

科研費国際共同研究加速基金で外国へ Overseas stay supported by JSPS KAKENHI for Fostering Joint International Research

酒井 宏典 重元素材料物性研究グループ
Hironori SAKAI Research Group for Materials Physics for Heavy Element Systems



科研費国際共同加速基金は、前年度まで採択されていた基課題をさらに発展させ、かつ一人前の研究者になるための修行期間として、一人で一定期間、海外の大学や研究機関で行う国際共同研究に対して助成されるもので、平成27年度から公募が始まりました。私は平成26年度から平成28年度までの基盤研究(C)「ウランカルコゲナイドにおける巨大磁気応答する電子状態の微視的研究」を基課題として、平成29年度に「ウランカルコゲナイドの全磁場領域における電子状態に関する微視的研究」という課題申請し採択されました。

二硫化ウラン β - US_2 は巨大磁気抵抗効果を示し、パルス強磁場を加えると30テスラ以上では常磁性半導体状態から金属状態にクロスオーバーすることが見出されました。基課題において、 ^{33}S 核濃縮単結晶 β - US_2 において ^{33}S 核NMRが物性研究に有効であることを示しました。 β - US_2 における半導体—金属状態へのクロスオーバーを微視的に調べるためには、30テスラを超える強磁場下でNMR実験が必要となります。これが可能な施設は世界で数カ所しかありません。世界最高45テスラの定常磁場実験が可能なことで有名なフロリダ州立大学国立強磁場研究所(FSU-NHMFL)は、その数少ない施設の一つです。米国フロリダ州タラハシーにあります。この凝縮系物理NMRグループのA. P. Reyes博士とは、以前から URu_2Si_2 の強磁場NMR研究[1]でお世話になっており、新たな共同研究の申し出に快く応じてくれました。しかし、ここでウラン化合物の研究を行うには、米国で新たに試料を作る必要がありました。ウランを含む化合物は国際規制物質であるため、日本で育成した試料を送ることができないからです。

そこで、ロスアラモス国立研究所(LANL)の凝縮系物理研究グループのE. D. Bauer博士に助けを請い、平成29年9月から渡米してLANLで単結晶を育成する計画を立てました。そのため4月の採択決定後すぐに ^{33}S 濃縮硫黄を原料として購入し現地に納める必要がありました。この同位体供給国が米国なので、現地法人からLANLに直送する、という購入契約を結んだのですが、ここで問題が発生しました。検収は機構職員が行うという原則のために、経理課から「検収のために渡航可能か？」と問い合わせが来まし

As one of the categories in Grant-in-Aid for Scientific Research (KAKENHI) by Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), Fund for the Promotion of Joint International Research was set up in JFY2015 to support joint international research projects in collaboration with researchers at foreign universities or research institutions for a certain period. The fund seeks to markedly advanced research plans for the fundamental research project and aim to foster principal investigators who can be internationally competitive. My proposal entitled “Microscopic study on the electronic states of a uranium chalcogenide in the whole range of magnetic field” has been adopted since FY2017, which was based from JSPS KAKENHI (C) “Microscopic study on the giant magnetic response of electronic states in a uranium chalcogenide (FY2014-FY2016)”.

Uranium disulfide β - US_2 which shows giant magnetic resistance has been reported to show an unusual crossover from paramagnetic semiconductor to metallic state under a pulsed field over 30 Tesla. On my fundamental research project, we have succeeded in performing ^{33}S nuclear magnetic resonance (NMR) study in a ^{33}S -enriched single crystal of β - US_2 . To microscopically investigate the electronic state of β - US_2 showing the crossover, we planned to perform ^{33}S NMR under high magnetic fields over 30 Tesla in my new proposal. There are few institutes accessible to such a high field over 30 Tesla. Florida State University-National High Magnetic Field Laboratory (FSU-NHMFL) in Tallahassee, Florida, USA is one of the famed institutes. This laboratory has the largest and highest-powered magnet of 45 Tesla in the world. Dr. A. P. Reyes, the staff scientist in FSU-NHMFL, who is a high field NMR expert, readily agreed to my request for collaboration. Several years ago, we worked together for high field NMR in a certain interesting material of URu_2Si_2 [1]. The next thing we have to do was to find the way to prepare ^{33}S -enriched crystals ‘domestically’ grown in USA, since shipping uranic materials from Japan was not allowed under strict regulations. Therefore, I asked Dr. E. D. Bauer, the group leader of condensed matter physics in Los Alamos National Laboratory (LANL), USA, to support me to prepare the enriched crystals in his laboratory, LANL from September in 2017.

