

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340057

研究課題名(和文) 車載式反電子ニュートリノ検出器の開発研究

研究課題名(英文) Research and development of a mobile electron antineutrino detector

研究代表者

菟輪 眞 (MINOWA, Makoto)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90126178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：核不拡散・保障措置のためにモジュール構造のプラスチックシンチレータ式可搬型反電子ニュートリノ検出器を開発した。この検出器を商用原子力発電所に設置し、事実上の無人運転が可能であることを示した。また、原子炉建屋の外側の地上に検出器を置いて、原子炉がONの時とOFFの時の原子炉からのニュートリノフラックスの差を観測することができた。

研究成果の概要(英文)： We developed a mobile segmented reactor antineutrino detector made of plastic scintillators for the nuclear safeguard application and demonstrated almost unmanned field operation at a commercial power plant reactor. We observed the difference of the reactor antineutrino flux with the reactor ON and OFF above the ground outside the reactor building.

研究分野：素粒子実験

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：保障措置 原子炉 ニュートリノ

様式 C - 19、F - 19、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IAEA (国際原子力機関) は、NPT (核不拡散条約) 締約国の原子力活動に対し、平和的利用から核兵器製造等の軍事的目的に転用されないことを確保するための保障措置システムとしての監視装置を必要としている。この監視装置は、その信頼性確保のために、当該原子炉の運転者側の提供する情報に一切依拠しないで、独立かつ自己完結的モニターであることが必要とされる。その意味で、ニュートリノによる原子炉運転モニターは大変有効な監視装置で、IAEA は最近の報告書の中で、日本を含む締約国に対して、ニュートリノによる原子炉運転モニターの feasibility study を提案している。

2. 研究の目的

原子炉格納容器の外側に置くだけで、原子炉の運転・停止状況をモニターできる装置を開発する。

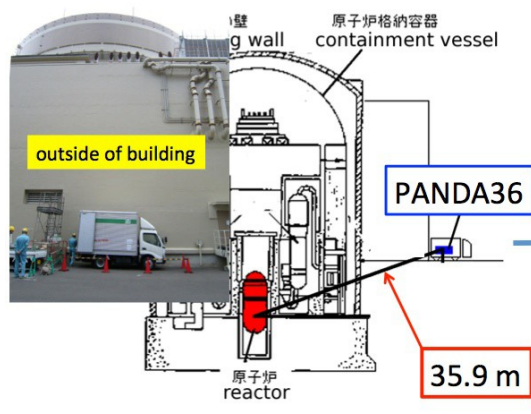


図 1

核分裂反応の際に放出される反電子ニュートリノ (以下「ニュートリノ」と略記する) をプラスチックシンチレータモジュールにより構成される装置で検出し、その検出率により原子炉運転状況をモニターする。ニュートリノは炉心から格納容器の外側まで

の遮蔽物をほとんど素通りするので、図 1 に示すような原子炉建屋のすぐ外側でトラックに載せたままでモニター可能である。

本研究では、このようなニュートリノ検出器による原子炉運転モニターを開発しようとするものである。

3. 研究の方法

検出器の基本的形状は図 2 に示すように、断面 10cm×10cm で長さ 1m のプラスチックシンチレータにガドリニウム含有 PET フィルムを巻いたモジュールを、図 3 のように縦横に積み上げた構造である。

