

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：25503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05136

研究課題名（和文）未利用熱有効利用に向けたクラスレートハイブリッド熱電変換材料の創製

研究課題名（英文）Creation of Clathrate Hybrid Thermoelectric Materials for Effective Utilization of Unused Heat

研究代表者

阿武 宏明（Anno, Hiroaki）

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：60279106

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ホストとゲストの原子間結合およびホストの原子間結合の二つの異なる化学結合性が内在した特異な物質系であるクラスレート熱電変換材料における熱電物性の理解を深め高い熱電性能に繋がる元素置換に関する新たな知見を得た。そして、クラスレート/異種半導体のミスフィット界面における電子輸送特性の調査を実施し、ならびにクラスレート/異種半導体のハイブリッドを作製し、その熱電特性を実験的に明らかにした。これらから、ミスフィット界面の熱電物性への効果に関する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、異なる化学結合性が内在した特異な物質系における構造の操作・制御による物性制御に関する理解と知見を深めることができた点、さらにこのような材料系における異種材料との界面の熱電物性への効果に関する知見が増えた点である。そしてこれらの知見はナノ材料科学の発展に寄与するものである。社会的意義としては、熱電材料の高性能化が進めば膨大な量の未利用排熱を電気エネルギーに直接変換する熱電発電技術の実用化、それによる脱炭素社会への転換に寄与する点である。

研究成果の概要（英文）：The results of this study deepened our understanding of the thermoelectric properties of clathrate thermoelectric conversion materials, a unique material system with different chemical bonding properties between host and guest and between host and host, then provided us knowledge of the elemental substitutions that lead to improved thermoelectric conversion efficiency. In this study, we investigated the electron transport properties of the misfit interface between clathrates and heterogeneous semiconductors, and prepared hybrids of clathrates and heterogeneous semiconductors. The study experimentally clarified the thermoelectric properties of hybrids of clathrates and heterogeneous semiconductors, providing new insights into the impact of misfit interfaces on thermoelectric properties.

研究分野：電子材料工学、電子物性工学、半導体工学、熱電変換工学

キーワード：未利用熱有効利用 熱電変換 クラスレート 半導体 ハイブリッド ナノ界面 密度汎関数理論 エネルギーフィルタリング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

1990年代から米国の Slack¹⁾によって Phonon Glass Electron Crystal (PGEC) という革新的な熱電材料の設計概念が提唱された。PGEC の実現に向けて様々な材料開発が取り組まれた。その一つに注目されているのがクラスレート (包接化合物) 半導体の開発である。クラスレート半導体は、内部に大きな空隙があるかご状の結晶構造をもち、空隙中に弱く結合した原子 (ゲスト) を含む物質であり、かごの中のゲスト原子の熱振動 (この現象は “ラットリング (rattling)” と呼ばれる) によって熱を輸送するフォノンが強く散乱され熱伝導率が大幅に低下する。一方、結晶構造の骨格を形成するかご格子 (ホスト) が共有結合性のバンド構造を支配するため、良好な電気伝導性を有する。クラスレート半導体におけるフォノン物性 (ラットリング効果) は、多くの先行研究が実施されている。また、Sn、Ge、Si を主成分とする三元系クラスレートの熱電特性についても多くの先行研究により調査・報告されている。

熱電材料の熱電性能指数 ZT は、 $ZT = S^2 / T (\rho \kappa)$ (S :ゼーベック係数、 ρ :導電率、 κ :熱伝導率、 T :絶対温度) で定義される。熱電材料の実用化の目安として $ZT = 1$ とされている。Sn や Ge 系クラスレートにおいて、 $ZT = 1$ を満たすような材料系も発見された。しかし、熱的安定性や経済性などの実用面から Si 系クラスレートの熱電性能の向上の要求も高く、クラスレートにおける熱電物性の向上をいかにして達成するのか材料科学的アプローチが問われている。現状、基本となる三元系クラスレートの範囲では熱電性能の向上に行き詰まりがみられ、多元素から構成される構造や新たな観点での材料設計等の見直しが迫られている。

