

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540302

研究課題名（和文）容器電場分離型極微量ラドン・トロン娘核捕集検査法の開発

研究課題名（英文） Development of high sensitivity radon/thoron detectors with separated electric field from the detector vessel

研究代表者

大隅 秀晃 (OHSUMI HIDEAKI)

佐賀大学・文化教育学部・教授

研究者番号：70176882

研究成果の概要：

ニュートリノの基本性質追及や質量探索のために二重ベータ崩壊実験を継続的に行っている(NEMO3, SuperNEMO 計画)が、その実験の主要雑音源としてウラン系列、トリウム系列に属する極微量ラドン・トロン娘核同定および除去が最終的に重要になる。二重ベータ崩壊の本体検出器の性能向上に向けての作業のために、その存在量を本体検出器以外のできるだけ簡単な方法で感度よくモニターする必要がある。このモニター検出器は今まで容器と電場が一体であったため、容器の素材等に金属材料を使用する必要があるなどの制約があり大型化などの性能向上が難しかったのであるが、本研究成果により、容器と電場を分離しても同様に動作することを調べる基礎的研究がなされたので、大型化や自由な形状選択が可能になり約 10 倍程度高性能 (1mBq/m^3 から 0.1mBq/m^3 へ) の高感度検出器作成の可能性を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 ・ 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究計画の全体構想としては、「ニュートリノが放出されない二重ベータ崩壊」(Neutrino-less double beta decay experiment)を行いレプトン数非保存(B-L 数非保存)の発見を目指すとともに、ニュート

リノ質量探査(最終的な質量探査領域は $20\text{meV}-50\text{meV}$)を目指すものである。二重ベータ崩壊の実験装置は、おもに (i)「ベータ線飛跡追跡型精密実験」、および(ii)「ベータ線エネルギー和精密測定型実験」の二種類に分類されるが、本研究計画は(i)のタイプの現有検出器 NEMO-3(フラン

ス・フレジユス地下実験室、感度 200meV 程度)を基礎にさらに 10 倍の感度増強を目指す検出器(仮称 SuperNEMO)を国際共同研究チームで建設を目指すものである。

(2) 本研究計画では、上記計画実現のために使用される検出器素材および二重ベータ崩壊測定用試料のバックグランド測定技術に焦点をあてたものである。典型的なバックグランド源は、中性子源等外部に起因するものを除けば、主に含有 ^{214}Bi (ウラニウム系列、ラドンから崩壊して短時間でたどりつく)、 ^{208}Tl (トリウム系列、トロンから崩壊して短時間でたどりつく) によるものであり、上記計画達成のためには、これらの放射性純度は $10 \mu\text{Bq/kg} (^{214}\text{Bi})$ 、 $2 \mu\text{Bq/kg} (^{208}\text{Tl})$ 以下という良い条件にする必要があると考えられている。

極低バックグランド Ge 検出器によるガンマ線測定は、従来から良く用いられている方法であるが、現在の最高感度は $200 \mu\text{Bq/kg} (^{214}\text{Bi})$ 、 $60 \mu\text{Bq/kg} (^{208}\text{Tl})$ であり困難があることがわかっており、新たな測定技術の開発が必要な状況である。ただこのような感度はたとえば、現行 NEMO3 検出器(極低バックグランド-トラッキングチェンバー・カロリメータ検出器)自体では当然達成可能であり、同等の構成を持つバックグランド源検査専用検出器開発はひとつの選択肢(SuperNEMO 計画のトラッキングチェンバーやカロリメータの R&D の一環として開発されつつある BiPo 検出器開発がその一例)でもあるが、このような計画は主に次期計画の R&D が主目的であり、また検出器等の構成が複雑なため、測定試料等の交換手続きやデータ処理が複雑であり、実用的にはもっと単純な装置の開発の必要に迫られている状況である。

一方、佐賀大学で製作され NEMO-3 実験グループで使用されている高感度ラドン検出器(検出感度は 1mBq/m^3 程度)は、現行 NEMO-3 実験の実験開始直後に、 ^{214}Bi バックグランド対策のためのさまざまなラドン濃度測定で活躍した。このラドン検出測定技術は検出器の構成自体単純でかつ高感度が達成可能であるので、その特性を生かしてさらにバックグランド測定技術開発を目指すに至った。

2. 研究の目的

現行の高感度ラドン検出器は、ウラニウム系列のラドン(トリウム系列のトロンも

同様)の崩壊後、ポロニウム等の娘核が電離状態になっていることを利用し、容器中に形成された電場により、静電的にアルファ線検出器上に捕集し、検出器上でその崩壊のアルファ粒子をまとめて効率的に検出するという原理になっている。現行検出器は、容器自身と電場のグランド面が一体になっているという理由から、(1)容器を大きくしたり、(2)静電捕集の電場を効率的にしたり、(3)容器の素材として特に放射線純度に関する性能の良いもの取捨選択する、等について実用的な面から様々な制約があり、さらなる性能の向上を目指すことは必ずしも容易ではなかったが、測定容器そのものと静電捕集のための電場のグランド面を分離することで、電場面や容器自体のデザイン、素材の選択等が容易になるので、上記のさまざまな制約が取り除かれることが予想される。このアイデアを試して、容器電場分離型極微量ラドン・トロン娘核静電捕集検査法の開発を行い実用化をはかることが目的である。また性能としては、通常のラドン検出器に換算して、 1m^3 のサイズに拡張した場合に、 0.1mBq/m^3 の感度が得られるような検出器作成のための基礎技術開発が目的である。