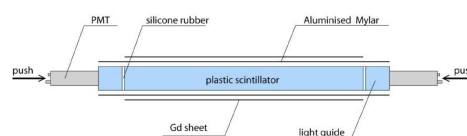


図 2

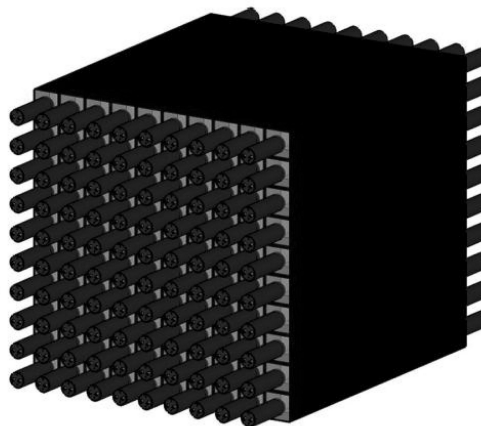


図 3

反電子ニュートリノは、逆ベータ崩壊反応により、陽電子と中性子の両方を検出することにより同定される。

陽電子はプラスチック中で完全に止まり、その電離損失エネルギーはすべて計

測される。次に、対消滅ガンマ線はプラスチック中でのコンプトン散乱により、そのエネルギーの一部を測ることができる。

中性子は、ガドリニウムに吸収されて、複数のカスケードガンマ線が放出されるがプラスチック中でコンプトン散乱によりエネルギーの一部が測られる。そのエネルギー合計が約8 MeVなので、環境中の自然ガンマ線のエネルギーより十分高いため、バックグラウンドとの識別にとっても都合がよい。

中性子は、ガドリニウムに吸収される前にシンチレータ中で陽子と弾性散乱して減速を繰り返すため、陽電子検出との間に数十マイクロ秒の時間差が生じるため遅延同時計測を行いニュートリノイベントを特定する。

検出器は、商用原子力発電所に依頼して、原子炉でのテストを行う。炉心から数十メートル程度の位置に設置して原子炉の運転のON/OFFを検出する。

4. 研究成果

核不拡散・保障措置のためにモジュール構造のプラスチックシンチレータ式可搬型反電子ニュートリノ検出器を開発した。この検出器を関西電力大飯発電所 2号機

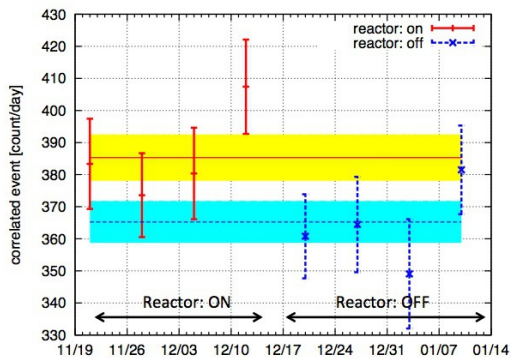


図 4

近傍に設置し、事実上の無人運転が可能であることを示した。また、原子の炉心から 35.9m の原子炉建屋の外側の地上に、トラックに検出器を積んだ状態で、原子

炉が ON の時と OFF の時の原子炉からのニュートリノフラックスの差を観測することができた。

図 4 に検出率の時間推移を示す。これは、1 日当たりの検出数を 7 日間ごとに平均したものである。横軸の中央付近の 12 月 16 日に原子炉が定期点検のために停止したのが検出率の変化として見えている。

地上では宇宙線による激しいバックグラウンドがあるため、これまでは検出器を地下において、宇宙線の影響を少なくすることが原子炉ニュートリノの検出には必要不可欠であると考えられており、地上での測定は無理であると思われていた。今回、工夫された検出器によりこれが可能であることが初めて示された。

また、これまでの検出器において使われていた可燃性の有機液体シンチレータではなく、燃えにくいプラスチックシンチレータを採用した。

以上をまとめると、

- 可燃性物質を使わず
- トラックに積んだまま
- 原子炉建屋の外で

原子炉の運転状況を知ることができるという、核不拡散保障措置の新技術として使用可能であることを世界ではじめて示した。

当初の予定では、モジュールを 10×10 に積み上げた実機を完成させる予定であったが、8×8 モジュールまで完成した。現在までに実機の製作を開始している。上記の結果はその一段階前の 6×6 モジュールの試作器によるものである。

また、国内の原子力発電所の運転がすべて停止しているため、その後の測定は実現していない。

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 2 件)

(1) S. Oguri, Y. Kuroda, Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito, M. Minowa:

Reactor antineutrino monitoring with a plastic scintillator array as a new safeguards method,

Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A 757 (2014) 33 – 39.

査読あり

doi:10.1016/j.nima.2014.04.065

(2) Y. Kuroda, S. Oguri, Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito, M. Minowa:

A mobile antineutrino detector with plastic scintillators,

Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A 690 (2012) 41 – 47.

査読あり

doi:10.1016/j.nima.2012.06.040

〔学会発表〕 (計 22 件)

(1) 富田望 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA[1]、

日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学 2014 年 3 月 27 日 .

(2) 加藤陽 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA64[2]、

日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学 2014 年 3 月 27 日 .

