

様式6 (第15条第1項関係)

平成29年 3月 31日

独立行政法人  
日本学術振興会理事長 殿

研究機関の設置者の所在地	〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1	
研究機関の設置者の名称	国立大学法人豊橋技術科学大学	
代表者の職名・氏名	学長 大西 隆 (記名押印)	
代表研究機関名 及び機関コード	豊橋技術科学大学	13904

平成28年度戦略的国際研究交流推進事業費補助金  
実績報告書

戦略的国際研究交流推進事業費補助金取扱要領第15条第1項の規定により、実績報告書を提出します。

整理番号	R2802	補助事業の 完了日	平成29年 3月31日	関連研究分野 (分科細目コード)	5602
補助事業名 (採択年度)			補助金支出額 (別紙のとおり)		
光・電磁波制御を目指したナノスケール人工磁気格子の創成とデバイス化 (平成28年度)			24,450,000円		
代表研究機関以外の協力機関					
海外の連携機関 Massachusetts Institute of Technology、The City University of New York、 University of Erlangen-Nuremburg、University of Stuttgart					
1. 事業実施主体					
フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名	専門分野	
主担当研究者 ウチダ ヒロナガ 内田 裕久	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	教授	磁気光学材料、 デバイス化	
担当研究者 イノウエ ミツテル 井上 光輝	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	教授	磁気光学、磁性 材料、デバイス 化	
マツダ アツノリ 松田 厚範	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	教授	酸化物材料、溶 液プロセス	
ワカハラ アキヒロ 若原 昭浩	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	教授	半導体工学、 光・電子集積回 路工学	
ナカムラ ユウイチ 中村 雄一	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	准教授	電気・電子材料 、磁性材料	

リム パン ボイ Lim Pang Boey	豊橋技術科学大学	国際教育センター	准教授	磁気光学、磁性材料 結晶成長、半導体デバイス工学 半導体工学、結晶工学 酸化物材料、溶液プロセス
セキグチ ヒロト 関口 寛人	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	准教授	
ヤマネ ケイスケ 山根 啓輔	豊橋技術科学大学	大学院工学研究科	助教	
タン ワイ キアン Tan Wai Kian	豊橋技術科学大学	国際教育センター	特任助教	
計 9 名				

フリガナ 連絡担当者	所属部局・職名	連絡先（電話番号、e-mailアドレス）
スズキ モエ 鈴木 萌	国際課国際企画係・係員	0532-44-6571、 kouryu@office.tut.ac.jp

※2頁以降は、交付決定を受けた時点の事業計画の項目に合わせて必要に応じて修正すること。

## 2. 本年度の実績概要

豊橋技術科学大学(以下 TUT)において、相分離型マルチフェロイック薄膜材料・構造の検討に関して、海外連携機関のマサチューセッツ工科大学(以下 MIT)の Caroline A. Ross 教授のグループで提案されたものと同様の強磁性体を強誘電体に埋め込んだ柱状構造について、強磁性体の幅、間隔、長さをパラメータとして、有限要素法を用いた応力解析を実施した。その結果、強磁性体の長さが幅よりも大きくなる条件において、強磁性体の断面に一樣な応力が印加可能であることがわかり、さらに長さが幅の2倍以上のアスペクト比の大きな細長い構造で長さ方向にも一樣な応力分布が得られる領域が得られることがわかった。ただし長さ(膜厚)が厚くなるほど、同じ電圧で印加できる電界が小さくなり応力は低下するため、印加電圧と応力のバランスが重要となることも明らかになった。また微細加工プロセスによる複合膜形成とその基礎特性評価に関する検討を行った。強誘電体としてチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)の有機金属体積法(MOD法)による形成条件について検討し、良好なP-E特性の得られる作製条件を得た。それを踏まえ、スパッタ法により作製した多結晶磁性ガーネット(Bi:RIG)膜を電子線描画法によりパターンニングした後に、湿式エッチングにより数 $\mu\text{m}$ 角の強磁性体柱を形成し、PZT相をMOD法により柱の間に埋め込む手法により複合膜を形成して、特性の評価を行い、PZTとBi:RIGの複合膜が形成できていることを確認するとともに、絶縁破壊することなく誘電特性が得られることを確認した。