In order to start the sample preparation, I needed to

た。そのために渡航する時間と余裕はないと頭を抱えていたところ、先端基礎研究センターの安岡弘志・元センター長が LANL に客員研究員として7月末まで滞在していることを知りました。安岡先生の機構職員番号は非常勤嘱託として保持されており、経理課から検収員として指名可能、と回答がありました。すぐに安岡先生に請うて快諾していただき、契約手続きを急いでもらって LANL に物品到着は7月14日となり、安岡先生の印鑑をもらって無事検収することができました。私は、平成29年9月末から12月中旬まで LANL に滞在し、 ^{33}S 濃縮 β - US_2 単結晶を育成しました。短期間の滞在にも関わらず、成功したのは E. D. Bauer 博士が最適育成条件を前もって見つけてくれたからです。NMR に適した大きさの単結晶を選んで、実際に ^{33}S 核 NMR が観測できることを確認し LANL を後にし、平成30年4月末から6月末まで FSU-NHMFL に渡航し、 ^{33}S 核 NMR の強磁場 NMR 実験を行う準備実験を行いました。

世界最高45テスラの磁石は、外側に11.5テスラの超伝導磁石、内側に33.5テスラの水冷電磁石を配置したハイブリッド磁石で、通称 Cell-15 と呼ばれます。FSU-NHMFL において供用マグネットは、共通電源や冷却水や液体窒素やヘリウム冷媒の高圧配管などを中心にして、コンクリート厚壁で仕切られた部屋に各磁石が配置されているため、「細胞」Cell に例えられています。他に、NMR 可能な高均一マグネットとして、Cell-14 の連結（シリーズ）ハイブリッド36テスラが最近供用開始されています。こうした供用マグネットを利用するためには、課題申請を行い、外部委員も含めた採択委員会で採択されなければなりません。NMR では信号が出ないとどうにもならないので、現地のスペクトロメーターとプローブを使って実際に信号が出ること、限られたマグネットタイムで何を明らかにするかなどを説明しなくてはならず、準備実験は非常に重要です。無事に課題採択され、実際の Cell-14 での36テスラでの NMR 実験は、令和元年7月に行うことができました。そして令和元年11月末に、仕上げの NMR 実験を行うためにタラハシーにおり、実験室でこの原稿を仕上げています。



2017年7月14日 ^{33}S 同位体が納品され、ワシントンポストの記事と一緒に写真が送られてきた。(The ^{33}S isotope was delivered on July 14, 2017. The photo was taken with an article of Washington Post issued at the date.)

buy ^{33}S -enriched sulfur as a raw material to be delivered to LANL before my stay in LANL. So, immediately after the adoption of my research plan in April of FY2017, I started the purchase procedure to contract with a Japanese agency to buy it from the USA supplier and to deliver it directly to LANL. Here comes trouble! After a while, our Accounting Section inquired of me who would inspect the goods, because the acceptance of deliverables must be carried out by JAEA employees. Amid worry over travel expense and time for the inspection at LANL, I found a relief inspector, Prof. H. Yasuoka who is the former director general of Advanced Science Research Center, was supposed to stay in LANL as a long-term visiting researcher until the end of July. Fortunately, I was told that his JAEA-ID was still valid as a part-time employee and he was entitled to be a special JAEA inspector! I asked Contract Section to hurry the purchase order to meet the deadline. At last, the item was safely arrived at July 14, 2017 and then it successfully passed the inspection.

I visited LANL from the end of September to the middle of December in 2017 to grow the ^{33}S -enriched single crystals of β - US_2 . Regardless of my short stay, it went successfully thanks to the growth recipe Dr. E. D. Bauer found a little beforehand. We picked several crystals with appropriate size and checked the ^{33}S NMR signals in LANL. Next, I visited FSU-NHMFL to perform preliminary NMR experiments using the home-grown crystals for application to hybrid magnet time from the end of April to the end of June 2018.

The world record of 45 Tesla is generated by the hybrid magnet of outer superconducting magnet of 11.5 Tesla and inner water-cooled electromagnet of 33.5 Tesla. It is so-called "Cell-15". Here, each resistive magnet is located in the "Cell", surrounded by thick concrete walls with common power supply and plumbing fixtures of high-pressure water and cryogenics. Recently, "Cell-14" i.e., Series Connected Hybrid (SCH) magnet capable of 36 Tesla, in which the resistive insert and the superconducting outsert are electrically connected in series, can be provided for NMR purpose. The magnet is open to all scientists via a competitive process, i.e., the proposals are judged and adopted by the program committee including external panels. To acquire the high field magnet time, it is very important to demonstrate the feasibility of experiments in the proposal showing the preliminary NMR data taken at FSU-NHMFL.

Consequently, the magnet time of Cell-14 was given at the end of July 2019. Also the high field NMR experiment up to 36 Tesla has been successfully performed. And now at the end of November 2019, I am again here in Tallahassee to finish the NMR data acquisition, writing this manuscript up in the laboratory of FSU-NHMFL.

参考文献 References

- [1] "Emergent Antiferromagnetism Out of the "Hidden-Order" State in URu_2Si_2 : High Magnetic Field Nuclear Magnetic Resonance to 40 T", H. Sakai, Y. Tokunaga, S. Kambe, R.R. Urbano, M.-T. Suzuki, P.L. Kuhns, A.P. Reyes, P.H. Tobash, F. Ronning, E.D. Bauer and J.D. Thompson, Phys. Rev. Lett. 112, 236401 (2014).