

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

成果報告書

提出日：平成30年6月30日

【基本情報】

○申請者

採 択 年 度：平成 29 年度  
部 局 名 等：複合原子力科学研究所  
職 名：助教  
氏 名：北村 康則  
研究課題名：核物質同定のための革新的検知方法に関する理論研究

○渡航先

国 名：スウェーデン  
研究機関名：チャルマース工科大学  
研究室名等：〔研究室名〕原子内・プラズマ物理部門  
〔職名等・氏名〕 イムレ・パジット (Imre Pázsit) 教授  
渡 航 期 間：平成 29 年 12 月 1 日～平成 30 年 5 月 30 日 (181 日)

○渡航期間中の出張

出 張 先：ブダペスト工科経済大学 原子核技術研究所  
目 的：100kW 原子炉において新型光ファイバー検出器を用いた共同実験を実施するため  
期 間：平成 30 年 2 月 11 日～平成 30 年 2 月 18 日

出 張 先：  
目 的：  
期 間：

出 張 先：  
目 的：  
期 間：

# 京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

## 【成果】

### ○プロジェクトの成果及び今後の展開

#### ・研究概要

最恐のテロである核テロを未然に防ぐため、不特定多数の人々が往来する空港、港湾、公共施設等において不法に隠匿された核分裂物質の同定・定量化を非破壊で短時間のうちに可能とする技術の開発が強く望まれている。その技術の開発では、既存手法である同時計数法の応用が有望視されているが、同法には実用上の欠点として“計数ロス効果”による測定バイアスが存在するという問題がある。そこで本研究では、従来法における中性子検出器パルス信号の計数に代わって、計数ロス効果とは原理的に無関係である中性子検出器カレント信号の測定に基づく革新的な核分裂物質同定・定量化手法の開発に係る理論的基礎基盤の確立を目指した研究を受入研究者であるイムレ・パジット教授等と共同で実施した。その結果、核分裂物質内部における中性子挙動の素過程と中性子検出器のカレント応答を厳密に考慮した数学的モデルの構築と、測定により得る中性子検出器カレント信号のモーメント量に対する理論式の導出がなされた。これにより隠匿核分裂物質の同定・定量化技術の開発に関する展望が開かれた。なお、本共同研究は、平成 28 年 12 月より開始されており、今回の派遣プログラムにより所期の目的の達成を見たものである。

#### ・国際共同研究の立上げ・ネットワークの構築

従来法である同時計数法では、隠匿された核分裂物質から漏洩する中性子を検出した場合に出力される中性子検出器パルス信号を計数し、3 次までのモーメント量（平均値、分散値、歪度）を測定する。これらの測定量に対しては既に理論式が得られており、それらの適切な組み合わせ演算を行うことで核分裂物質を同定・定量化するという一種の逆問題を解くことができる。本研究で開発を目指す手法では、中性子検出器パルス信号に代わって、計数ロス効果とは原理的に無関係である中性子検出器カレント信号に関する 3 次までのモーメント量を測定し、同様の逆問題を解くことにより、核分裂物質の同定・定量化することを目指す。そのため、これらの測定量に対する理論式が必要であった。そこで、受入研究者であるイムレ・パジット教授と共同で、核分裂物質内部における自発および誘導核分裂により生成される中性子数が核分裂物質に固有の確率分布に従うランダム数となること、中性子のランダムウォークにより吸収反応、核分裂反応、漏洩の 3 種類の素過程に確率的に分岐するという事実に加え、中性子検出器が中性子を検出した場合のカレント応答までを考慮した数学的にモデルを検討し構築した。そうして得た数学的モデルを用いて、測定対象となる中性子検出器カレント信号の 3 次までのモーメント量に対する具体的な表式を確率過程論に基づき導いた。さらに理論式の検証のため、チャルマース工科大学の博士課程の大学院生であるラヨシュ・ナジー (Lajos Nagy) 氏と共同でモンテカルロ計算を実施し、その妥当性の確認を行った。

チャルマース工科大学では、京都大学との共同研究の他にも様々な研究機関との共同研究を実施している。その 1 つにハンガリーのブダペスト工科経済大学との共同研究がある。申請者の滞在中に訪れた同大学のマテ・シーベルト (Máte Szieberth) 准教授と特に放射線計測分野における研究に関して議論した結果、新たな共同研究をスタートさせることとなった。平成 30 年 2 月には、同大学を訪れて 100kW 原子炉を用いた新型光ファイバー中性子検出器に関する実験を実施した。ブダペスト工科経済大学との共同研究は、今後も継続の予定である。

#### ・国際共著論文の投稿・発表等の状況、国際学会等での発表状況 [予定を含む]

【原著論文 1】 Determination of prompt neutron decay constant by time-domain fluctuation analyses of detector current signals, Kitamura, Y., Pázsit, I., Misawa, T., *Annals of Nuclear Energy*, 120, 691-706, 2018. [査読有]

## 京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

【原著論文2】 Delayed neutron effect in time-domain fluctuation analyses of neutron detector current signals, Kitamura, Y., Misawa, T., Annals of Nuclear Energy へ投稿済み(審査中). [査読有]

【原著論文3】 Absolute measurement of subcriticality by higher order fluctuation analyses of neutron detector current signals, Kitamura, Y., Nagy, L., Misawa, T., Annals of Nuclear Energy へ近日中に投稿予定. [査読有]