そこで我々は、基本に立ち返り、ラットリング原子とホスト原子との間の結合 (イオン性:クーロン引力) とホスト原子間の結合 (共有結合性) という化学結合力のミスマッチが内在した特異な物質系であるクラスレートの熱電物性の理解を深めつつ、元素置換を拡大して種々の多元素置換による結晶学的特性や電子構造への影響、熱電物性への効果を明らかにする必要があると考えた。しかし、クラスレート半導体において多元素置換の研究は世界的に少なく知見も不足していた。そのため本研究ではこの点についての項目を含めて研究を実施した。

一方、ナノ構造制御はバルク材料を凌駕する性能の向上や新たな機能を発現するなど、材料科学分野における近代のアプローチの一つである。熱電材料科学においてもナノ構造の制御について取り組まれているが、クラスレートにおいては、ナノ構造制御がどこまで有効なのか、どのようなナノ構造で効果があるのか、など理論的・実験的な検討が少なかった。ナノ構造・界面の導入・制御によるキャリア輸送への効果 (例えば界面のポテンシャル障壁や電子閉じ込めの効果等が熱起電力の増大をもたらすのか) についてクラスレート材料においては不足していた。そのため本研究ではこのような観点での材料設計の可能性を調査する研究を実施した。

2. 研究の目的

(1) クラスレート半導体の熱電物性の計算科学的手法による理解と探索

密度汎関数理論に基づく電子構造計算を実施して、多元素置換による電子構造への影響、それによるキャリア輸送特性への効果を調査・解明する。熱電性能向上の観点から、元素置換 (キャリアドーピング) に由来する状態密度の増加 (化学ポテンシャルの最適化や共鳴効果) の可能性を検討する。さらに、いくつか試料を合成して熱電特性を調査し、熱電特性への効果の可能性の有無を明らかにする。

(2) ミスマッチを導入した新規クラスレート・ハイブリッド熱電材料の創製

クラスレート半導体と異種半導体からなるミスマッチ界面における電子輸送特性を密度汎関数理論に基づく計算から調査する。ならびにクラスレート半導体と異種半導体からなるハイブリッド材料を作製し、ハイブリッドによる熱電特性への効果を調査する。

3. 研究の方法

(1) クラスレート半導体の熱電物性の計算科学的手法による理解と探索

ドナー・アクセプタ同時ドーピング

多元素置換の Ga-P や Cu-P のドナー・アクセプタ同時ドーピング試料を合成してその熱電特性への効果を調査した。密度汎関数理論 (DFT) に基づいて $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ における Cu-P 置換の場合の電子構造計算を実施して電子構造や輸送特性への効果を調査した。さらに、多元素置換の効果の比較として、 $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ の Cu サイト (6c) に欠陥がある場合 $\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{Ge}_{40}$ (欠陥)、欠陥がない場合として 6c サイトが Cu のみの場合 $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ 、6c サイトに Ga が一部置換した多元素置換の場合 $\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{GaGe}_{40}$ 、等の DFT 計算を実施した。また、 $\text{Ba}_8\text{Cu}_{6-x}\text{M}_x\text{Ge}_{40}$ ($M = \text{Ga}, \text{In}$, 等) の試料を作製し、それらの熱電特性を調査した。

共鳴効果を発現する元素ドーピング

多元素置換において遷移金属元素を含む系も対象に DFT 計算を実施した。その中で p 型特性を示す $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Ge}_{40}$ 系において電子構造の変化が顕著であった置換元素 Fe について試料を合成して熱電特性を調査した。

(2) ミスフィットを導入した新規クラスレート・ハイブリッド熱電材料の創製

エネルギーフィルタリング効果とフォノンブロッキング効果を相乗的に発現する構造設計 (DFTシミュレーション)

クラスレート/M/クラスレートのミスフィット界面モデルに対して非平衡グリーン関数 (NEGF) 法を活用した DFT 計算による熱電係数のシミュレーションを実施した。クラスレートは $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Si}_{40}$ 系とし、ここでの M は半導体 Si、Ge、ZnO、真空ギャップとした。

クラスレート/異種半導体ハイブリッド

Si 系クラスレートと半導体 Ge のハイブリッド試料を作製した。作製方法は、湿式遊星ボールミル法による Si 系クラスレートと半導体 Ge の微細化とその粉末の放電プラズマ焼結法による高密度化によるプロセスとした。Ge 添加量の異なる試料を作製し、その熱電特性を調査した。

