

様 式 Z - 7

平成 2 6 年度科学研究費助成事業 実績報告書 (研究実績報告書)

1. 機関番号

1	4	6	0	3
---	---	---	---	---

 2. 研究機関名 奈良先端科学技術大学院大学
3. 研究種目名 基盤研究(B) 4. 研究期間 平成 2 6 年度 ~ 平成 2 8 年度
5. 課題番号

2	6	2	8	7	0	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---
6. 研究課題名 磁気カイラルメタ物質を用いた光に対する人工的ゲージ場の創成

7. 研究代表者

研究者番号	研究代表者名	所属部局名	職名
9 0 3 6 0 5 9 4	トミタ サトシ 富田 知志	物質創成科学研究科	助教

8. 研究分担者

研究者番号	研究分担者名	所属研究機関名・部局名	職名
9 0 2 9 3 9 8 5	ウエダ テツヤ 上田 哲也	京都工芸繊維大学・工芸科学研究科	准教授
4 0 4 6 2 6 9 2	サワダ ケイ 澤田 桂	独立行政法人理化学研究所・放射光科学総合研究センター	特別研究員

9. 研究実績の概要

本研究では磁気カイラルメタ物質を用いて、光に対する人工的ゲージ場を創成することを目的としている。磁気カイラルメタ物質は、カイラル構造と磁性体を組み合わせた人工構造物質である。カイラル構造で空間反転対称性を破ると同時に、磁性体を用いて時間反転対称性を破ることで、屈折率が光の進行方向に依存する磁気カイラル効果が得られる。その結果、マイクロ波に対する実効的ローレンツ力やアハラノフ・ボーム効果が実現できると期待される。つまりマイクロ波に対する「磁場のようなもの」を人工的に創成することができる。このような研究は人工構造物によって光を自在に操る新たな手法をもたらす。さらにより広い観点からは、人工構造を用いて天然の物質を模倣し、越える、メタ固体物理学への道を拓くことが期待される。

平成26年度は導波管を用いたマイクロ波測定で、磁気カイラルメタ物質を構成する単一の磁気カイラルメタ分子について詳細に調べた。メタ分子の構造や配向、磁場の大きさや向きなどを細かく変化させて磁気カイラル効果を詳細に測定した。更に解析計算と数値計算も行った。その結果、共鳴的光学活性の周波数（約10GHz）では、200mTの磁場を加えると表と裏の屈折率差にして10の-3乗から10の-2乗という、巨大な磁気カイラル効果が得られていることが明らかになった。

またこの銅ワイヤとフェライトロッドにより構成されるメタ分子のみならず、強磁性金属薄膜の自己巻き上げ法を用いて作製したマイクロサイズのカイラル構造の、磁気共鳴などのマイクロ波応答について調べた。これらの研究を通じて、より巨大な磁気カイラル効果を示すメタ分子を探索した。

更に磁気カイラルメタ分子により構築される磁気カイラルメタ物質の自由空間でのマイクロ波応答（放射パターン）測定、及びそれによるマイクロ波に対する実効的ローレンツ力の観測に向けた測定系の構築も始めた。

10. キーワード

- (1) メタマテリアル (2) カイラリティ (3) 磁性体 (4) 光学活性
 (5) 磁気光学効果 (6) 磁気カイラル効果 (7) 人工的ゲージ場 (8) メタ固体物理学

(注) ・印刷に当たっては、A 4 判 (縦長) ・両面印刷すること。

(1 / 9)

11. 現在までの達成度

(区分)(2) おおむね順調に進展している。

(理由)

単一メタ分子の磁気カイラル効果の実験を行った結果、共鳴的光学活性の周波数(約10GHz)では、200mTの磁場を加えると表と裏の屈折率差にして 10^{-3} から 10^{-2} という、巨大な磁気カイラル効果が得られていることが明らかになった。これは単一のメタ分子による効果であり、メタ分子を並べてメタ物質を構築することで、更に巨大な効果が得られると期待される。今後の自由空間での光に対する実効的ローレンツ力の観測、そして最終的な人工的ゲージ場の創成にとって重要な進展である。更に磁気カイラルメタ物質の自由空間でのマイクロ波応答(放射パターン)測定系の構築、予備実験も既に開始している。また強磁性金属薄膜の自己巻き上げ法を用いて作製したマイクロサイズのカイラル構造についても磁気共鳴などマイクロ波応答を調べ、特徴的な磁気共鳴信号を得た。

12. 今後の研究の推進方策 等

(今後の推進方策)