### ・在外研究経験によって習得した能力等

受入者であり、共同研究者であるイムレ・パジット教授は、原子炉物理学をはじめとする原子力工学における様々な統計現象を、本研究でも用いた確率過程論を駆使して理論的に記述することにおいて、世界的な権威と言ってよい。一方、申請者は、原子炉物理実験の分野において、原子炉が臨界からどの程度離れているかを示す尺度である未臨界度の測定手法に関する新しい手法の理論を開発した経験を持つ。従って、両者が直接議論・協力しながら研究を遂行することにより、個別に本研究に取り組むよりもはるかに効率的に所期の目的を達成することができた。大学院生であるラヨシュ・ナジー氏とは、理論検証のためのモンテカルロ計算について継続して議論を行っているところである。これは、大学院生を外部研究者との交流を通じて教育していくというイムレ・パジット教授の意向によるものである。今後の教育方針・人材育成法を考えるうえで大変参考になった。

### ・在外研究経験を活かした今後の展開

上の国際共著論文欄で挙げた原著論文3編は、本研究で開発を目指した革新的核分裂物質同定・定量化手法と理論的基礎基盤を共有する原子炉物理実験手法への応用について、先行して論文化したものである。核物質同定のための革新的検知方法に関しては、今後、原著論文として学術誌に公開していく予定である。また、受入研究者であるイムレ・パジット教授とは、今後も様々な課題で研究協力を進めていくことで合意している。さらにイムレ・パジット教授を介して立ち上がったブダペスト工科大学との共同研究については、本年9月にマテ・シーベルト准教授が複合原子力科学研究所を訪問する計画があり、今後も継続する予定である。

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム  
研究者派遣プログラム

英文成果報告書

○申請者情報

部 局 名 : Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science

職 名 : Assistant Professor

氏 名 : Yasunori Kitamura

研究課題名 : Theoretical study on innovative detection methods for identifying nuclear materials

渡 航 期 間 : 1/Dec/2017 - 30/May/2018 (181 days)

○渡航先情報

国 名 : Sweden

研究機関名 : Chalmers University of Technology

研究室名等 : Department of Physics

受入研究者名 : Prof. Imre Pázsit

○渡航報告

Chalmers University of Technology (CTH, Chalmers Tekniska Högskola) is a Swedish university located in Gothenburg (Göteborg) that focuses on research and education in technology, natural science, architecture, maritime and other management areas (Photos 1 and 2). CTH was founded in 1829 following a donation by William Chalmers, who was a director of the Swedish East India Company. He donated part of his fortune to establish an "industrial school". Now, CTH has partnerships with Swedish major industries such as Ericsson, Volvo, and SKF.



Photo 1



Photo 2

Approximately 40% of Swedish graduate engineers and architects are educated at CTH. Each year, around 250 post graduate degrees are awarded as well as 850 graduate degrees. About 1,000 post-graduate students attend programmes at CTH and many students are taking Master of Science engineering programme and the Master of Architecture one. Since 2007, all Master's programmes are taught in English for both national

## 京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム 研究者派遣プログラム

and international students. Currently, about 10% of all students in a Master's or PhD program at CTH come from countries outside Sweden.

I was a guest researcher of a laboratory of Prof. Imre Pázsit in Department of physics. The majority of laboratory members is from other countries, such as US, Hungary, and China, and are good English speakers. So I could communicate with them.

Through intensive discussions with Prof. Pázsit and a PhD student, Lajos Nagy, we could exchange various opinions and novel ideas. Owing to such discussions, we could achieve the expected goals before I leave CTH. We are now working to publish the fruits obtained by our collaborative study. The first paper has been published already in a refereed journal, and the second one is now under reviewing process. The third one will be soon submitted to the journal.

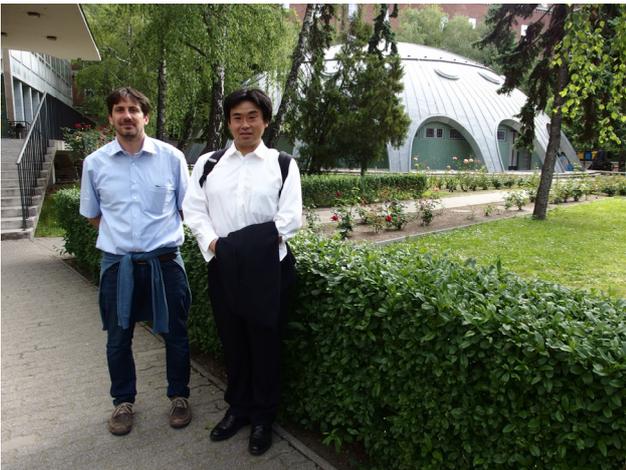


Photo 3



Photo 4

During my stay in Gothenburg, by the mediation of Prof. Pázsit, I could establish a connection to Associate Prof. Máté Szieberth (Photo 3) of Budapest University of Technology and Economics (BME, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Photo 4). We decided to initiate a new collaborative study on the radiation measurement and its application to reactor physics experiments. During 11th - 18th in February, we conducted the first collaborative experiment on the neutron fibre detector of a new type by using a 100kW research reactor at BME.

Finally, I wish to express my gratitude to Prof. Pázsit and his laboratory members for giving me great opportunities to work with them at CTH. Also, I would like to thank the financial support from the Kyoto University Global Frontier Project for Young Professionals, the John Mung Program.