

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月14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]
長岡技術科学大学・技学研究院・物質生物系
[職・氏名]
教授・石橋 隆幸
[課題番号]
JPJSBP 120208805

1. 事業名 相手国: 韓国 (振興会対応機関: NRF)との共同研究

2. 研究課題名

(和文) ビスマス置換磁性ガーネットを用いたマイクロ波イメージングシステムの開発

(英文) Development of microwave imaging system using bismuth-substituted magnetic garnet

3. 共同研究実施期間 2020年4月1日 ~ 2023年3月31日 (2年0ヶ月)【延長前】 2020年4月1日 ~ 2022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】)

Sogang University・Professor・Kiejin Lee

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		2,280,000 円
内訳	1年度目執行経費	1,140,000 円
	2年度目執行経費	1,140,000 円
	3年度目執行経費	0 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	14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	0	0(0)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	2	0	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、これまで磁気イメージングの分野において未踏の領域であるマイクロ波の可視化を実現する革新的磁気イメージング技術を開発することを目的とする。具体的には、本研究申請者の石橋が得意とする磁気光学イメージング技術と、韓国側代表の李基鎮の得意とするマイクロ波の計測技術を融合させ、第5世代移動通信システム(5G)に用いられる5～10GHzをターゲットとした、マイクロ波イメージング技術を実現する。本研究の具体的な項目は、高周波磁場測定用ガーネット膜の開発、ガーネット膜の高周波特性の評価、高周波磁場イメージング技術の開発の3つである。

初年度は、マイクロ波イメージングに適したビスマス置換磁性ガーネット膜の開発、ESRを用いた強磁性共鳴の測定による作製したビスマス置換磁性ガーネット膜の高周波特性の評価、高周波磁場イメージングのための計測システムの構築を行う計画を立てた。そして、ソガン大学におけるマイクロ波技術の習得と磁気イメージングへの応用を目指し、日本側から7名のメンバーが複数回渡航する他、長岡技科大におけるガーネットの成膜技術および磁気イメージング技術の習得と理解のため、ソガン大学から李教授、研究員及び学生を複数回受け入れる予定であった。しかし、当初の想定に反し、新型コロナウイルス感染症の拡大が収まらず、渡航できなかった。その後、委託期間が令和4年3月まで延長されたが、引き続き新型コロナウイルス感染症の影響により、渡航ができなかった。そのため、長岡技科大において、高周波磁場測定用ガーネット膜の開発に注力した。双方の研究進捗状況については、オンライン会議の開催により、研究に関するディスカッションおよび情報交換を行った。3年度目については、後半に日本-韓国間の渡航条件が緩和されたことから、日本側から2名が12月に韓国に渡航しマイクロ波測定に関する共同実験と打合せを行った。また、2月には韓国から1名が来日し、マイクロ波測定に関する共同実験と打合せを行った。

(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)

本研究で目的とした、5～10GHzのマイクロ波イメージング技術は、第5世代移動通信システム(5G)に用いられる周波数である。現在、この周波数の磁気イメージング技術は未開拓であり、この技術の実現は発展途上にある5G技術の研究開発に大きく貢献できるものである。日本側の研究グループの得意とする磁気光学イメージング技術と、韓国側代表の李基鎮の得意とするマイクロ波の計測技術の融合に関する研究については、コロナ渦の影響のため共同実験を行うことが困難であったが、磁気イメージングに用いるビスマス置換磁性ガーネット材料の開発と高周波特性の評価に関する研究を進展させた。

ビスマス置換磁性ガーネットの高周波特性に大きく関係すると考えられている希土類元素の種類を変化させたビスマス置換磁性ガーネット薄膜の作製を行い、その磁気特性および磁気光学特性の評価を行った。その結果、これまでに実績のあるY、Ndに加えて、Pr、Sm、Euを用いた高ビスマス置換量のビスマス置換磁性ガーネット薄膜の作製に成功した。そして、希土類元素を変えた場合、磁気光学特性は同程度に保ったまま、磁化の大きさおよび磁気異方性を変化させることが可能であることを確認した。さらに、Euを用いることによって、高周波イメージングに必要な磁気異方性、強磁性共鳴周波数の向上が実現できる可能性が高いことが明らかになった。今後は、希土類元素の選択に加えて、Feサイトを非磁性元素で置換することによる、強磁性共鳴周波数の向上を目指す。5～10GHzにおける磁気光学イメージング用材料の開発は、これまでに例がない、画期的な研究の進展である。

