

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608  
研究種目：基盤研究(B)  
研究期間：2012～2014  
課題番号：24340078  
研究課題名(和文)新奇物性を創発する新世代トポロジカル絶縁体の創製

研究課題名(英文)Exploration of Novel Topological Insulators

研究代表者  
笹川 崇男(Sasagawa, Takao)  
東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授

研究者番号：30332597  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：シリコンの限界を超える次世代デバイス材料として、質量ゼロのディラック電子状態をもつグラフェンが注目されている。そのグラフェンを超越し凌駕できる可能性をもつ新電子材料である「トポロジカル絶縁体」について、新物質の開拓とその良質大型な単結晶化、そして単結晶を用いた電子状態の実験検証を行った。その結果、新しい種類の“極性をもつ”トポロジカル絶縁体を筆頭に、十数組成におよぶ化合物について新物質の開発に成功した。加えて、ナノの空間スケールでの表面電子状態の観察により、理論予測されていなかった新現象を発見し、応用への利用についても議論した。トポロジカル“超伝導体”という新たな研究展開への芽も見出した。

研究成果の概要(英文)：Because of the excellent electronic conduction resulting from massless Dirac fermions, Graphene is a promising candidate material for next generation (post-silicon) electronic devices. As a beyond-Graphene technology, we tried to develop both new compounds and novel electronic functionality within a new class of materials called "topological insulators". Highlights of this work are as follows:

- (1) A "polar" topological insulator was for the first time materialized, which could make topological electronic devices quite simple [Nature Physics].
- (2) Unlike Graphene, the massless Dirac fermions in the topological insulators were proved to be quite stable against the imperfection of the materials. It was further demonstrated that the Dirac surface state and associated spin distribution could be locally (in nano-scale) manipulated by the bias voltage and magnetic field [ACS Nano, Nature Physics].

研究分野：物質科学

キーワード：トポロジカル絶縁体 単結晶 第一原理計算 量子構造観察 物質開拓

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始前の数年間に、絶縁体研究に革命とも呼ぶべきことが起きた。一世紀前に金属研究で超伝導が発見されたのに匹敵するように、絶縁体中に全く新しい電子状態が見出されたのである。本研究で対象とした3次元(バルク)物質の場合には、中身は電気を流さない絶縁体にも関わらず、表面や界面には必ず新奇な2次元金属状態が現れる物質群が存在することが理論予測され、時をおかずに実験による確認がなされた。最も単純な表面金属状態の場合、それはグラフェンと同様な質量ゼロの2次元ディラック電子系となることから、高いキャリア移動度や伝導度の量子化などを利用した将来のエレクトロニクス応用にも期待が高まった。

この表面金属状態の出現は、表面の性質とは無関係にバルクの電子状態だけで決まり、 $Z_2$  普遍量(0か1の値をとる4つのトポロジカル変数 $\nu_i$ )で評価される波動関数の集合がもつ位相幾何学(トポロジー)的な特徴で判定できることが理論で示された。このため、新物質はトポロジカル絶縁体(TI)と呼ばれるようになった。そして、3次元トポロジカル絶縁体における2次元ディラック電子状態には、グラフェンにはない魅力的な性質も備わっていることが分かってきた。例えば、(a) スピン偏極した電流が自発的に生成し室温以上でも散乱・散逸を伴わずに伝導する、(b) 磁性や超伝導との相互作用で新奇量子状態・素励起状態を作る、といったもので、スピントロニクスや量子コンピュータ分野への革新的な材料として期待されている。

3次元TIは2007年に物質候補が理論予測され、2008年に実験確認が行われたばかりの非常に新しい研究分野である。具体的な物質としては、第1世代と呼ばれる複雑な表面電子状態をもつ(Bi,Sb)合金系から研究が始まり、単一の2次元ディラック電子状態をもつ(Bi,Sb)<sub>2</sub>(Te,Se)<sub>3</sub>やTlBi(Te,Se)<sub>2</sub>などの第2世代へと展開してきた。

以上を背景に、ポストシリコン・グラフェン物質として、トポロジカル絶縁体は新世代のデバイス材料として注目されるようになった。

## 2. 研究の目的

単一の2次元ディラック電子状態をもつ第2世代の3次元トポロジカル絶縁体から進化させて、更なる新奇表面電子状態を創発する第3世代の物質群を開発することを目的とした。具体的に、発現を期待している表面電子状態、それを担う新しいトポロジカル絶縁体の条件、そしてそれら物質開拓の指針は以下の通りとした。

