

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13473

研究課題名(和文)シンチレーションフィルムによる表面汚染測定法の開発

研究課題名(英文)Development of surface contamination measurement with a scintillation film

研究代表者

池田 晴雄(Ikeda, Haruo)

東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教

研究者番号：90400233

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊観測など稀にしか起こらない物理現象を観測するうえで検出器の表面汚染によるノイズ事象が問題になっており、これを解決するために材料や形状によらない表面汚染測定方法の確立が必要である。片面感度を持たせたシンチレーションフィルムを用いることで検出器の表面由来線の観測に特化させることに成功し、また信号波形を解析することでそのほかのベータ線やガンマ線などの環境放射線の影響を受けにくい観測ができることが確認できた。

研究成果の概要(英文):Radioactive contamination on the large detector surface makes serious background events for observing rare physics phenomenon like neutrino less double beta decay. Its measurement has been difficult because of the detector's structure and materials. Alpha ray detection on the surface is useful method of understanding radioactive contamination. One sided scintillation film can measure only the surface contamination of the detector and separate environmental radioactive signals from beta and gamma rays using the time structure of scintillation light.

研究分野：素粒子実験

キーワード：極低放射能環境

1. 研究開始当初の背景

現在行われているニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索や暗黒物質探索実験などの非常にまれにしか起きない事象観測を目指す実験において検出器自身に含まれる放射性物質よりも、検出器の作成や運搬中に埃に含まれているあるいは空气中に自然に存在するラドンガスの娘核である放射性物質が検出器表面に付着したことによる表面汚染由来ノイズ事象によって観測感度が制限されてしまう状況が起きている。このような汚染は実験を開始して初めて発見されることが多く、観測感度向上のため実験を延期し装置の除染や場合によっては再作成するなどの時間と費用を要して対処する必要にせまられた。このようなことが起きた背景には、様々な素材で構成され形状も複雑で大型な検出器に対応できるような表面汚染測定手法がなかったことがある。そこで実験の観測開始前にさまざまな形状に対応した表面汚染測定手法を開発することが、極低放射能実験の観測感度向上に必要不可欠であるという共通認識がうまれた。

2. 研究の目的

表面汚染を観測するには、付着した放射性不純物の崩壊に伴う信号を観測する必要がある。透過能力の比較的高いβ線やγ線観測ではその起源が対象物の表面、内部、あるいは環境由来なのかの判定が容易ではないが、α線はその透過力から内部発生活起源のものや環境由来のものはほぼ観測されないので、α線が観測できれば表面汚染起源だと判定できる。特にウラン系列の²²²Rn娘核である²¹⁰Pbが問題で、それを観測するには²¹⁰Poのα崩壊による測定が有効である。本研究では測定対象物の表面に存在する放射能汚染を50~200μm程度の、α線を止めるが最小電離のβ線や透過してしまうγ線には不感である厚さに調整したシンチレーションフィルムを用いてα線計数によって測定する研究である。シンチレーションフィルムの片面に普通のフィルムをラミネートすることで片面のみにα線観測の感度を持たせ、測定対象物の表面から発生したα線のみをとら

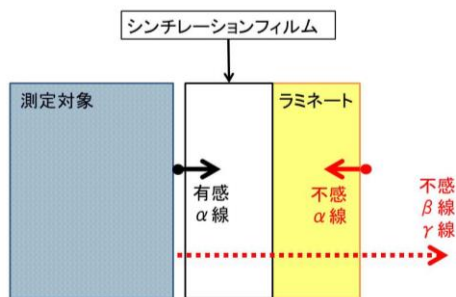


図1 ラミネートにより片面のみ有感にしたフィルムによる観測

える(図1)。またシンチレーションフィルムは薄いので容易に変形させることができる。本研究では、シンチレーションフィルムを実

験装置に貼り付けα線計測することで、観測対象物の形状によらない表面汚染観測や監視ができることの立証を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 様々な厚みをもったシンチレーションフィルムの中で、α線は十分止めることができ、β線は最小電離損失で通過することのできるフィルムの厚さをシミュレーションで求め、それにもっとも合致したものを利用する。またシンチレーションフィルムとラミネートに用いるフィルムが放射線源をふくんでいると観測感度を悪化させるのでその観点からもフィルムの選定を行う。ラミネートの方法を確立させ、さらにその過程でフィルムを環境放射線に汚染させない方法を確立させる。ラミネートすることで片側感度が達成されていることを放射線源により確認する。