今後は、これまでに調べた磁気カイラルメタ分子を用いて、磁気カイラルメタ物質を構築する。不均一な磁気カイラルメタ物質に外部直流磁場を加え、自由空間でのマイクロ波の放射パターンの測定を行う。光に対して実効的ローレンツ力が発生すると、マイクロ波が透過するとき曲げられると期待される。そして磁場の方向を反転させると、マイクロ波が曲がる方向も反転するはずである。測定系は現時点では自由空間を予定しているが、平行平板導波路など最適な測定系への改良も適宜行う。また強磁性金属の自己巻き上げ法を用いて作製したマイクロサイズのカイラル構造など、他の試料のオプションも常に検討する。これらの研究によって、更に巨大な磁気カイラル効果と光に対する実効的ローレンツ力が得られるメタ物質を探索する。得られた実験結果を基にして、マイクロ波に対する実効的ローレンツ力を理論的に考察する。特に光のベリー位相理論を用いて、光に対する人工的な磁場やベクトルポテンシャルに関する理解を深める。そして光に対する人工的ゲージ場の創成を成し遂げる。

(次年度使用額が生じた理由と使用計画)

(理由)

電磁界シミュレーション用の計算機とソルバを導入予定であったが、共同研究者の計算機とソルバで十分な結果が得られたため執行を取り止めた。

(使用計画)

マイクロ波に実効的ローレンツ力を発生させる磁気カイラルメタ物質には、均一かつ大量の磁気カイラルメタ分子が必要であるため、その準備に一部使用する。またマイクロ波測定系の改良の為に新たなホーンアンテナや、更なる高周波での磁気カイラル効果の観察の為に光学系の準備にも使用する計画である。

13.研究発表(平成26年度の研究成果)

(雑誌論文) 計(1)件 うち査読付論文 計(1)件

著者名		論文標題			
Satoshi Tomita, Kei Sawada, Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda		Direct Observation of Magnetochiral Effects through a Single Metamolecule in Microwave Regions			
雑誌名	査読の有無	巻	発行年	最初と最後の頁	
Physical Review Letters	有	113	2014	235501	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)					
10.1103/PhysRevLett.113.235501					

(学会発表) 計(22)件 うち招待講演 計(12)件

発表者名		発表標題	
児玉俊之、富田知志、細糸信好、柳久雄		強磁性金属カイラルメタ分子の作製とマイクロ波応答	
学会等名	発表年月日	発表場所	
電気学会 センサ・マイクロマシン部門(E部門) 平成26年度総合研究会	2014年05月27日	東京大学生産技術研究所(東京都目黒区)	

発表者名		発表標題	
Satoshi Tomita		Meta-Molecules with Chirality and Magnetism	
学会等名	発表年月日	発表場所	
International Conference on Computational and Experimental Engineering and Sciences 2014(招待講演)	2014年06月13日	Changwon (Korea)	

発表者名		発表標題	
Satoshi Tomita		Microwave Responses of Meta-Molecules with Magnetism and Chirality	
学会等名	発表年月日	発表場所	
Moscow International Symposium on Magnetism 2014(招待講演)	2014年07月03日	Moscow (Russia)	

発表者名	発表標題	
Toshiyuki Kodama, Satoshi Tomita, Hosoi Nobuyoshi, Hisao Yanagi	Spin-wave resonance in arrays of chiral meta-molecules of ferromagnetic-metal	
学会等名	発表年月日	発表場所
8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics	2014年08月25日	Copenhagen (Denmark)

発表者名	発表標題	
富田知志、澤田桂、ポロフニク・アンドレイ、上田哲也	フェライトと銅カイラル構造を組み合わせたメタ分子による磁気カイラル効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
第38回 日本磁気学会学術講演会	2014年09月02日	慶應義塾大学(神奈川県横浜市)

発表者名	発表標題	
児玉俊之、富田知志、澤田桂、細系信好、柳久雄	強磁性金属カイラルメタ分子における磁気共鳴	
学会等名	発表年月日	発表場所
第38回 日本磁気学会学術講演会	2014年09月03日	慶應義塾大学(神奈川県横浜市)

発表者名	発表標題	
富田知志、澤田桂、ポロフニク・アンドレイ、上田哲也	カイラリティと磁性を併せ持つメタ分子によるマイクロ波領域での磁気カイラル効果	
学会等名	発表年月日	発表場所
第75回 応用物理学会秋季学術講演会	2014年09月19日	北海道大学(北海道札幌市)