## (1) 弱いトポロジカル絶縁体

これまでに発見されているのは、どの結晶面でも表面状態が出現する“強い”トポロジカル絶縁体である。“弱い”トポロジカル絶縁体は、特定の結晶面でしか表面状態をもた

ないが、逆に例えば結晶中の特定の線欠陥と結合することで、特異な表面電子状態の寄与がバルク全体に現れることも期待されるため、基礎物性のみならず応用上も興味深い。

## (2) 対称性の破れをもつトポロジカル絶縁体

対称性の破れを導入したトポロジカル絶縁体では、ディラック電子状態に変化が生じて、新奇な電気磁気効果や未発見の素励起状態を創発することが理論予測されている。それらの実現に多角的に挑戦することとした。時間反転対称性を破る強磁性を導入することで、フェルミ粒子とも全く異なる“質量をもったディラック電子状態”の実現には既に我々が先行研究において成功しているが[Science 329, 659 (2010)]、これを発展させて大きなバルク絶縁性と表面バンドギャップをもち、新奇現象を室温で観測できるような物質の開拓に注力することとした。また、端や量子化磁束に特異な素励起状態をもつ新奇な2次元超伝導状態の創製を狙って、母物質のトポロジカル絶縁体にキャリアドープすることで、ゲージ対称性を破る超伝導の発現も目指すこととした。更に、空間反転対称性が破れた結晶構造で、バルクに大きな電気双極子をもつトポロジカル絶縁体の開発にも取り組むこととした。この場合には、極性軸と垂直表面の表と裏、そして側面とで異なるディラック電子状態が出現するという、これまでにない状況が予想され、スピンが関与する輸送特性の一つをとってみても非常に興味深い現象が期待される。

## 3. 研究の方法

本研究では、これまでに現実の物質として合成されることがなく、したがって電子状態の確認もなされることがなかった種々の新しい3次元トポロジカル絶縁体について物質開発を行った。加えて、トポロジカル絶縁体の表面電子状態に特異な新現象や新機能の探索も行った。

実現を狙った物質は、スピン偏極した異常表面金属状態が特定の結晶面にのみ現れる「弱いトポロジカル絶縁体」を筆頭に、表面ディラック電子分散にもバンドギャップが生じて新奇な素励起状態をもつことになる「時間反転対称性やゲージ対称性の破れを伴ったトポロジカル絶縁体」、そして結晶の表と裏と側面において異なる表面電子状態をもつ「結晶反転対称性の破れと内部電場を備えたトポロジカル絶縁体」などであった。

目的とした新しい種類のトポロジカル絶縁体の物質開拓は、以下の手順で行った。

(1) 第一原理計算を活用して候補物質探索と電子構造改質の検討を行う。

(2) 選定した候補物質を精密組成制御した大型単結晶として開発する。

(3) 育成した単結晶試料を対象に、量子振動測定と角度分解光電子分光測定で、理論計算予測の電子構造を実験実証する。

#### 4. 研究成果

##### (1) テトラダイマイト化合物

$m$  と  $n$  を整数とした  $\text{Bi}_{2-m}\text{Sb}_m\text{Te}_{3-n}\text{Se}_n$  で表せる化合物について、 $\{m=1; n=3\}$  と  $\{m=2; n=3\}$  以外の 10 種類を良質で大型な単結晶試料として合成することに成功し、それらの輸送特性を詳細に評価した。実験によってバルクにキャリアが少なく、絶縁性の高い化合物であることを確認し、加えて第一原理計算による電子波動関数の集合が持つ位相幾何学的特徴の解析による判定結果から、 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$   $\{0;1\}$  と  $\text{BiSbTeSe}_2$   $\{1;2\}$  が非常に高性能なトポロジカル絶縁体の候補物質であることを提案した。