(3) S. Oguri, Y. Kuroda, Y. Kato,

R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito, M. Minowa:
Reactor neutrino monitoring with a mobile plastic scintillator array(PANDA),

Applied Anti-neutrino Physics 2013 (AAP2013), 2013 年 11 月 1 日 - 2 日 , COEX Convention Center, Seoul, Korea.

(4) 富田望 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA の高速中性子バックグラウンド、

日本物理学会 2013 年秋季大会、高知大学 2013 年 9 月 20 日 .

(5) 黒田康浩 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA の目的外使用、

日本物理学会 2013 年秋季大会、高知大学 2013 年 9 月 20 日 .

(6) 富田望 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA64[1]、

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学 2013 年 3 月 26 日 .

(7) 加藤陽 :

原子炉モニタリングのための小型ニュートリノ検出器 PANDA64[2]、

日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学 2013 年 3 月 26 日 .

(8) M. Minowa, S. Oguri, Y. Kuroda, Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito:

Reactor Monitoring,

Neutrino Geoscience 2013, Takayama,

22 March 2013.

(9) Y. Kuroda, S. Oguri, Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito, M. Minowa:
Reactor On/Off Monitoring with a Prototype of Plastic Anti-neutrino Detector Array (PANDA), AAP2012(Applied Antineutrino Physics workshop 2012), the University of Hawaii Manoa Campus, U.S.A., 4 October 2012.

(10) 黒田康浩 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [1] 関西電力大飯発電所におけるニュートリノ測定結果、日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学 2012 年 9 月 13 日 .

(11) 加藤陽 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [2] 検出器の改良に向けた検討、日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学 2012 年 9 月 13 日 .

(12) 富田望 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [3] PANDA64へ向けての DAQ の改良、日本物理学会 2012 年秋季大会、京都産業大学 2012 年 9 月 13 日 .

(13) Y. Kuroda, S. Oguri, Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C. Ito, M. Minowa:
Reactor On/Off Monitoring with a Relatively Small and Mobile Plastic Anti-neutrino Detector Array (PANDA), Neutrino2012, Kyoto TERRSA, Japan, 5

June 2012.

(14) 加藤陽 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [1] 検出器の開発と測定実験の概要、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学 2012 年 3 月 25 日 .

(15) 小栗秀悟 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [2] PANDA36による原子炉ニュートリノの測定結果、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学 2012 年 3 月 25 日 .

(16) 黒田康浩 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [3] 原子炉近傍におけるバックグラウンドの評価、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学 2012 年 3 月 25 日 .

(17) 小栗秀悟 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [1] 浜岡原子力発電所における予備実験、日本物理学会 2011 年秋季大会、弘前大学 2011 年 9 月 18 日 .

(18) 黒田康浩 :
小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [2] 浜岡原子力発電所における実験システムとバックグラウンド測定結果、日本物理学会 2011 年秋季大会、弘前大学 2011 年 9 月 18 日 .

(19) 加藤陽 :

小型反電子ニュートリノ検出器 (PANDA)による原子炉モニタリング [3]、検出器の拡張に向けた設計、

日本物理学会 2011 年秋季大会、弘前大学
2011 年 9 月 18 日 .

(20) M. Minowa, S. Oguri, Y. Kuroda,
Y. Kato, R. Nakata, Y. Inoue, C.
Ito:

Plastic Anti-Neutrino Detector Array
(PANDA) at a nuclear power station in
Japan,
AAP2012(Applied Antineutrino Physics
workshop 2011), Technische Uni. Wien,
Austria, 15 September 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蓑輪 眞 (MINOIWA, Makoto)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号： 90126178

(2) 研究分担者

伊藤 主税 (ITO, Chikara)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・大
洗研究開発センター高速実験炉部・研究員
研究者番号： 90421768

(3) 研究協力者

井上慶純
東京大学・素粒子物理国際研究センター・
助教

小栗秀悟
東京大学・大学院理学系研究科・大学院生

黒田康浩

東京大学・大学院理学系研究科・大学院
生

加藤陽

東京大学・大学院理学系研究科・大学院
生

堀江友樹

東京大学・大学院理学系研究科・大学院
生

鈴木惇也

東京大学・大学院理学系研究科・大学院
生

富田望

東京大学・大学院理学系研究科・大学院
生