

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

成果報告書

提出日：平成30年9月25日

○申請者情報

採 択 年 度：平成29年度
部 局 名：工学研究科 材料工学専攻
職 名：教授
氏 名：辻 伸泰

○派遣研究者情報

部 局 名：工学研究科
職 名：准教授
氏 名：柴田 暁伸
研究課題名：（日本語）マルテンサイト鋼の水素脆性破壊挙動
（英 語）Hydrogen-related fracture of martensitic steels
渡 航 期 間：平成29年9月20日～平成30年9月1日（347日）

○渡航先情報

国 名：フランス
研究機関名：パリ国立高等鉱業大学（MINES ParisTech）
研究室名等：材料センター（Centre des Matériaux）
受入研究者名：Jacques Besson

○渡航期間中の出張

出 張 先：Oxford 大学（イギリス）
目 的：Oxford 大学で開催された「Polycrystals: Microstructure and Effective Properties Workshop」にて招待講演を行った。
期 間：平成30年3月26日～3月28日

出 張 先：京都大学（日本）
目 的：京都大学辻研究室にて、本プログラムの受入研究者であるパリ国立高等鉱業大学 Jacques Besson 教授によるセミナーを開催するとともに、マルテンサイト鋼の水素脆性に関する今後の国際共同研究のための実験設備の確認、研究討論、研究打合せを行った。
期 間：平成30年6月13日～6月23日

出 張 先：Freiberg 工科大学（ドイツ）
目 的：Freiberg 工科大学に招待され、セミナーにて講演を行うとともに、今後の国際共同研究に関する研究打合せを行った。
期 間：平成30年7月18日～7月19日

京都大学若手人材海外派遣事業 ジョン万プログラム

研究者派遣元支援プログラム

[成果]

[申請者]

○支援により研究室等の負担軽減につながった点など

本プログラムの経費により、期間中特定研究員1名（研究室で博士学位を取得した外国人留学生）を雇用した。これによって、柴田准教授不在の間の学部生、修士学生、博士学生の研究指導補助、実験指導、研究室の装置類の保守・維持などがカバーされ、研究室の研究・教育活動を問題なく遂行することができた。特に我々の研究室は外国人留学生・研究員を多数受け入れているため、特定研究員の配置は大きな力となった。

[派遣研究者] ※研究者派遣プログラムに採択されている場合は、同じ報告内容を転記すること。

○プロジェクトの成果及び今後の展開

・研究概要

近年、二酸化炭素排出量の削減が急務な状況であり、燃費向上を目的とした輸送機器の車体重量軽量化が重要な社会的課題となっている。そのため、鉄鋼材料のような構造用金属材料の高強度化を目指した研究が盛んに行われている。しかし、高強度金属材料を幅広い用途で使用していく際に大きな問題となるのが「水素脆性」である。水素脆性とは材料中に水素が侵入することによって、材料が著しく脆化する現象である。材料の強度が上昇するにつれて水素脆性が容易に生じるようになり、高強度金属材料は通常の大気環境下においても水素脆性が発現してしまう危険性が提唱されている。そのため、水素脆性破壊を抑制していくことが、新たな高強度金属材料を開発・実用化していく上で必要不可欠である。

申請者は、代表的な高強度鉄鋼材料であるマルテンサイト鋼を対象として、電子顕微鏡を用いたミクロ組織解析によって、水素脆性破壊における「破壊クラック発生点」および「破壊クラック伝播経路」とミクロ組織の関係を正確に理解することを目的として研究を行ってきた。今後、マルテンサイト鋼の水素脆性破壊メカニズムを解明していくためには、破壊挙動とミクロ組織の相関に加えて、破壊特性精密評価とマイクロメカニクス解析を組み合わせた複合的手法によって研究を行っていくことが水素脆性破壊メカニズムの解明に繋がると考えられる。

そこで、本プロジェクトでは、精密な破壊特性評価やマイクロメカニクス解析などにより数多くの優れた業績を発表している世界的に著名な研究者の一人である、パリ国立高等鉱業大学 材料センター (MINES ParisTech, Centre des Matériaux) の Jacques Besson 教授とマルテンサイト鋼の水素脆性破壊挙動に関する国際共同研究を行った。具体的には、種々の環状ノッチ付き試験片を用いた引張試験およびコンパクトテンション (CT) 試験片を用いたコンプライアンス試験といった破壊力学に立脚した破壊特性評価試験により、種々の水素濃度における破壊特性（破壊靱性値、ティアリングモデュラス）を正確に評価した。また、引張試験結果およびコンプライアンス試験結果に対して、有限要素シミュレーションを用いた Cohesive zone model 解析を行うことによって、結晶粒界の凝集力におよぼす水素の影響を実験結果に基づいて評価した。これらの結果を申請者がこれまで行ってきたミクロ組織レベルでのクラック伝播挙動の観点から考察した。本プロジェクトにおける研究手法および得られた結果は水素脆性研究分野においては極めて新しいものであり、今後の展開が大きく期待されるものである。

