

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月17日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]

京都大学・工学研究科

[職・氏名]

教授・辻 伸泰

[課題番号]

JPJSBP 120209918

1. 事業名 相手国: スウェーデン (振興会対応機関: OP) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) ヘテロ3次元構造を有する金属材料の変形と破壊

(英文) Deformation and Fracture in Metallic Materials with Heterogeneous 3D-Architected Microstructures

3. 共同研究実施期間 2020年4月1日 ~ 2023年3月31日 (3年0ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Lund University・Professor・Dmytro ORLOV

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		3,800,000 円
内訳	1年度目執行経費	1,900,000 円
	2年度目執行経費	1,900,000 円
	3年度目執行経費	円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	15名
相手国側参加者等	4名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目			0
2年度目			0
3年度目			1 (0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究は、先進的なヘテロ 3 次元構造を有する金属材料を対象に、その優れた力学特性の発現機構を明らかにすることを目的とし、京都大学・辻、立命館大学・飴山、スウェーデン・Lund 大学・Dmytro ORLOV が国際共同研究を行うものである。また共同研究を通じて、両国の若手研究者の国際化と育成を図ることを計画した。

Lund 大・ORLOV 教授は、かつて辻および飴山の研究室でポスドク研究員を務めた経験があり、Lund 大学着任後も両研究室との共同研究を継続していた。また本事業に先立って、ORLOV 教授がスウェーデン・STINT に申請していた Sweden-Japan 150 Anniversary Grants が 2018 年から 2 年間採択されており、本事業との相乗効果も期待された。しかし 2020 年初頭から COVID-19 パンデミックが生じて各国への渡航が不可能となり、また 2020 年度はすべての国際会議・国内学会が中止またはオンライン開催となった。こうした状況下、当初予定していた日本からスウェーデンまたはスウェーデンから日本への物理的な渡航計画は実施することができなかった。こうした状況を受け、2020 年度予算の一部を 2021 年度に繰り越した。しかし 2021 年度もパンデミックは収まらず、物理的な交流を行うことはできなかった。そこで 2021 年度予算の一部を 2022 年度に繰り越し、研究機関を実質的に 1 年間延長した。

期間中、COVID-19 パンデミックによる渡航制限等のため、日本側研究者のスウェーデンへの渡航を実施することはできなかった。しかしこの間、電子メールやインターネットを用いたビデオ会議などを日本-スウェーデン間で実施し、共同研究を実施して、当初の研究目的を達成することができた。2020 年 11 月 5 日には、STINT-JSPS Project Seminar I と題するオンラインセミナーを Zoom を用いて開催し、立命館大・飴山、京大・辻、Lund 大・ZHOU、Lund 大・ORLOV がそれぞれの研究内容に関する研究発表を行って、議論を行った。また 2021 年 1 月 12 日には、STINT-JSPS International Symposium for Young Researchers 2021 と題する若手シンポジウムをやはりオンライン開催した。このシンポジウムでは、本日本側およびスウェーデン側の本プロジェクトへの参加者を中心とした若手研究者・院生 6 名がそれぞれ研究発表を行い、参加者との討論を行った。さらに 2022 年 12 月 20 日に、Third STINT-JSPS International Symposium for Young Researchers を開催し、若手研究者・院生らとの研究成果のオンラインシンポジウムを実施した。このシンポジウムでは、本プロジェクトへの参加者を中心とした 6 名の若手研究者・院生が研究発表を行い、活発な討論が実施された。また 2023 年 3 月には ORLOV 教授が日本訪問を果たし、飴山教授が立命館大学で主催した The 10th International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials (Soft/Hard 2023) に出席して基調講演を行ったほか、京都大学も訪問して辻と本共同研究プロジェクトの総括と今後の研究方針に関する議論を行うことができた。

上記の通り COVID-19 パンデミックという予期せぬ障害によって当初の国際交流計画は大きな変更を余儀なくされた。しかしそうした状況の中でも各研究室は当初研究を着実に進行させ、またオンラインミーティングなどの方法を活用した研究交流を活発に行うことができた。特に大学院生や若手研究員に国際研究交流の機会を提供できたことは、重要な成果であったと考えられる。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

