

様式 2

平成 年度 北海道大学大学院工学研究院若手教員在外研究助成報告書

令和元年 7月26日

工学 研究院長 殿

部門・職名 材料科学部門・助教
氏 名 大野 直子

(研究成果概要, 感想等)

研究成果概要

「酸化物粒子分散強化(ODS)鋼中の異なる酸化物粒子の照射下安定性評価」というテーマのもとに、酸化物粒子の照射下安定性を「1. 酸化物固有の照射耐性」と「2. フェライト鋼中酸化物粒子の相対的安定性」に分け、前者を第一原理計算、後者を CEA-Saclay の加速器 JANNuS を用いたイオン照射によって評価した。

1. 酸化物固有の耐照射性評価

Ti, Al, Zr 添加した ODS 鋼の酸化物の安定性を比較するため、ODS 鋼中に存在する代表的な Y-Ti, Y-Zr, Y-Al 複合酸化物である $Y_2Ti_2O_7$, $Y_2Zr_2O_7$ のユニットセル(双方とも原子数 88)および $YA1O_3$ のスーパーセル(原子数 80)を選択し、絶対零度(0K)およびイオン照射のターゲット温度である 773K において、それぞれアンチサイト欠陥を導入した後構造緩和を行った。0K の簡易計算では $Y_2Ti_2O_7$ に 1 個のアンチサイト欠陥が存在するだけでアモルファスとなり、照射欠陥に対して非常に不安定であることが分かった。 $Y_2Zr_2O_7$ および $YA1O_3$ は 1 個のアンチサイト欠陥が存在しても結晶構造は変化せず、 $Y_2Ti_2O_7$ よりも安定であった。

2. ODS 鋼中の酸化物粒子安定性評価

事故耐性燃料被覆管として開発された ODS 鋼(Fe-12Cr-6Al-0.5Ti-0.4Zr-0.5Y₂O₃)を供試材とし、JANNuS(CEA-Saclay)加速器を用いて 10MeV Fe⁺, 600°C, 最大 300dpa の条件でイオン照射した。同試料を事前に DuET(京大)において 6.4MeV Fe³⁺, 500°C, 62.5dpa まで照射したものを CEA-Saclay に持参し、JANNuS 照射試料とともに FIB によって照射断面を摘出・薄膜化し、TEM, FE-TEM, EFTEM を用いて観察・解析した。酸化物粒子の平均サイズは両試料ともに照射前からほとんど変化しなかったが、酸化物粒子のサイズ分布は低サイズ側にシフトした。数密度は 62.5dpa(@DuET)の照射によって 1 桁減少し、300dpa(@JANNuS)まで照射すると照射前のオーダーまで回復した。損傷域の酸化物粒子の格子像解析から、酸化物粒子表面が照射によって損壊されたことが示唆された。以上から、照射によって酸化物粒子から原子がはじき出された後、オストワルド成長に寄与することなく、フェライト母相中で再析出することが示唆された。全く同じ試料の照射結果を複数の加速器で検討した例は希少であり、本研究結果については 7/5-8 に開催された国際ワークショップ(SMINS-5, 京都市)でポスター発表を行った。

項目 2 の実験結果が渡航前の予測と真逆となったため(オストワルド成長ではなく逆オストワルド成長の様相を示したため)、酸化粒子の照射下安定性を決定するパラメータについては一から検討しなおす必要が生じ、現在も検討を続けている。例えば酸化粒子の分散間隔がオストワルド成長・逆オストワルド成長の方向性を決定する可能性を考えている。

感想等

前述の「1. 酸化粒子固有の照射耐性」については、第一原理計算による UO_2 の照射下安定性評価の第一人者である Dr. Jean-Paul CROCOMBETTE とディスカッションを行った。Dr. CROCOMBETTE の存在は CEA-Saclay に訪れてから初めて知った。同氏は計算機を用いた実験自体が初心者の方に対して、結果を根気強くヒアリングして下さった。計算の中身について有益なアドバイスを頂き、感謝している。

また、「2. フェライト鋼中酸化粒子の相対的安定性」については、電子顕微鏡による酸化粒子評価（照射下安定性含む）のエキスパートである Dr. Joël RIBIS に実験・解析指導からディスカッションに至るまで幅広くお世話になった。Dr. RIBIS は渡航前より先行研究として多くの論文を勉強させて頂いた人物であり、彼と共著の成果発表を帰国後すぐに SMINS-5 にて行えたこと、また今後も連携しつつ当成果を論文にする予定があることが大きな収穫である。

以上の 2 名に知り合えたのは、私の受け入れ研究員である Dr. Yann de CARLAN の CEA 内での交流関係の広さのおかげである。Dr. CARLAN は CEA-Saclay の ODS 鋼開発を牽引する人物で、私の研究所への受け入れ・滞在について始終全面的にお世話になった。滞在中、彼には私に多くの研究所の研究員と知り合う機会を準備して頂き、更に、彼のグループの JANNuS 照射実験に私の試料を投入することを許して頂いた。

私が客員研究員として所属したのは CEA-Saclay の DEN/SRMA/LA2M という組織であり、数名のフランス人博士学生・ポスドクと多数の技術職員が存在し、実験については技術職員が始終サポートをしてくれた。一つの装置につき最低 1 名以上の技術職員が従事しており、彼ら一人一人が担当する装置および解析手法のエキスパートである。CEA-Saclay の勤務は平日 5 日間、一日 7 時間の固定労働であり、日本の標準的な勤務時間よりも約 1 時間/日も短い。しかし同研究所は EU でトップ(全世界では二番目)のイノベーション創出件数で知られる研究機関である。継続的に目覚ましい成果が出せるのは勤務時間中の学生・ポスドクの集中力とサポートする技術職員の多さのおかげである。限られた時間で多くの仕事をこなすために、一人一人の研究員の事務処理能力が非常に高いことも印象的だった。

本在外研究を経験したことで、帰国後 1 か月の間だけでも既に私の北大での勤務の仕方が変化し、仕事の進め方が速くなっていると実感している。また滞在中のコミュニケーションは仏語を使用したため、第二外国語のスキルも向上した。私の研究分野はフランスにエキスパートが多く、仏語で書かれた博士論文が多数存在すること、フランス人とのコミュニケーションは仏語を話せることで遥かに円滑になることから、今後も向上した語学力を維持して研究に活かしていきたいと考えている。