発表者名	発表標題	
Toshiyuki Kodama, Satoshi Tomita, Kei Sawada, Nobuyoshi Hosoito, Hisao Yanagi	Fabrication and magnetic resonance of ferromagnetic chiral meta-molecules	
学会等名	発表年月日	発表場所
第75回 応用物理学会秋季学術講演会	2014年09月20日	北海道大学(北海道札幌市)

発表者名	発表標題	
富田知志	磁性とカイラリティをもつメタマテリアルで光を曲げる	
学会等名	発表年月日	発表場所
第22回 日本磁気学会 光機能磁性デバイス・材料専門研究会(招待講演)	2014年10月10日	中央大学駿河台記念館(東京都千代田区)

発表者名	発表標題	
Satoshi Tomita	Meta-molecules with chirality and magnetism for microwaves	
学会等名	発表年月日	発表場所
2014 VIETNAM-JAPAN MICROWAVE(招待講演)	2014年11月25日	Hanoi (Vietnam)

発表者名	発表標題	
Satoshi Tomita	Meta-molecules with chirality and magnetism	
学会等名	発表年月日	発表場所
2014 THAILAND-JAPAN MICROWAVE(招待講演)	2014年11月28日	Bangkok (Thailand)

発表者名	発表標題	
富田知志、澤田桂、永井翔太郎、上田哲也、真田篤志	カイラルメタ原子を用いた光のシュテルン・ゲルラッハ実験	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会 第70回年次大会	2015年03月21日	早稲田大学(東京都新宿区)

発表者名	発表標題	
児玉俊之、富田知志、加藤剛志、岩田聡、細糸信好、柳久雄	単一パーマロイカイラルメタ分子における強磁性共鳴と磁化測定	
学会等名	発表年月日	発表場所
日本物理学会 第70回年次大会	2015年03月21日	早稲田大学(東京都新宿区)

発表者名	発表標題	
富田知志	メタマテリアルで光を操る	
学会等名	発表年月日	発表場所
平成27年 電気学会 全国大会 シンポジウム(招待講演)	2015年03月25日	東京都市大学(東京都世田谷区)

発表者名	発表標題	
Andrey Porokhnyuk, Tetsuya Ueda, Yu Tsukamoto, Satoshi Tomita, Kei Sawada	Consideration of resonance in helical chiral meta-molecule	
学会等名	発表年月日	発表場所
電子情報通信学会ソサイエティ大会	2014年09月24日	徳島大学(徳島県徳島市)

発表者名	発表標題	
澤田桂、富田知志、アンドレイ・ポロフニョク、上田哲也	磁気カイラルメタ分子の電磁応答	
学会等名	発表年月日	発表場所
第4回光科学異分野横断萌芽研究会	2014年08月06日	小川屋(岐阜県・下呂市)

発表者名	発表標題	
Kei Sawada	Geometrical aspects of optical waves in phase space	
学会等名	発表年月日	発表場所
The 5th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META14)(招待講演)	2014年05月23日	Singapore

発表者名	発表標題	
Kei Sawada	Geometrical properties of electromagnetic waves in metamaterials	
学会等名	発表年月日	発表場所
International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences (ICCES'14)(招待講演)	2014年06月13日	Changwon (Korea)

発表者名	発表標題	
澤田桂	次世代コヒーレンス技術のためのX線光学理論	
学会等名	発表年月日	発表場所
第6回日本放射光学学会若手研究会(招待講演)	2014年08月23日	SACLA(兵庫県佐用郡)

発表者名	発表標題	
澤田桂	CRLHメタマテリアルにおけるベリー位相	
学会等名	発表年月日	発表場所
電気情報通信学会マイクロ波研究会(招待講演)	2014年09月18日	東京工業大学(東京都目黒区)

発表者名	発表標題	
Kei Sawada	Geometrical properties of electromagnetic waves in CRLH metamaterials	
学会等名	発表年月日	発表場所
2014 Vietnam-Japan Microwave (VJMW2014)(招待講演)	2014年11月25日	Hanoi (Vietnam)

発表者名	発表標題	
Kei Sawada	Berry phase theory of transmission line	
学会等名	発表年月日	発表場所
2014 Thailand-Japan Microwave (TJMW2014)(招待講演)	2014年11月28日	Bangkok (Thailand)

〔図書〕計(0)件

著者名	出版社	
書名	発行年	総ページ数

14.研究成果による産業財産権の出願・取得状況

(出願) 計(0)件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	出願年月日	国内・外国の別

(取得) 計(0)件

産業財産権の名称	発明者	権利者	産業財産権の種類、番号	取得年月日	国内・外国の別
				出願年月日	

15.備考

富田知志オンライン

<http://mswebs.naist.jp/LABs/optics/tomita/jpn/index.j.htm>