

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21340060

研究課題名（和文）

次世代ダブルベータ崩壊実験のための高感度環境放射線測定

研究課題名（英文）

Ultralow radioactivity measurements for next generation double beta decay experiments.

研究代表者

能町 正治 (NOMACHI MASAHARU)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号：90208299

研究成果の概要（和文）：

次世代ダブルベータ崩壊測定実験・SuperNEMO のために、高純度・低バックグラウンド試料フォイルの試作が行われている。本研究では、薄い試料フォイルを用いる次世代ダブルベータ崩壊測定実験のために、試料フォイル中の放射性物質を高感度 (^{208}Tl で $2\ \mu\text{Bq/kg}$ 、 ^{214}Bi で $10\ \mu\text{Bq/kg}$) で測定する検出器 (BiPo 検出器) を開発した。また BiPo 検出器で用いている Bi-Po 連続崩壊を効率よく測定するデータ収集システムを開発した。これを神岡地下実験施設で行っているダブルベータ崩壊実験 CANDLES に導入しその性能を実証した。

研究成果の概要（英文）：

SuperNEMO is a next generation double beta decay experiment. It requires high-purity low-background source foil. We have developed BiPo detector to measure radio-purity of the foil with the sensitivity of $2\ \mu\text{Bq/kg}$ for ^{208}Tl and $10\ \mu\text{Bq/kg}$ for ^{214}Bi . Data acquisition system to measure Bi-Po sequential decay is developed. The system is installed in CANDLES experiment, which is a double beta decay experiment operated in Kamioka underground laboratory.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,800,000 円	1,440,000 円	6,240,000 円
2010 年度	5,500,000 円	1,650,000 円	7,150,000 円
2011 年度	3,900,000 円	1,170,000 円	5,070,000 円
年度			
年度			
総計	14,200,000 円	4,260,000 円	18,460,000 円

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学

キーワード：素粒子（実験）

1. 研究開始当初の背景

「宇宙誕生後、反粒子が消えてなくなり、なぜ粒子だけが残ったのか」は、物質の起源を探る物理学の重要な問題である。これはニュートリノがマヨラナ質量項を持ち、粒子と反粒子を結ぶ役割を果たしたからでは無い

かと考えられている。これを実験的に検証する事ができるのはニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊探索のみである。ニュートリノ質量が逆階層のときに予想される質量領域で、ニュートリノのマヨラナ性を探索する次世代高感度ダブルベータ崩壊実験が

計画されている。検出器はいくつか提案されたが、研究開発を進める中でお互いに似通ったものとなってきた。そこで、国際協力で次世代ダブルベータ崩壊実験 Super NEMO の開発を進めることとなった。(日本からは大阪大・佐賀大・福井大 KEK が参加している) Super NEMO は 100kg を超える試料 ^{82}Se を用いニュートリノ質量 100meV 以下の質量領域で測定を行う。

ダブルベータ崩壊実験では、高い感度を得るために検出器自体、とりわけ試料フォイルの低バックグラウンド化が重要となる。次世代ダブルベータ崩壊実験で必要とされる感度を得るために測定する試料に要求される放射性不純物の濃度は、 ^{208}Tl で $2\ \mu\text{Bq/kg}$ 以下、 ^{214}Bi で $10\ \mu\text{Bq/kg}$ 以下である必要がある。この要求自体は、これまでの技術開発の延長で十分に実現可能であるが、あまりにも微量なためそれを検出する検出器がない。とりわけ薄く延ばされた試料 ($40\text{mg}/\text{cm}^2$, $75\text{cm} \times 3\text{m}$) の測定のためには新しい検出器の開発が必要となった。

2. 研究の目的

本研究では、 ^{208}Tl や ^{214}Bi などの環境放射能に対し世界最高感度を持つ検出器を開発する。開発は Super NEMO コラボレーションのもと、フランス・オルセーのグループとの国際協力で行う。

^{208}Tl や ^{214}Bi などの環境放射能を効率よく測定するために Bi-Po 連続崩壊を効率よく測定するデータ収集システムを開発する。

3. 研究の方法

薄い試料を測定するために、試料を2枚のプラスチックシンチレーターで挟む BiPo 検出器を開発する。本研究では主に Bi-Po 連続崩壊を効率よく測定するデータ収集システムの開発を受け持つ。