本プロジェクトでは、以下の項目の研究を展開した。

- (a) ヘテロ 3 次元構造材料の作製とマイクロ組織評価：ニッケルの調和ナノ組織材料（飴山）、および二相のサイズ・分布を変化させた DP 鋼（辻）を、3 次元組織を制御したヘテロ 3 次元構造金属材料として作製し、Lund 大における力学試験に提供して、ヘテロ 3 次元材料の変形挙動の特徴と、硬質ドメインおよび軟質ドメインが与える影響を明らかにすることができた。
- (b) ヘテロ 3 次元構造材料の変形挙動の解明：引張変形中の放射光その場回折 (@ MAX IV, SPring-8) と Digital Image Correlation (DIC) 法による局所ひずみ測定を上記作製試料に対して実施し、ヘテロ 3 次元構造金属材料のマクロ～メゾスケールにおける変形挙動を明らかにした。
- (c) ヘテロ 3 次元構造材料の破壊挙動の解明：AE (acoustic emission) 測定や深焦点顕微鏡による破面の 3 次元定量化といった手法により、上記(a)で作製したヘテロ 3 次元構造金属材料の破壊挙動を明らかにした。主に Lund 大側が分担して実験を行った。

得られた研究成果の詳細は、この間に出版した学術雑誌論文として発表している。これらの研究成果は、硬質ドメインと軟質ドメインから構成される構造用金属材料の変形挙動と特徴的な力学特性を系統的に明らかにしたものであり、高強度と十分な延性・靱性を両立した次世代の革新的構造材料の設計と創製につながるが大いに期待される。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

別紙のリストに記入した通り、本国際共同研究およびそこから派生した研究の成果を、3年間で60編の国際学術雑誌論文として出版し、また国内および国際会議において18件の成果発表を行うことができた。国際学術雑誌論文のうち2022年度に出版された5編の論文は、本共同研究の直接的成果であり、スウェーデン側研究者との国際共著論文である。また、ヘテロ組織材料の力学特性に関して、飴山と辻が共著者となった国際総説論文：Heterostructured materials: superior properties from hetero-zone interaction, Y.Zhu, K.Ameyama, P.M.Anderson, I.J.Beyerlein, H.Gao, H.S.Kim, E.Lavernia, S.Mathaudhu, H.Mughrabi, R.O.Ritchie, N.Tsuji, X.Zhang and X.Wu: **Materials Research Letters** 9 (2021) 1-31 (<https://doi.org/10.1080/21663831.2020.1796836>) を出版しており、この論文は出版後2年強ですでに330回以上引用され (Google Scholar)、Top 1%国際共著論文となっている。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

構造用金属材料は、現代社会を構成し、安全を保障しながら社会を維持するために必要不可欠な材料群である。近年、建築構造物の巨大化や温暖化ガス排出抑制のための自動車等輸送機器の軽量化のため、構造用金属材料にはかつてない超高強度が求められるようになっている。一方、地震などの災害や事故時に脆く崩れないような十分な靱性や、部材に加工するための大きな延性も、構造用金属材料には要求される。しかし一般的に全ての材料において強度を増すと延性・靱性は低下する。このジレンマを克服し、超高強度と大きな延性・靱性を両立するための新しい学理を解明し、革新的な構造用金属材料を創製することが最も重要な課題である。飴山が開発した調和組織材料に代表される、硬質ドメインと軟質ドメインから構成されるヘテロナノ組織材料は、強度と延性のトレードオフを克服する可能性を持つ有力な材料であり、本共同研究の成果は持続可能な社会の発展のために貢献できる。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

COVID-19 パンデミックのため、互いを訪問するなどの物理的な国際交流は大きく制御された。一方、3研究室の若手研究者の交流を主眼としたオンラインシンポジウム・STINT-JSPS International Symposium for Young Researchers を3年間継続的に行うなど、オンライン会議を利用した交流と共同研究打合せ・議論を活発に行うことができた。こうした活動により、博士後期課程を主体とする大学院生やポスドク研究員などの若手研究者の国際感覚を顕著に育成することができた。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

辻、飴山、ORLOV は本プロジェクトが開始する以前から共同研究を進めており、本プロジェクトの活動で重要な研究成果を得ることができたことから、さらに共同研究を発展させる予定である。また本プロジェクトの活動に参画した若手研究者が、共同研究に参画したり、また知り合った研究者間で個別に国際共同研究を開始するといった展開が考えられる。

(7)その他(上記(2)~(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

【受賞】

✓ 吉田周平：京都大学・工学研究科吉田研究奨励賞、2020年10月16日

- ✓ 岡田和歩:京都大学・工学研究科吉田研究奨励賞、2021 年 7 月 5 日
- ✓ 吉田周平:井上研究奨励賞、2022 年 2 月 4 日
- ✓ 辻 伸泰:第 61 回日本金属学会・谷川・ハリス賞、2022 年 3 月 15 日
- ✓ 辻 伸泰:本多記念会・第 19 回本多フロンティア賞、2022 年 5 月 27 日
- ✓ 益野 颯仁, 川畑 美絵, 藤原 弘, 山末 英嗣, 飴山 恵:粉体粉末冶金協会 2021 年度秋季大会優秀講演発表賞、2021 年 11 月 9 日