4. 研究成果

(1) クラスレート半導体の熱電物性の計算科学的手法による理解と探索

ドナー・アクセプタ同時ドーピング

Ge 系クラスレートにおける Cu-P 同時ドーピングの場合の $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{38}\text{P}_2$ の電子構造計算から、この化合物はエネルギーギャップ中にフェルミ準位がある真性半導体であること、リジットバンドを仮定した場合であるが、キャリア濃度の調整により高いゼーベック係数が期待できることが示された。n 型 Ge 系クラスレートにおける (Cu,Ga)-P のドナー・アクセプタ同時ドーピング試料 $\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{Ga}_x\text{Ge}_{41-x}\text{P}_y$ を作製し、その結晶学的特性および熱電特性を明らかにした。この (Cu,Ga)-P 置換試料では、先行研究の n 型 $\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{Ge}_{41}^{(2)}$ と比べてキャリア濃度が低減しゼーベック係数が増加する効果のあることが確認された。熱電性能指数 ZT は約 0.63 が見積もられ、先行研究²⁾の約 1.3 倍の向上となり、同時ドーピングにより熱電特性が改善されることを確認した。

さらに、DFT 計算による p 型 Ge 系クラスレートにおける多元素置換の効果の比較調査の結果、 $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ の Cu サイト (6c) に欠陥がある場合 $\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{Ge}_{40}$ (: 欠陥)、6c 欠陥がない場合 $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ と比較して、導電率およびゼーベック係数のどちらも低下することが示された。また、その影響は伝導帯 (n 型) よりも価電子帯 (p 型) で著しいことが示された。6c 欠陥がない場合の Ga 一部置換の場合 ($\text{Ba}_8\text{Cu}_5\text{GaGe}_{40}$) では $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ に及ばないが熱電特性の改善が示唆された。このことから 6c 欠陥抑制の重要性が確認された。本研究開始当時は $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{Ge}_{40}$ の p 型の報告^{3),4)}が少なかったため、p 型合成を試みたところ、その合成に成功した。Cu 組成の分析値は約 5.46-5.67 の範囲となっており、化学量論組成の 6 からわずかに低い値であるが、その組成範囲で正孔濃度が変化し、キャリア濃度に依存してゼーベック係数、導電率、移動度等の熱電特性が変化した。熱電特性から見積もられる正孔有効質量は約 $5.9m_0$ (m_0 : 電子質量) であった。比較的高い正孔有効質量は価電子帯がフラットであり多谷効果があることによることが DFT の結果から示された。熱電性能指数 ZT は、約 0.78 であった。つぎに $\text{Ba}_8\text{Cu}_6\text{M}_x\text{Ge}_{40}$ (M=Ga, In, 等) の試料を作製し、それらの熱電特性を調査したが、熱電特性の比較からは 6c 欠陥抑制の有無とその効果を実験的に確認するには至らなかった。引き続き実験的な検証が必要であり今後の課題として残った。

共鳴効果を発現する元素ドーピング

p 型特性を示す $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Ge}_{40}$ 系において Au を Fe で部分置換した試料 $\text{Ba}_8\text{Au}_{6-x}\text{Fe}_x\text{Ge}_{40}$ を合成してその熱電特性の Fe 組成依存性を明らかにした。Fe の固溶範囲は $x=0.5$ 程度までであるが、その範囲で Fe 置換により $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Ge}_{40}$ よりもキャリア濃度が減少し、ゼーベック係数が増加、正孔移動度は増加する効果のあることが明らかとなった。熱電性能指数 ZT は約 1.1 (約 760 K) であった。この値は、 $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Ge}_{40}$ 系において従来の報告^{5),6)}よりも高い値である。熱電特性の実験値から見積もられる有効質量は $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Ge}_{40}$ 系の傾向の範囲にあり、ゼーベック係数の増加は Fe 置換による状態密度の増大によるものではなく、化学ポテンシャル (フェルミ準位) の最適化によるものと考えられる。

(2) ミスフィットを導入した新規クラスレート・ハイブリッド熱電材料の創製

エネルギーフィルタリング効果とフォノンブロッキング効果を相乗的に発現する構造設計 (DFTシミュレーション)