3. 研究の方法

以下のような内容のテストおよび研究開発を、同じ NEMO グループに属するフランス CENBG 研究所のチームの協力のもとで行った。

(1) 容器電場分離型極微量ラドン・トロン娘核静電捕集装置における分離した電場面が効率的かどうかに着目したテスト、付加電場の適正值設定

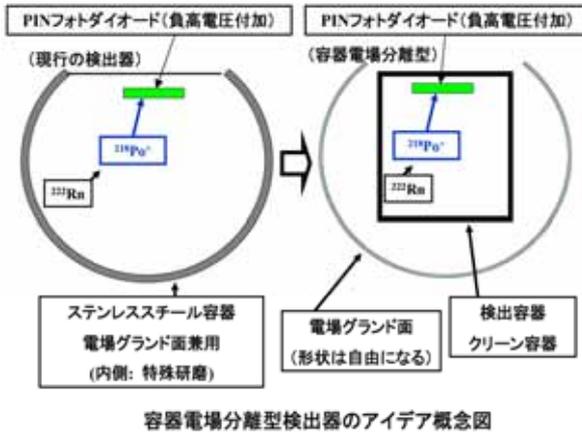
(2) 検出容器として用いることのできる素材の設定(ラドン透過度、電場維持、低バックグランド)

(3) 大型($\sim 1\text{m}^3$ 程度)大低面積($\sim 1\text{m}^2$ 程度)検出容器での動作可能性のテスト。さらに大型化による $10 \mu\text{Bq/kg} (^{214}\text{Bi})$ 、 $2 \mu\text{Bq/kg} (^{208}\text{Tl})$ の感度達成の可能性検討

(4) 測定試料を用いて(^{214}Bi 、 ^{208}Tl)放射性度測定を行った場合の検出効率較正の方法確率、最終的な到達感度評価

(5) 検出器容器の減圧化の効果

(参考: 容器電場分離型検出器の概念図)



4. 研究成果

(1) 現在共同研究で実施中の二重ベータ崩壊探索実験 NEMO3(フランス・フレジュス地下実験質、ニュートリノ質量感度約 200meV 程度)が進行中であり、ニュートリノが放出されない二重ベータ崩壊だけではなく、通常のニュートリノを放出する二重ベータ崩壊についても 100Mo 原子核やその他多くの原子核 (82Se, 150Nd, 116Cd, 130Te, 48Ca) についての半減期の測定の研究 (励起状態への崩壊等も含む) が進んでいる。高感度ラドン検出器を併用しての実験結果解析を基礎にラドン・トロン娘核による雑音対策研究をさらに進めることができた。

(2) 現行の高感度ラドン検出器を用いてさらに容器電離分離型という新しい発想のもとに試行錯誤を重ねながら、新しい検出器の実用化を図るための様々なテストを行った結果容器と電場を分離しても同様に動作することを調べる基礎的研究がなされたので、大型化や自由な形状選択が可能になり約 10 倍程度高性能(1mBq/m³ から 0.1mBq/m³ へ)の高感度検出器作成の可能性を明らかにした。また同時にラドン・トロン娘核特有の崩壊時系列パターンを併用することによりさらに高感度化の可能性を明らかにした。

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)

[雑誌論文](計 4 件)

J. Argyriades et al., H.Ohsumi(65人中 40 番目) NEMO Collaboration, Measurement of the background in the NEMO 3 double beta decay, Nuclear Instruments and Methods in Physical Research A, article in press, (2009), 査読有

H.Ohsumi, NEMO3 double beta decay experiment, Journal of Physics: Conference Series, 120, 052047(1-3), (2008), 査読有

H.Ohsumi, SuperNEMO Project, Journal of Physics: Conference Series, 120, 052054(1-3), (2008), 査読有

R.Arnold et al., H.Ohsumi(54 名中 30 番目), NEMO Collaboration, Measurement of double beta decay of 100Mo to excited states in the NEMO3 experiment, Nuclear Physics A, 781, 209-226, (2007), 査読有

[学会発表](計 3 件)

NEMO 3 Experiment, H.Ohsumi, NEMO Collaboration, International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, Sendai, September 11-15 (2007).

SuperNEMO project, H.Ohsumi, NEMO and SuperNEMO Collaboration, International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, Sendai, September 11-15 (2007).

NEMO3/SuperNEMO, H.Ohsumi, NEMO and SuperNEMO Collaboration, International Workshop on Double Beta Decay and Neutrinos, Osaka, June 11-13 (2007).

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

6．研究組織

(1)研究代表者

大隅 秀晃 (OHSUMI HIDEAKI)
佐賀大学・文化教育学部・教授
研究者番号：70176882

(2)研究分担者

(3)連携研究者

研究協力者
NEMO および SuperNEMO Collaboration