##### (2) 層内挿入ホモロガス相

典型的なトポロジカル絶縁体である  $\text{Bi}_2\text{X}_3$  ( $X = \text{Te}, \text{Se}$ ) がもつホモロガス性を利用して新規のトポロジカル絶縁体の開拓を系統的に行った。 $\text{Bi-Te-Bi-Te-Bi}$  のユニット内に  $(\text{GeTe})_n$  層を挿入することで派生する定比組成  $(\text{GeTe})_n\text{Bi}_2\text{Te}_3$  で表せるホモロガス相化合物について、 $n = 0$  ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ),  $1/2$  ( $\text{GeBi}_4\text{Te}_7$ ),  $1$  ( $\text{GeBi}_2\text{Te}_4$ ),  $2$  ( $\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$ ),  $3$  ( $\text{Ge}_3\text{Bi}_2\text{Te}_6$ ),  $\infty$  ( $\text{GeTe}$ ) の良質で大型な単結晶試料の育成に成功した。第一原理計算による詳細な電子構造の解析から、 $n = 1/2, 2$  がこれまでに報告のない新しいトポロジカル絶縁体であることを明らかにした。ホモロガス性を利用したトポロジカル絶縁体物質の開拓においては、主成分で元素戦略の対象となっている重元素の  $\text{Bi}$  の割合を大幅に減らしてもトポロジカル絶縁体を実現できることを示した点において注目を集め、新聞報道 (日経産業新聞・11 面、2012 年 9 月 7 日) もなされた。

##### (3) 層間挿入ホモロガス相

②と類似するが、典型的なトポロジカル絶縁体である  $\text{Bi}_2\text{X}_3$  ( $X = \text{Te}, \text{Se}$ ) のファンデルワールス層間に連続的に  $\text{Bi}_2$  層を挿入した  $(\text{Bi}_2)_m\text{Bi}_2\text{X}_3$  ( $X = \text{Te}, \text{Se}$ ) について、 $m = 1/2, 1, 2$  の合成・単結晶化に成功した。輸送特性の評価を詳細に行うとともに、第一原理計算で電子波動関数の集合が持つパリティ解析を行うことで、トポロジカル絶縁体であるか否かの判定を行ったところ、 $m = 1/2$  の化合物は、新たなトポロジカル半金属であることが判明した。

##### (4) 極性トポロジカル絶縁体

重元素のみで構成され、層状構造をもち、更に空間反転対称性をもたない物質を中心に物質探索を行うことで、これまでに見つかっていない新しい種類の“極性をもつ”トポロジカル絶縁体の開発に成功した。電流ではなく電圧で磁化を発生でき、更にその磁化は量子化された状態にできるという新奇なマルチフェロイック機能としての応用が考案されているが、従来のトポロジカル絶縁体に比べて、この物質を用いるとそのデバイス構造を非常に単純化できる可能性があることから、応用面でも注目を集めることとなった。これにより、新聞報道 (日経産業新聞・21 面、

2013 年 10 月 16 日) もなされた。

##### (5) トポロジカル絶縁体の新現象・新機能

電子状態の実験実証においては、走査型トンネル顕微鏡・分光法を用いた原子レベルでの表面観察と電子状態の空間マッピングにより、グラフェンとは異なってトポロジカル絶縁体の表面ディラック電子状態は乱れに強いこと、外部電圧によってナノスケールで制御しメモリーとして利用できる新現象も発見した。更に、同様の手法により、ディラック電子の空間分布がポテンシャルの底からわき出して、エネルギーの上昇とともに同心円状のリングになって広がるように変化する様子を観測した。この振る舞いを理論解析で再現することに成功し、電子が閉じ込められているリングの内部構造を調べることで、スピン状態を含む波動関数に関する情報を得ることもできた。これにより、スピンによる磁化が空間的に変化していることも発見し、静電ポテンシャルという一見磁氣的性質とは無関係なパラメータの制御によって、ナノスケールで様々なスピン磁化の空間分布を作り出せるという、応用につながる新技術を提案した。この成果も新聞報道 (日経産業新聞・10 面、2014 年 9 月 22 日) された。