BiPo 検出器は ^{208}Tl や ^{214}Bi などの環境放射能が Bi-Po と連続崩壊を起こすことを用いて高感度の測定を実現している。しかしその時間差はデータ収集に要する時間と同じ程度の時間差であるため、従来のシステムでは特別な工夫が必要でありその効率は高くなかった。本研究では FPGA を用いパイプライン処理を可能とすることにより、不感時間の無いトリガーシステムを開発した。

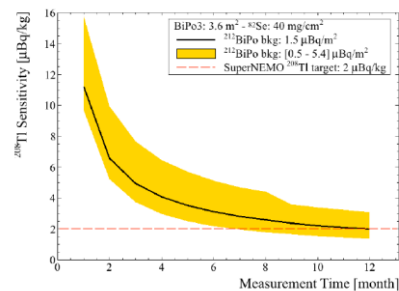
4. 研究成果

予定より遅れたが、BiPo 検出器はモダン地下実験施設に設置され測定が始まっている。

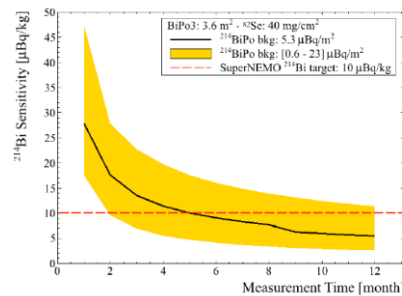


BiPo 検出器のプラスチックシンチレーターと光電子増倍管

測定の結果、下図のように ^{208}Tl で1カ月の測定で $10\ \mu\text{Bq/kg}$ を、6カ月の測定で $2\ \mu\text{Bq/kg}$ を達成できることが示された。



また ^{214}Bi の場合、下図のように4カ月の測定で $10\ \mu\text{Bq/kg}$ 達成できることが示された。



また、Bi-Po 連続崩壊を効率よく測定するために FPGA を用いパイプライン処理を可能とすることにより、不感時間の無いトリガーシステムを開発した。このシステムは CANDLES 実験にインストールされその性能を評価した。その結果閾値を超えた事象に関しては不感時間の無いトリガーを実現することができた。

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9件)

