

## 二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月21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]

立命館大学 理工学部

[職・氏名]

教授・飴山 恵

[課題番号]

JPJSBP 120197427

1. 事業名 相手国: 中国 (振興会対応機関: NSFC) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) ヘテロ構造金属材料の組織制御ならびに力学特性の解明

(英文) Study on microstructure and mechanical properties of heterogeneous metallic materials

3. 共同研究実施期間 2019年4月1日 ~ 2023年3月31日 (4年0ヶ月)【延長前】 2019年4月1日 ~ 2021年12月31日 (2年9ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Kunming University of Science and Technology, Professor, Xinkun Zhu

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		3,680,936 円
内訳	1年度目執行経費	1,402,501 円
	2年度目執行経費	1,425,000 円
	3年度目執行経費	853,435 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	6名
相手国側参加者等	8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	3		2(2)
2年度目			( )
3年度目			( )

\* 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)

社会基盤の骨格とも言える構造用金属材料には、「強さとしなやかさ(ねばさ)」、すなわち、強度と延性が同時に要求される。しかし、高強度と高延性の両者を同時に満足するようなことは一般には起こらず、自動車や飛行機などを始めとした輸送機器材料や橋や建物など構造材料として利用するには特別な処理や工夫が必要になり、金属材料の研究開発がどうしても必要とされる所以となる。

本研究交流事業では、上記の強さとしなやかさを兼ね備える構造用金属材料の創製を両者の協力により進めることを目的とし、日本側研究グループでは「調和組織材料」、一方、中国側研究グループでは「表面超強加工ヘテロ材料」に着目し、共同実験ならびに討論・情報交換を通じて研究を進めた。

コロナ禍により相互訪問ができなくなった状況では、Zoom、電子メール等を活用して情報交換を行い、双方で共通実験試料を作製するなどの手立てを取り、研究交流を進めた。

コロナ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双方の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)

本研究交流により得られた重要な知見は、マイクロとマクロの重畳効果、すなわち、シナジー効果が構造材料の強さとしなやかさを決定していることを明らかにしていることである。従来の構造材料開発では、材料内部の微細構造をより均一に制御することのみが注視されてきたが、本研究交流では、相互の「調和組織材料」、「表面超強加工ヘテロ材料」のいずれにおいてもマイクロとマクロのシナジーが構造材料創製において極めて重要であることを見出した。この成果は今後の構造材料開発の新しい視点として非常に意義のあるものである。

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、ヘテロ構造のシナジー効果の根源である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)

本研究交流事業では、ヘテロ構造制御という共通の概念の下でそれぞれが保有する材料創製技術を駆使し、研究を推進した。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31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多くの成果発表を行うことができた。お互いに異なる手法を用いた研究であったが、シナジー効果が共通の材料創製のための概念として重要であることが明らかになったことは大きな成果である。相互の研究アイデアを共有し交流することで、学術論文等の成果発表ができたことは有意義であった。また、情報交換を密に行うことで研究に停滞が生じないように工夫することで、相互に大きなメリットがあったと考えられる。コロナ禍により相互訪問が不可能となった状態であっても研究交流が可能であることが確認されたことは大きな成果と言える。

### (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きている。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。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。本研究交流によって見出されたシナジー効果による新たな高性能構造材料設計指針は、信頼性の高い構造材料の創製に大きな意義を持つだけでなく、省資源、省エネルギーに直結することから、社会的貢献が大きいと言える。

(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)

本研究交流を通じて、双方で博士学位取得に向けた若手人材育成ができた。現在、日本側では2名の博士後期課程学生が学位論文を準備中である。さらに、本研究交流での研究テーマに繋がる研究を15名の修士課程学生が論文を作成した。また、若手ホスト研究者による研究発表も活発に行われた。

(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)

双方の共通認識としてのシナジー効果は、本研究交流に関わっていない他の多くの研究者に影響を及ぼし、この研究分野の活性化に繋がると期待できる。実際に、米国 TMS 学会の年次大会ではヘテロ構造材料のセッションが設けられ、招待講演等を行った。

本研究交流により、当該研究領域の一層の発展が期待できると考えている。実際に、本研究交流に連動して、インド、香港、仏、スウェーデン、伊等の研究者との交流が活発になった。

(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

昆明理工大学とはすでに大学間協定を結んでいるが、他の研究機関との交流協定締結や更新が予定されている。さらに、本研究交流で明らかとなった知見を基に、社会実装可能な構造材料創製に向けた準備を進めている。そのための特許申請も準備中である。

益野 颯仁, 川畑 美絵, 藤原 弘, 山末 英嗣, 鮎山 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