$\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Si}_{40}/\text{M}/\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Si}_{40}$ (M: 半導体 Ge、Si、ZnO、真空ギャップ) 構造において、エネルギーギャップの大きさに相関して、ゼーベック係数の大きさが Ge、Si、ZnO、真空ギャップの順に増加する傾向のあることが明らかとなった。M=Ge においてポテンシャルの変化を計算すると Ge/ $\text{Ba}_8\text{Au}_6\text{Si}_{40}$ の界面で大きな変動が見られた。M=真空ギャップの場合は、それ自体が大きなエネルギー障壁として作用していることが示唆された。これらの結果から、界面にエネルギー障壁がある場合にゼーベック係数が増加する可能性が示唆された。このようにクラスレートと異種半導体からなる界面をキャリアが伝搬するような構造においてゼーベック係数の増加の可能性のあることが示唆された。

クラスレート/異種半導体ハイブリッド

Si 系クラスレートと半導体 Ge のハイブリッド試料 $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}/\text{Ge}$ (Ge: 添加量 0-10vol%) における熱電特性の Ge 添加量依存性を明らかにした。試料の結晶粒成長を抑えるために低温 (480)・高圧 (600 MPa) で焼結を実施したが、焼結後の試料密度はバルク $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ に対して 80%-90% の範囲であった。よってハイブリッド試料の導電率はバルク $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ と比べて極端に

低下する結果となった。一方、ハイブリッド試料(1-5vol%)のゼーベック係数は、高温領域(約600 K以上)ではバルク $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ より低いが、低温領域(室温-約600 K)ではバルク $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ より高いことが判明した。ポテンシャル障壁を仮定したボルツマン輸送モデルによる計算を実施したところ、ポテンシャル障壁が存在しキャリア濃度が高い場合の傾向と一致した。組成分析からハイブリッドにおけるクラスレートのGa組成が仕込 $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ から減少していることが確認された。これはキャリア濃度が増加する方向へ組成が変化していることに対応している。試料が高抵抗のためHall測定が困難で実際のキャリア濃度は未確認となったことは課題として残った。以上のように実験からポテンシャル障壁によるゼーベック係数増加が示唆される結果が得られた。