(2) α線源やβ線源を用いた信号観測によってシンチレーションフィルムの線源による発光特性の違いや重粒子消光効果を確認しα線の観測能力を評価する。

4. 研究成果

(1) Geant4によるシミュレーションによってα線を止めるのに必要なシンチレーションフィルムの厚みは75μm以上必要であることがわかったが、本研究で使用できるシンチレーションフィルムの厚さが限られていたため今回は125μmのものを使用した。ラミネートに関しては市販のPET製ラミネーターフィルムで厚さ100μmのものを用いラミネート方法に工夫を加えることでシンチレーションフィルムと接合させる手法を開発した。つぎにα線源として²⁴¹Amをシンチレーションフィルム側とPETフィルム(ラミネート)側それぞれに置いた場合の発光を比較し、想定どおりにシンチレーションフィルム側からのみα線由来の発光が確認され片側感度の実現が確認できた(図2)。またラミネー

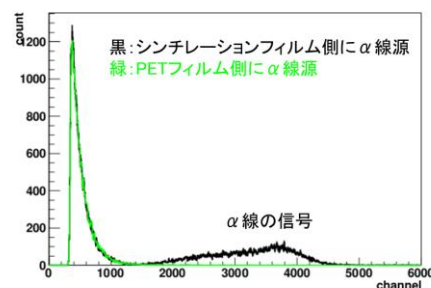


図2 ラミネートにより片面のみ有感にしたフィルムによるα線観測。シンチレーションフィルム側にα線源を置いたときのみα線由来の発光を観測。

ト前後のフィルムに含まれるウラン、トリウム、カリウム量を質量分析装置で解析したところ、シンチレーションフィルムに含まれる放射性不純物の量は非常に少なく市販のラミネートシートは非常に多くの放射性不純物を含むことが判明した。ただしラミネート

の作業によって不純物量に変化がないことが確認され、今回開発したラミネート手法にはラミネート作業由来の汚染がないことを確認できた。

(2) 片側感度をもたせたシンチレーションフィルムの発光特性についての評価を ^{241}Am (α 線源) と ^{90}Sr (β 線源) をもちいておこなった。シンチレーションフィルム側に α 線源と β 線源を配置して比較した信号の面積を図3に示す。 α 線源ではPMT由来のノイ

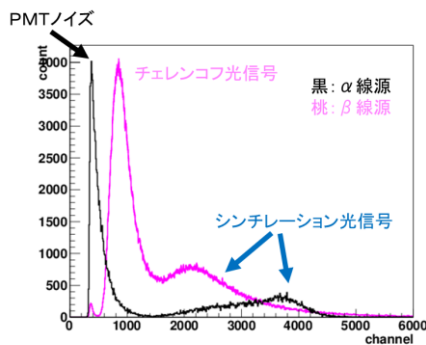


図3 α 線源と β 線源を置いた場合の比較

ズのピークと線源由来のシンチレーション光が観測されたが、 β 線源ではそれに加えて β 線がシンチレーションフィルム内で生じさせたチェレンコフ光も観測された。これはPMTとフィルムの間に紫外線吸収素材を含む透明板を配置すると、このチェレンコフ光由来のピークとおもわれる信号が観測されなくなったことで確認を行った。また β 線の発光量と α 線の発光量を比較することでラミネートしたシンチレーションフィルムの消光効果の評価を行い 15.3 という値であることが判明した。

(3) α 線源と β 線源の信号をFADCを用いて波形として記録することで、PMTノイズとチェレンコフ光由来の信号に関しては信号が鋭いという特徴を有しており信号の半値幅で判別できることが分かった。また α 線と β 線でシンチレーション光の発光時間分布が異なることも観測できた。そこで波形分別による粒子識別の評価を行った。それぞれの線源による波形を平均化することで α 線・ β

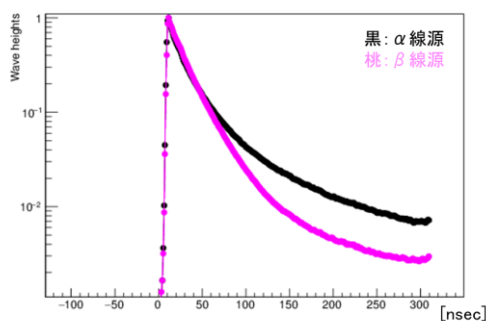


図4 α 線と β 線の標準波形比較

線に対する標準波形を作成し(図4)、観測さ

れた波形についてそれぞれ χ^2 検定をおこなってその差で評価を行ったところ α 線取得率90%で β 線の誤検知率が11%であることがわかった。波形分別のさらなる高分解能化にむけて波形の違いが大きくなるところに重みを掛けた独自の判別係数を導入し、時間と波形の面積を変化させて最小となる