またTUTにおいて、溶液法により人工磁気格子を作製するための重要な要素技術である、多孔体への電気泳動堆積法によるナノ粒子導入に関する検討を行った。具体的には、 $\text{TiO}_2$ ナノチューブアレイに、Agナノ粒子を電気泳動堆積させる手法について検討し、ナノチューブの底部までAgナノ粒子が到達し堆積する条件を見出した。さらに人工磁気格子の鑄型となる、 $\text{TiO}_2$ および $\text{BaTiO}_3$ のナノチューブアレイを陽極酸化と水熱処理により合成するプロセスの開発を行った。まず、Ti基板を適切な条件で陽極酸化することで、 $\text{TiO}_2$ ナノチューブアレイを合成し、条件を制御することでチューブの寸法や不純物である炭素の含有量を制御することに成功した。さらに炭素含有量を大幅に低減した $\text{TiO}_2$ ナノチューブアレイを用いて、Baイオンを含む水溶液中で水熱処理を施すことで、ナノチューブアレイ形状を保ったまま $\text{BaTiO}_3$ ナノチューブアレイを作製することに成功した。

海外派遣による共同研究実績として、後藤助教が、MITのCaroline A. Ross教授の研究室に2016年11月21日から2017年2月4日まで76日滞在し、相分離マルチフェロイック材料の開発に関して、パルスレーザー堆積装置など現地の装置の使用法の習得及び安全講習等の実験に必要な環境を整えた。その後、磁性酸化物材料であるイットリウム鉄ガーネット(YIG)と、チタン酸バリウム( $\text{BaTiO}_3$ )との複合膜の形成を、パルスレーザー堆積法を用いて行い、膜の組成や磁化特性を調査した。

高木准教授は、ニューヨーク市立大学のAlexander B. Khanikaev准教授の研究室に2017年1月24日から2017年3月28日まで64日滞在し、メタマテリアル人工磁気格子の理論設計に関して、マトリクスアプローチ法および有限要素法を用いた数値計算によるメタマテリアル人工磁気格子材料の設計を行った。計算結果から、左右伝搬方向で

透過率が異なる非相反性が得られる構造を設計することができた。またこの設計を踏まえ、設計した構造を実際に作製するのに必要な材料を準備した。

河村助教は、FAU エアランゲン・ニュルンベルク大学の Aldo R. Boccaccini 教授の研究室に、2017年1月31日から2017年3月31日まで60日滞在し、電気泳動堆積法を用いた人工磁気格子作製に関して、電気泳動堆積させるための磁性ナノ粒子の液相合成を実施し、その合成プロセスを確立するとともに、磁性ナノ粒子の電気泳動堆積を実施して堆積条件について検討をおこなった。

### 3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

(1) 相分離型マルチフェロイック薄膜材料・構造の検討について、当初予定していた、有限要素法を用いた応力解析に関して、アスペクト比の大きな磁性体を強誘電体内に埋め込む構造が適することを明らかにできた。また複合材として使用する材料検討に関して、強誘電体、強磁性体それぞれの試料の形成を行い、複合化する予定である YIG 膜と BT0 膜について、それぞれ PLD 法による単結晶化を確認することができた。また、それらの磁化特性や表面粗さなど、想定された値を示した。また多結晶の YIG と PZT 膜を用いた微細加工プロセスによる複合膜の形成もでき、その基礎特性の評価も進めている。これらの進捗は当初計画通りである。

(2) GHz 帯メタマテリアル人工磁気格子材料・構造の検討について、当初の予定通り、その構造設計を数値シミュレーションにより行い、非相反性が得られる構造を設計することができた。また、設計した材料を実際に作製するために必要な材料を準備した。これらの進捗は当初計画通りである。

(3) 溶液法を用いた低コスト人工磁気格子創成プロセスの開発について、その最も重要な技術の 1 つである、陽極酸化法と水熱処理を組み合わせた  $\text{BaTiO}_3$  ナノチューブアレイの作製に成功し、また多孔体へのナノ粒子の電気泳動堆積に関する基礎的かつ重要な知見を得ることができた。さらに溶液法による磁性ナノ粒子の作製条件についても確立することができた。これらの進捗は当初計画通りである。

以上より、本年度予定していた計画は達成できたといえる。

#### 4. 日本側研究グループ（実施主体）の研究成果発表状況（本年度分）

##### ①学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文又は著書

論文名・著書名 等	
<p>（論文名・著書名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・査読がある場合、印刷済及び採録決定済のものに限って記載して下さい。査読中・投稿中のものは除きます。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・著者名について、責任著者に「※」印を付して下さい。また、主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については <u>下線</u>、若手研究者については <u>波線</u> を付して下さい。</li> <li>・海外の連携機関の研究者との国際共著論文等には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共著論文等については番号の前に「○」印を付して下さい。また、主要連携研究者については <u>斜体・太下線</u>、連携研究者については <u>斜体・破線</u> として下さい。</li> </ul>	
1	
2	
3	
4	
5	