引用文献

- 1) G. A. Slack, CRC Handbook of Thermoelectrics, Ed. D.M.Rowe, (CRC, 1995) pp.407-440.
- 2) X. Yan, E. Bauer, P. Rogl, and S. Paschen, Phys. Rev. B **87**, 115206 (2013).
- 3) H. Zhang, J.-T. Zhao, M.-B. Tang, Z.-Y. Man, H.-H. Chen, and X.-X. Yang, J. Alloys Comp. **476**, 1-4 (2009).
- 4) H. K. Sato, H. Tamaki, and T. Kanno, Appl. Phys. Lett. **116**, 253901 (2020).
- 5) H. Zhang, H. Borrmann, N. Oeschler, C. Candolfi, W. Schnelle, M. Schmidt, U. Burkhardt, M. Baitinger, J.-T. Zhao, and Y. Grin, Inorg. Chem. **50**, 1250-1257 (2011).
- 6) M. Baitinger, H. D. Nguyen, C. Candolfi, I. Antonyshyn, K. Meier-Kirchner, I. Veremchuk, V. Razinkov, M. Havryluk, R. Cardoso-Gil, U. Burkhardt, B. Böhme, L. Anatyshuk, and Y. Grin, Appl. Phys. Lett., **119** 063902(2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 阿武宏明	4. 巻 4
2. 論文標題 非平衡グリーン関数法を活用した密度汎関数理論に基づくナノギャップを有するシリコン・クラスレート・ナノ構造の輸送特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 山陽小野田市立山口東京理科大学紀要	6. 最初と最後の頁 7-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 阿武宏明、橋国克明	4. 巻 5
2. 論文標題 密度汎関数理論計算によるBa8Cu6Ge40クラスレートの電子構造と輸送特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 山陽小野田市立山口東京理科大学紀要	6. 最初と最後の頁 9-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 阿武宏明	4. 巻 第3号
2. 論文標題 非平衡グリーン関数法を活用した密度汎関数理論によるBa8Au6Si40クラスレートの熱電特性の計算	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 山陽小野田市立山口東京理科大学紀要	6. 最初と最後の頁 7-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiroataka Ishizu, Katsuaki Hashikuni, Hiroaki Anno
2. 発表標題 Thermoelectric properties in composites of germanium and silicon-based clathrate by planetary ball milling
3. 学会等名 Virtual Conference on Thermoelectrics 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石津博隆, 橋國克明, 阿武宏明
2. 発表標題 遊星ボールミルによるGe/Ba8Ga16Si30コンポジットの熱電特性
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中谷祐介, 橋國克明, 阿武宏明
2. 発表標題 Ba8Au6-xFexGe40クラスレートの熱電特性
3. 学会等名 2023年第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Koga, K. Hashikuni and H. Anno
2. 発表標題 Investigation of synthesis and thermoelectric properties for p-type Ge clathrate by Cu substitution
3. 学会等名 Virtual Conference on Thermoelectrics (VCT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Koga, K. Hashikuni and H. Anno
2. 発表標題 Thermoelectric Properties of p-Type Ba8Au6Ge40 Clathrate
3. 学会等名 1st Japan France Virtual Workshop on Thermoelectrics (VWT2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古賀雄大, 橋國克明, 阿武宏明
2. 発表標題 p型Ba8CuxGe46-xクラスレートの熱電特性における最適キャリア濃度の推定
3. 学会等名 第18回日本熱電学会学術講演会(TSJ2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古賀雄大, 橋國克明, 阿武宏明
2. 発表標題 p型Ge系クラスレート半導体における熱電特性のCu組成依存性
3. 学会等名 2021年度応用物理・物理系学会中国四国支部支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿武宏明, 橋國克明
2. 発表標題 Ba8Cu6Ge40クラスレートにおける欠陥の熱電特性へ及ぼす影響
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿武宏明, 古賀雄大, 岡本和也
2. 発表標題 Ba8Cu6Ge40クラスレートの熱電特性の調査
3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会(TSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀雄大, 岡本和也, 阿武宏明
2. 発表標題 p型Ba8Cu6Ge40系クラスレートの作製とその熱電特性
3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀雄大, 岡本和也, 阿武宏明
2. 発表標題 遷移金属を含む多元素置換 Ge クラスレートの熱電特性
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿武宏明, 古賀雄大, 岡本和也
2. 発表標題 非平衡グリーン関数法を活用した密度汎関数理論によるBa8Cu6Ge40クラスレートの輸送特性
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀雄大, 岡本和也, 阿武宏明
2. 発表標題 p型Ba8Au6Ge40クラスレートの作製とその熱電特性
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 クラスレート化合物、熱電変換材料およびその製造法	発明者 山本潔、山本貴博、 阿武宏明、橋國克明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-212200	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>[1] 山口県大学共同リポジトリ http://ypir.lib.yamaguchi-u.ac.jp/tr</p> <p>山陽小野田市立山口東京理科大学紀要 本研究課題の成果：オープンアクセス論文</p> <p>(1) 非平衡グリーン関数法を活用した密度汎関数理論によるBa8Au6Si40クラスレートの熱電特性の計算 http://ypir.lib.yamaguchi-u.ac.jp/tr/creators/tr000025/item/96</p> <p>(2) 非平衡グリーン関数法を活用した密度汎関数理論に基づくナノギャップを有するシリコン・クラスレート・ナノ構造の輸送特性 http://ypir.lib.yamaguchi-u.ac.jp/tr/creators/tr000025/item/110</p> <p>(3) 密度汎関数理論計算によるBa8Cu6Ge40クラスレートの電子構造と輸送特性 http://ypir.lib.yamaguchi-u.ac.jp/tr/creators/tr000025/item/123</p> <p>[2] 山陽小野田市立山口東京理科大学・大学教員紹介 https://www.socu.ac.jp/departments/faculty/hiroaki-anno.html</p> <p>[3] 山陽小野田市立山口東京理科大学・研究者データベース https://unipa.socu.ac.jp/kg/japanese/researchersHtml/A06481/A06481_Researcher.html</p>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------