韓国側との共同実験は実現しなかったが、日本側で開発している磁気光学イメージング用材料の評価方法について、検討を重ねている。これまでに、ネットワークアナライザーを利用した強磁性共鳴の評価技術と磁気イメージング技術を組み合わせた技術開発について、議論を重ねている。渡航が再開されれば、本研究の目的

であるマイクロ波イメージング技術の実現に大きく近づくと考えられる。

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

韓国の李研究室との交流によって、日本側で開発している磁気光学イメージング用材料の評価方法について、明確な目標として掲げた 5 ~ 10 GHz の周波数帯の磁気イメージングを実現するための材料開発、磁気イメージング装置の構築について議論を重ねた。その結果、材料開発に関しては、ガーネット膜の組成を制御することによって、高周波特性を向上させることが可能であることを実験的に示すことができた。高周波特性の測定に関しては、日本側においても、基本的な高周波測定を行うために、周波数は 2GHz までであるが、強磁性共鳴測定装置を立ち上げることに成功した。この共同研究により、高周波測定に必要なマイクロストリップラインの設計と作製技術およびネットワークアナライザを用いた測定技術を学んだ。そして、実際に強磁性共鳴測定用のマイクロストリップラインを作製し、長岡技科大において、強磁性共鳴測定を実現することができた。

(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)

本研究で開発するマイクロ波イメージングシステムは、現代の情報社会の基盤となっている通信技術の一つである 5G 技術の研究開発に貢献する技術である。本共同研究では、5G 技術の諸問題を解決する計測技術を実現することを目標とし、高周波測定用ガーネット材料を開発するとともに、マイクロ波測定技術を進展させた。これらの成果は、今後、5G 技術に必要な不可欠な計測技術への展開が期待される。

(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)

本研究には、2名の教員の他、12名の大学院生が参加した。学生の内訳は、修士学生 11名、博士学生 1名である。学生が本研究に参加した。最終年度には、学生1名が韓国に渡航し、ソガン大学の李教授および研究員とともに共同実験を行った。また、李教授が長岡技科大で共同実験を行った。このような共同研究を実施できたことで、これまで関わってこなかったマイクロ波技術に興味を持ち、社会で使われているマイクロ波技術およびその計測技術を学ぶことができたことが大きな成果の一つである。また、外国の研究者との交流は、コミュニケーション技術の重要性、国際共同研究の重要性を理解することに繋がり、学生にとって大きな財産となった。その結果、2人が博士課程への進学を決めるなど、学生の研究に対する姿勢にも大きな変化が見られたことも大きな成果である。今後は、長岡技科大の修士課程における3ヶ月の海外インターンシップを行うプログラムであるリサーチインターンシップを利用した学生の派遣を積極的に進めていきたい。

(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)

本研究で開発するマイクロ波イメージング技術が確立されれば、その技術の社会実装を目指す。現在、ソガン大学の李教授は、マイクロ波測定部品のベンチャー企業を運営している。また、長岡技科大の石橋も磁気光学イメージング技術に関するベンチャー企業を立ち上げた。双方の研究者の起業経験を生かし、今回開発する技術を日本と韓国で社会実装して行きたい。

(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

現在、長岡技術科学大学石橋研究室とソガン大学李研究室は、研究室間交流の学术交流協定を提携津しているが、今後、大学間協定への格上げを行うための検討を行っている。これまでに、長岡技科大のリサーチインターンシップ制度を利用した研究の交流実績はあるが、今後は、博士の共同教育プログラムなどへ発展させ

ていきたい。