

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月7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]

北海道大学電子科学研究所

[職・氏名]

教授・中村貴義

[課題番号]

JPJSBP 120197402

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) 強誘電性を基礎とした新規分子性複合材料の開拓

(英文) Development of novel multifunctional molecular materials with ferroelectric properties

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～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】)

Nanchang University・Professor・Xiong Ren-Gen

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		4,252,500 円
内訳	1年度目執行経費	1,402,500 円
	2年度目執行経費	1,425,000 円
	3年度目執行経費	1,425,000 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	18名
相手国側参加者等	7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	7	0	1(0)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	0	0(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)

研究交流の目的

新奇な物質系を創製することに長けた日本側と、ありふれた物質を広く精査し、精密な物性測定を行うことで、高機能性強誘電体を開拓することに優れる中国側が、ベクトルを一にして、分子性強誘電体に関する強力な物質・材料開発体制を構築する。誘電性に磁性機能等がハイブリッドした新奇な物質系を開拓し、物性発現機序の解明と、有機エレクトロニクスへの応用に向けた物質開拓を行う。これまで培った共同研究体制をさらに強固なものとし、日中共同で強誘電体研究に新たな分野を切り開き、次代のリーダーとなるべき若手育成を図る。

実施状況

2019 年度については対面での交流を行うことができたが、それ以降はコロナ禍の影響で相互の渡航が事実上不可能になってしまった。特に 2020 年度は混乱を極め、結果として当初 2021 年 12 月までの計画を延長し 2023 年 3 月までの計 4 年間にわたり共同研究を実施することとなった。昨年度および本年度については Web 会議を最大限に活用し会議を開催した。昨年度については山口大学、今年度については高知大学を対面方式の会場に設定し、国内外を Web 形式でつなぐハイブリッドミーティングとした。いずれも日本側、中国側の関係者に加えて、主として中四国地方の大学からの参加者を加えて 100 名以上の規模の会議となった。双方の研究成果について活発な議論があり、研究の進捗に大きく寄与した。また、会議の中で学生の発表セッションを設け、多数の学生に発表機会を与えた。地方大学の参加を含め、当該分野の裾野を広げる意味でも有意義であった。共同研究については順調に進み、現在、論文投稿を準備している成果も複数挙がっている。また、中国側との共著論文として、“Organic Ferroelectric Vortex-Antivortex Domain Structure” Y. Y. Tang, Y. F. Xie, Y. Ai, W. Q. Liao, P. F. Li, T. Nakamura and R. G. Xiong, *J. Am. Chem. Soc.*, **142**, 21932-21937 (2020)を上梓した。

(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)

本研究を通じて分子性物質の特質を生かした、無機物質では実現が困難な、新たな誘電物性を実現することができた。

研究当初より進めていた、強固な骨格をもつ Polyoxometalate (POM) 内に多価イオンを導入し、骨格内の 2 サイト間でのイオン揺らぎに基づく強誘電性を示す系については、分子 1 個で強誘電性を示す単分子強誘電体 (Single Molecule Electret) として研究が発展し、さきがけや基盤 A の取得にもつながっている。また、ポリ擬ロタキサン構造を用い、一次元鎖単位で強誘電性を示す単 1 次元鎖強誘電体 (Single Chain Electret) の開拓にも成功した。磁性の分野ではここ 20 年来低次元磁性の研究が進み、単分子磁石 (Single Molecule Magnet) および単一次元鎖磁石 (Single Chain Magnet) の研究が隆盛をきわめている。我々の研究により、対応する低次元強誘電体の実現し、今後、低次元誘電体研究により新規物性の開拓が期待されるだけで無く、低次元磁性 X 低次元誘電性に基づく交差物性の実現に向け、大きな一歩が得られたことになる。

強磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック材料についても大きな成果が得られた。[MnCr(oxalate)₃]⁻二次元ハニカム構造の層間に分子ローター構造を導入した、(*o*-fluoroanilinium⁺)(benzo[18]crown-6)[MnCr(oxalate)₃]⁻結晶は空間群 Cc を有する強磁性体であるが、焦電流の反転から強誘電体であることが判明し、マルチフェロイックであることが証明された。この系は極めて設計性が高く、強磁性とリラクサー強誘電性との共存、傾斜強磁性と強誘電性との共存系が既に得られている。強磁場下の光学測定から磁性と誘電性の交差が証明されており、今後、分子性マルチフェロイックを代表する物質系として発展することが期待される。

中国側で進めている多軸性強誘電体については、その機序を含めて研究が進み、無機物質では実現しがたい物性として注目を集め、また日中での共著論文を上梓したことについては上記の通りである。

(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)

中国側は比較的単純な化合物に対し、高度な物性測定を施すことで、 BaTiO_3 (BTO)などの無機誘電体に匹敵する高い強誘電転移温度($T_c = 426 \text{ K}$)と巨大な自発分極($P_s = 23 \text{ } \mu\text{C}/\text{cm}^2$)を有する材料開発などを進めてきた。一方、日本側は超分子構造やポリオキシメタレートなど複雑な物質系を用いて、これまでに無い誘電物性を開拓している。今回の交流により、中国側でも超分子構造を用いた誘電体の開拓を始めるなど、物質の多様化が図られ、日本側では中国側の測定方法を参考により精密な物性評価を進めることができた。結果として、上記に示したような新規誘電体を多数見いだすことにつながった。

(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)

今回得られた単分子強誘電体、単一次元鎖強誘電体は誘電体の微細化に極めて有用である。誘電体の微細化により、高周波デバイス的高速化、電子機器の小型化、高密度メモリーの実現、高感度センサーの開発、高性能光デバイスの開発などが期待され、社会生活の質の向上に大きく貢献できる。

(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)

当該事業には日本側、中国側双方で直接的・間接的に多数の学生が関わり、多くの修士および博士を輩出した。特に、当初より関わっていた呉佳冰君は、2022年9月に北海道大学で学位を取得し、2023年4月より北海道大学電子科学研究所に助教として奉職することとなった。

また、若手研究者の対面およびWebを介しての交流は、今後、双方向での新たな共同研究の端緒になるものと期待している。当該事業以前に実施した2国間交流事業に端を発した共同研究は、当該事業にも引き継がれ、日本側、中国側いずれについても、当時若手研究者、学生であった人材が、当該事業ではそれぞれシニア研究者、若手研究者として参加している。今後も日中間での緊密な共同研究体制が継続するものと期待される。

(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)

項目(4)で述べたように、単分子強誘電体、単一次元鎖強誘電体は誘電体の微細化に極めて有用であり、実用化が期待される。実際、単分子強誘電体についてはNEDOのプロジェクトにより広島大学においてベンチャーを設立し、実用化に向けた事業が進められている。

(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

2019年10月に武漢紡織大学 化学・化学工学院と部局間交流協定を締結(北海道大学電子科学研究所・大学院環境科学院)