・国際共同研究の立上げ・ネットワークの構築

本プロジェクトでは、ミクロ組織観察、破壊特性精密評価、マイクロメカニクス解析を組み合わせた複合的手法によって、高強度マルテンサイト鋼の水素脆性破壊挙動について研究を行った。今後は、本プロジェクトの継続として、Cohesive zone model などの有限要素シミュレーションの精度を

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

高めていくだけでなく、本プロジェクトによってその有用性が実証された研究手法を、種々の材料の水素脆性破壊に適用していく新たな国際共同研究を開始する。パリ国立高等鉱業大学との新たな国際共同研究の準備をすでに開始しており、本プロジェクトの受入研究者であった Jacques Besson 教授に京都大学へ訪問していただき（平成 30 年 6 月）、当研究室の研究設備の確認、研究打合せを行った。さらに、申請者の滞在中に、この新たな国際共同研究を見据えた試験的な実験も実施した。

パリ国立高等鉱業大学 材料センターには種々の研究グループがあり、申請者が所属していた研究グループ（MIMEX）内の放射光トモグラフィ解析を専門とする研究者達とお互いの研究内容について日常的に議論を行った。さらに、彼らの協力を得て、フランスの放射光施設 SOLEIL にて水素脆性破壊クラックの 3 次元トモグラフィ実験を試験的に実施するなど、今後の国際共同研究への展開を見据えた研究ネットワークを構築した。

今後、申請者が継続的にパリ国立高等鉱業大学 材料センターに訪問・滞在して研究を行うだけでなく、フランス政府給費留学生制度などを利用して申請者の所属する研究室の博士後期過程学生をパリ国立高等鉱業大学 材料センターに派遣するなど、大規模な国際共同研究に発展させていくことも計画している。

・ 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]

[国際共著論文]

マルテンサイト鋼の水素脆性破壊に関する論文を 2 報程度投稿する予定である。

[国際学会]

Akinobu Shibata, Yuji Momotani, Takashi Yonemura, Kazuho Okada, Yazid Madi, Jacques Besson, Nobuhiro Tsuji: “Hydrogen-related fracture behavior of martensitic steels”.

【招待講演】

Polycrystals: Microstructure and Effective Properties Workshop, Oxford University, England, 2018/3/27-29

・ 在外研究経験によって習得した能力等

申請者の滞在中にパリ国立高等鉱業大学 材料センターは、マイクロメカニクス解析に必要な有限要素シミュレーション用のソフトウェア（Z-set Finite Element Code）を独自に開発し、金属材料に限らず、セラミックス材料やポリマー材料など幅広い材料分野の研究に利用してきている。申請者はそのシミュレーションソフトウェアの基礎原理を理解し、材料内部の局所的な応力・ひずみの評価はもちろんのこと、複雑な形状をした構造体の 3 次元メッシュ構築法や Cohesive zone model などの解析手法を習得した。さらに、破壊力学に立脚した破壊特性評価技術も十分に習得し、申請者の所属する研究室でも実施できることを確認した。

申請者の所属していた研究グループでは、研究進捗会のようなメンバー全員が出席するグループミーティングは実施されていなかった。しかし、それぞれが個別に独立して研究活動をしているわけではなく、研究スタッフ、学生、技術者が日常的に議論・情報交換をしており、研究テーマごとに様々な組み合わせの連携研究がなされていた。実際、申請者も受入研究者である Jacques Besson 教授とは毎週のように研究内容に関する議論を行っていた。また別の研究スタッフ・学生・技術者と実験・解析方法についての議論を毎日のように行い、このような日常的な議論の結果、ある研究テーマに連携研究者として携わることもあった。このような研究体制は研究を効率的に推進していく上で非常に重要であり、今後の申請者の研究活動においてぜひ参考にしたいと考えている。

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

・在外研究経験を活かした今後の展開

本プロジェクトによる在外研究によって、これまでの申請者の研究を大きく飛躍させるような非常に興味深い成果が得られた。本プロジェクトによってその有用性が実証された研究手法を水素脆性破壊に限らず、低温脆性破壊、疲労破壊、延性破壊などの金属材料において生じる種々の破壊挙動に関する研究にも展開していく予定である。

パリ国立高等鉱業大学 材料センターには、多くの同世代の若手研究者や新進気鋭な博士課程学生が在席しており、彼らと研究生活を伴に送ることによって、研究ネットワークを築くことができた。今後は、受入研究者であった Jacques Besson 教授との国際共同研究を継続してだけでなく、新しく知り合った若手研究者と幅広い分野での国際共同研究を行っていきたい。