1) Study of Ca-48 double beta decay by

- CANDLES
 CANDLES Collaboration (I. Ogawa (Fukui U.), T. Kishimoto (Osaka U. & Osaka U., Res. Ctr. Nucl. Phys.), S. Umehara (Osaka U., Res. Ctr. Nucl. Phys.), G. Ito, K. Yasuda, H. Kakubata, M. Miyashita, K. Takubo, K. Matsuoka, M. Nomachi, M. Saka, K. Seki (Osaka U.), K. Fushimi (Tokushima U.), R. Hazama (Hiroshima U.), H. Ohsumi (Saga U., Japan), K. Okada (Kyoto Sangyo U.), Y. Tamagawa, T. Jinno, N. Fujiwara (Fukui U.), S. Yoshida (Osaka U.))
 J.Phys.Conf.Ser. 375 (2012) 042018
 DOI: 10.1088/1742-6596/375/1/042018
 査読なし
- 2) The BiPo detector for ultralow radioactivity measurements
 SuperNEMO Collaboration (Mathieu Bongrand (Orsay, LAL) for the collaboration)
 AIP Conf.Proc. 1338 (2011) 49-58
 DOI: 10.1063/1.3579559
 査読なし
- 3) Neutrino-less double beta decay of (48)Ca -CANDLES-
 T. Kishimoto, S. Yoshida, K. Matsuoka, K. Ichimura, G. Ito, K. Yasuda, H. Kakubata, M. Miyashita, K. Takubo, M. Nomachi, M. Saka, K. Seki, S. Ajimura, S. Umehara, N. Nakatani, Y. Tamagawa, I. Ogawa, R. Hazama, H. Ohsumi, K. Okada, Y. Fujii
 AIP Conf.Proc. 1388 (2011) 142-148
 DOI: 10.1063/1.3647363
 査読なし
- 4) The BiPo detector
 SuperNEMO Collaboration (S. Cebrian (Zaragoza U.) for the collaboration)
 J.Phys.Conf.Ser. 203 (2010) 012131
 DOI: 10.1088/1742-6596/203/1/012131
 査読なし
- 5) Study of double beta decay of Ca-48 by CANDLES
 S. Umehara, T. Kishimoto, I. Ogawa, K. Matsuoka, G. Ito, K. Yasuda, H. Kakubata, M. Miyashita, M. Nomachi (Osaka U.), S. Ajimura (Osaka U., Res. Ctr. Nucl. Phys.) Y. Tamagawa (Fukui U.), K. Fushimi (Tokushima U.), R. Hazama (Hiroshima U.), H. Ohsumi (Saga U., Japan), K. Okada (Kyoto U.), S. Yoshida (Tohoku U.), Y. Fujii (Tokyo Inst. Tech.)
 AIP Conf.Proc. 1235 (2010) 287-293
- DOI: 10.1063/1.3442610
 査読なし
- 6) Probing New Physics Models of Neutrinoless Double Beta Decay with SuperNEMO
 SuperNEMO Collaboration (R. Arnold, M. Nomachi (Osaka U.)他 80 人)
 Eur.Phys.J. C70 (2010) 927-943
 DOI: 10.1140/epjc/s10052-010-1481-5
 査読あり
- 7) Results of the BiPo-1 prototype for radiopurity measurements for the SuperNEMO double beta decay source foils
 SuperNEMO Collaboration (J. Argyriades, M. Nomachi (Osaka U.)他 88 人)
 Eur.Phys.J. C70 (2010) 927-943
 DOI: 10.1140/epjc/s10052-010-1481-5
 査読あり
- 8) Study of Ca-48 double beta decay with CANDLES
 I. Ogawa, T. Kishimoto, S. Umehara, G. Ito, K. Yasuda, M. Wada, K. Matsuoka, M. Nomachi, K. Fushimi, R. Hazama, H. Ohsumi, K. Okada, Y. Tamagawa, S. Yoshida
 J.Phys.Conf.Ser. 203 (2010) 012073
 DOI: 10.1088/1742-6596/203/1/012073
 査読なし
- 9) Energy resolution of plastic scintillation detector for beta rays
 H.H. Vo, S. Kanamaru, H. Nakamura, M. Nomachi, Y. Sugaya (Osaka U.), C. Marquet, F. Piquemal, J.S. Ricol (CENBG, Gradignan), K. Yasuda (Wakasa Wan Eng. Res. Ctr.)
 IEEE Trans.Nucl.Sci. 55 (2008) 3717-3724
 DOI: 10.1109/TNS.2008.2005718
 査読あり
- [学会発表] (計 6 件)
- 1) CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (70) - トリガーシステムの改良 -
 石川貴志, 市村晃一, 梅原さおり A, 岸本忠史, 坂雅幸, 菅谷頼仁, 鈴木耕拓, 田中大樹, 田中美穂, 能町正治 A, 吉田 齊
 日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年 3 月 29 日広島大学・東広島市
- 2) CANDLES による二重ベータ崩壊の研究 (73) -連続崩壊事象を用いたエネルギーと位置較正-
 田中大樹, 市村晃一, 梅原さおり, 菅谷

頼仁, 鈴木耕拓, 能町正治, 吉田斉, for the CANDLES Collaboration, 岸本忠史
日本物理学会 第 68 回年次大会 2013 年
3 月 29 日広島大学・東広島市

- 3) CANDLES による二重ベータ崩壊の研究
(68)-CANDLES 用 DAQ-Middleware の開発
II-前田翔平, 小川泉, 玉川洋一, 能町正治 A, 鈴木耕拓 A, 味村周平 B, for the CANDLES Collaboration
福井大工, 阪大理 A, 阪大 RCNPB
日本物理学会 2012 年秋季大会 2012 年
9 月 11 日~14 日京都産業大学
- 4) 前田翔平, 小川泉, 玉川洋一, 能町正治,
味村周平
CANDLES による二重ベータ崩壊の研究
(61)-CANDLES 用 DAQ-Middleware の開発-
日本物理学会 第 67 回年次大会 2012 年
3 月 24 日関西学院大学・西宮市
- 5) Umehara, S. ; Nomachi, M. ; Sugaya, Y. ;
Saka, M. ; Seki, K. ; Ito, G. ; Ajimura, S. ;
Tamagawa, Y. Data acquisition system of
CANDLES detector for double beta decay

experiment

Nuclear Science Symposium and Medical
Imaging Conference (NSS/MIC), 2011 IEEE
2011 年 10 月 27 日 Valencia, Spain

- 6) 坂雅幸
ホスピッチ検出器を用いた Bi-Po 連続崩壊の高精度測定
日本物理学会 2010 年 3 月 21 日
岡山大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

能町 正治 (NOMACHI MASAHARU)
大阪大学・核物理研究センター・教授
研究者番号 : 90208299

(2) 研究分担者

菅谷 頼仁 (SUGAYA YORIHITO)
大阪大学・核物理研究センター・助教
研究者番号 : 80324747