##### ②学会等における発表

発表題名 等	
<p>（発表題名、発表者名、発表した学会等の名称、開催場所、口頭発表・ポスター発表の別、審査の有無、発表年月（西暦）について記入して下さい。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発表者名は参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること。共同発表者がいる場合は、全ての発表者名を記載し、責任発表者名は「※」印を付して下さい。発表者名について主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については <u>下線</u>、若手研究者については <u>波線</u> を付して下さい。</li> <li>・口頭・ポスターの別、発表者決定のための審査の有無を区分して記載して下さい。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・海外の連携機関の研究者との国際共同発表には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共同発表については番号の前に○印を付して下さい。また、主要連携研究者については <u>斜体・太下線</u>、連携研究者については <u>斜体・破線</u> として下さい。</li> </ul>	
1	UV-Vis-NIR light-responsive high-efficient plasmonic photocatalyst composed of TiO <sub>2</sub> and Au nanoparticles、※Go Kawamura、BIT' s 3 <sup>rd</sup> Annual World Congress of Smart Materials-2017、Bangkok、Thailand、Oral presentation、Invited、2017. 3. 16.
2	陽極酸化法および水熱合成法による BaTiO <sub>3</sub> ナノチューブアレイの作製、※大浦健太郎、Wei Xing、河村剛、武藤浩行、松田厚範、日本セラミックス協会 2017 年年会、日本大学駿河台キャンパス、ポスター発表、審査なし、2017. 3. 17.
3	
4	
5	

## 5. 若手研究者の派遣実績（計画）

### 【海外派遣実績（計画）】

年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
派遣人数	3 人	4 人 ( 3 人)	4 人 ( 4 人)	4 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

### 【本年度の海外派遣実績】

派遣者①の氏名・職名：後藤 太一・助教

<p>（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動） 相分離型マルチフェロイック薄膜材料の作製と評価</p> <p>（具体的な成果） 強磁性体であり、大きな磁気光学効果をもつイットリウム鉄ガーネットと強誘電性をもつチタン酸バリウムをそれぞれ多結晶、単結晶で形成できる条件を明らかにした。</p>				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
アメリカ合衆国・ケンブリッジ、マサチューセッツ工科大学、材料科学工学科、C. A. Ross 教授	76 日	140 日	100 日	316 日

派遣者②の氏名・職名：高木 宏幸・准教授

<p>（当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動） メタマテリアル人工磁気格子材料の作製と評価</p> <p>（具体的な成果） メタマテリアル人工磁気格子材料をマトリックスアプローチ法、あるいは有限要素法を用いた数値計算で設計し、非相反性に起因する伝搬方向に対する透過率の違いが得られる構造を求めた。また、作製に必要な材料を準備した。</p>				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
アメリカ合衆国・ニューヨーク、ニューヨーク市立大学、物理学科、A. Khanikaev 准教授	64 日	100 日	140 日	304 日

派遣者③の氏名・職名：河村 剛・助教

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動) ゴルゲル法および電気泳動体積法を用いた組織制御による低コスト AML 複合膜の組織制御法の開発 (具体的な成果) 電気泳動堆積させるための磁性ナノ粒子の液相合成を実施し、多様な磁性ナノ粒子の合成プロセスを確立した。また磁性ナノ粒子の電気泳動堆積を実施し、堆積条件(電圧、電流、電極寸法、電極間距離、温度、サスペンション濃度、溶媒組成など)を抽出した。				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
ドイツ・エアランゲン、FAU エアランゲン・ニュルンベルク大学、材料科学工学科、A. R. Boccaccini 教授	60 日	150 日	100 日	310 日

※本年度の派遣者毎に作成すること。

## 6. 研究者の招へい実績(計画)

### 【招へい実績(計画)】

年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
招へい人数	1 人	6 人 ( 1 人)	6 人 ( 6 人)	6 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

### 【本年度の招へい実績】

招へい者⑥の氏名・職名：Inga A. Fischer 上級研究員

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動) 人工磁気格子構造体の作製法の開発とドライブ用デバイスの形成 (具体的な成果) MOS トランジスタの形成、基板張り合わせ技術、および異なる機能デバイスがあるときの熱処理法について議論し、人工磁気格子と MOS デバイスとの複合構造について検討した。また異種材料からなる周期構造体の形成法について幾つかの可能性を提案し、今後の研究の進め方について議論した。				
招へい元(機関名、部局名、国名)及び 日本側受入研究者(機関名)	招へい期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
シュトゥットガルト大学、コンピュータサイエンス・電気工学および情報技術学科、ドイツ、若原 昭浩(豊橋技術科学大学)	8 日	7 日	7 日	22 日

※本年度の招へい者毎に作成すること。

## 7. 翌年度の補助事業の遂行に関する計画

※ 補助事業が完了せずに国の会計年度が終了した場合における実績報告書には、翌年度の補助事業の遂行に関する計画を附記すること。