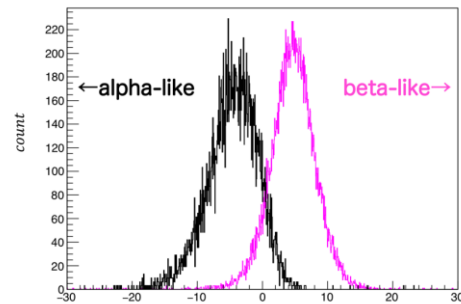


図5 独自の判別係数による波形分別能力

パラメータを求めるようにさせたところ α 線取得率90%で β 線の誤検知率が8%まで向上することが分かった。

α 線観測を行う場合にノイズとなりうる環境や測定物由来の β 線のうちシンチレーションフィルムで発光する割合はその薄さゆえ0.48%程度しかないことがわかっており、波形分別を取り入れることで β 線由来のノイズはほぼ取り除けることが判明した。これによって高感度で表面汚染を観測する手法としてシンチレーションフィルムが有効であることが確認でき、次期検出器開発や建設に応用することで極低放射能環境を実現することに貢献すると期待できる。

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 7 件)

- ① A. Gando, H. Ikeda 他 KamLAND Collaboration, Search for electron antineutrinos associated with gravitational wave events GW150914 and GW151226 using KamLAND, 査読あり, The Astrophysical Journal Letters, 829(2016), L34, DOI:10.3847/2041-8205/829/2/L34
- ② A. Gando, H. Ikeda 他 KamLAND-Zen Collaboration, Search for Majorana Neutrinos Near the Inverted Mass Hierarchy Region with KamLAND-Zen, 査読あり, Physical Review Letters, 117(2016), 082503, DOI:10.1103/PhysRevLett.117.082503
- ③ K. Asakura, H. Ikeda 他 KamLAND Collaboration, KamLAND Sensitivity to Neutrinos from Pre-Supernova Stars,

査読あり, The Astrophysical Journal, 818(2016), 91,
DOI:10.3847/0004-637X/818/1/91

- ④ K. Asakura, H. Ikeda 他 KamLAND-Zen Collaboration, Search for double-beta decay of ^{136}Xe to excited states of ^{136}Ba with the KamLAND-Zen experiment, 査読あり, Nuclear Physics A, 946 (2016) 171-181,
DOI:10.1016/j.nuclphysa.2015.11.011
- ⑤ A. Gando, H. Ikeda 他 KamLAND Collaboration, ^7Be solar neutrino measurement with KamLAND, 査読あり, Physical Review C, 92(2015), 55808,
DOI:10.1103/PhysRevC.92.055808
- ⑥ K. Asakura, H. Ikeda 他 KamLAND Collaboration, Search for the proton decay mode $p \rightarrow \text{neutrino} K^+$ with KamLAND, 査読あり, Physical Review D, 92 (2015), 52006,
DOI:10.1103/PhysRevD.92.052006
- ⑦ K. Asakura, H. Ikeda 他 KamLAND Collaboration, Study of electron anti-neutrinos associated with gamma-ray bursts using KamLAND, 査読あり, The Astrophysical Journal, 806(2015), 87,
DOI:10.1088/0004-637X/806/1/87

[学会発表] (計 4 件)

- ① 池田 晴雄, Liquid Scintillator Based $0\nu\beta\beta$ Detector, International Workshop on Next Generation Nucleon Decay and Neutrino Detectors (NNN16), 2016/11/3, 北京 (中華人民共和国)
- ② 澁川 友菜, シンチレーションフィルムによる表面汚染測定法の開発, 日本物理学会秋季大会, 2016/9/22, 宮崎大学 (宮崎県宮崎市)
- ③ 澁川 友菜, シンチレーションフィルムによる表面汚染測定法の開発, 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016/3/19, 東北学院大学 (宮城県仙台市)
- ④ 池田 晴雄, KamLAND の課題, 「極低放射能技術」研究会, 2016/3/13, 徳島大学 (徳島県徳島市)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

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

[その他]

修士論文 シンチレーションフィルムによる表面汚染測定法の開発 東北大学大学院理学研究科 物理学専攻 澁川友菜 平成 29 年
http://www.awa.tohoku.ac.jp/Thesis/Master_Thesis.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 晴雄 (IKEDA, Haruo)
東北大学・ニュートリノ科学研究センター・助教
研究者番号 : 90400233

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

澁川 友菜 (SHIBUKAWA, Yuna)