能となり、Ge 検出器は予定を上回るバックグラウンドが観測される事となった。現在、Ge 検出器はセットアップより取り外され新元素探索実験を継続している。今後の対応策として、GARIS-II および GARIS-III のバックグラウンド分離性能を向上させる仕組みを開発中であり、バックグラウンドを削減させたのち Ge 検出器を再度組み込む予定である。CdTe 検出器を利用した標的位置での X 線観測システムについては、さらなる予備実験を行ったのち本実験に組み込む予定であるが、予備実験のビームタイムを取得する事が出来ず、機会を待っている状況である。本研究による成果は今後、新元素探索のみならず超重核の核構造研究、超重核の精密核分光さらには超重元素化学研究への応用も展開していきたいと考えている。

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

加治大哉、光岡駿、平野剛、庭瀬暁隆、森本幸司

X 線観測による超重核の原子番号同定にむけた Si-Ge 検出器アレイの開発

日本放射化学会第 62 回討論会、2018 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名： 加治 大哉

ローマ字氏名： Kaji Daiya

所属研究機関名： 国立研究開発法人 理化学研究所

部局名： 仁科加速器科学研究センター

職名： 技師

研究者番号（8桁）： 00391912

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。