##### (6) トポロジカル超伝導体候補物質

トポロジカル絶縁体に着目した物質探索の過程で、重元素を含み空間反転対称性をもたない結晶構造をもつ興味深い超伝導体を見出し、その単結晶化と物性評価にも研究が派生した。今後の新しい研究の方向性として非常に期待される。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- [1] “A Single Surface Dirac Fermion Induced in  $\text{BiTeCl}$ -based Heterostructures”  
H. Zhang, Z. Liu, B. Zhou, M. Kanou, J. Sobota, D. Leuenberger, S. Yang, P. Kirchmann, S.-K. Mo, Z.-X. Shen, Z. Hussain, T. Sasagawa, and Yulin Chen,  
Scientific Report, (2015), in press. 査読有
- [2] “Dynamics of All the Raman-active Coherent Phonons in  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  Revealed via Transient Reflectivity”  
K. Norimatsu, M. Hada, S. Yamamoto, T. Sasagawa, M. Kitajima, Y. Kayanuma, and K. G. Nakamura,  
J. Appl. Phys. **117**, 143102 (2015). 査読有  
DOI: 10.1063/1.4917384
- [3] “Imaging the Two-component Nature of Dirac-Landau Levels in the Topological Surface State of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ”  
Y.-S. Fu, M. Kawamura, K. Igarashi, H. Takagi, T. Hanaguri, and T. Sasagawa,  
Nature Physics **10**, 815 (2014). 査読有  
DOI: 10.1038/NPHYS3084
- [4] “Electronic Structure of a Quasi-Freestanding  $\text{MoS}_2$  Monolayer”  
T. Eknapakul, P. D. C. King, M. Asakawa, P.

- Buaphet, R.-H. He, S.-K. Mo, H. Takagi, K. M. Shen, F. Baumberger, T. Sasagawa, S. Jungthawan, and W. Meevasana, Nano Letters **14**, 1312 (2014). 査読有  
DOI: 10.1021/nl4042824
- [5] “Discovery of a Single Topological Dirac Fermion in a Strong Inversion Asymmetric Compound BiTeCl”  
Y. L. Chen, M. Kanou, Z. K. Liu, H. J. Zhang, J. A. Sobota, D. Leuenberger, S. K. Mo, B. Zhou, S.-L. Yang, P. S. Kirchmann, D. H. Lu, R. G. Moore, Z. Hussain, Z. X. Shen, X. L. Qi, and T. Sasagawa, Nature Physics **9**, 704 (2013). 査読有  
DOI: 10.1038/NPHYS2768
- [6] “Memory Effect in a Topological Surface state of Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>Se”  
Y.-S. Fu, T. Hanaguri, S. Yamamoto, K. Igarashi, H. Takagi, and T. Sasagawa, ACS Nono **7**, 4105 (2013). 査読有  
DOI: 0.1021/nn400378f
- [7] “Crystal Growth and Electronic Properties of a 3D Rashba Material, BiTeI, with Adjusted Carrier Concentrations”  
M. Kanou and T. Sasagawa, J. Phys.: Condens. Matter **25**, 135801 (2013). 査読有  
DOI: 10.1088/0953-8984/25/13/135801
- [8] “Coherent Optical Phonons in a Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Single Crystal Measured via Transient Anisotropic Reflectivity”  
K. Norimatsu, J. Hu, A. Goto, K. Igarashi, T. Sasagawa, and K. G. Nakamura, Solid State Commun. **157**, 58 (2013). 査読有  
DOI: 10.1016/j.ssc.2012.02.004
- [9] “Phase Fluctuations and the Absence of Topological Defects in a Photo-excited Charge-ordered Nickelate”  
W.S. Lee, Y.D. Chuang, R.G. Moore, Y. Zhu, L. Patthey, M. Trigo, D.H. Lu, P.S. Kirchmann, O. Krupin, M. Yi, M. Langner, N. Huse, J.S. Robinson, Y. Chen, S.Y. Zhou, G. Coslovich, B. Huber, D.A. Reis, R.A. Kaindl, R.W. Schoenlein, D. Doering, P. Denes, W.F. Schlotter, J.J. Turner, S.L. Johnson, M. Forst, T. Sasagawa, Y.F. Kung, A.P. Sorini, A.F. Kemper, B. Moritz, T.P. Devereaux, D.-H. Lee, Z.X. Shen, and Z. Hussain, Nature Commun. **3**, 838 (2012). 査読有  
DOI: 10.1038/ncomms1837
- [10] “Observation of Coherent Higher Frequency A<sub>1g</sub> Phonons in Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> using Femtosecond Time-resolved Reflection Measurement”  
K. G. Nakamura, J. Hu, K. Norimatsu, A. Goto, K. Igarashi, and T. Sasagawa, Solid State Commun. **152**, 902 (2012). 査読有  
DOI: 10.1016/j.ssc.2012.02.004
- [学会発表] (計 4 6 件)
- [1] “トポロジカル超伝導体候補物質の開拓”  
笹川崇男  
高温超伝導フォーラム第 3 回会合  
(2015.3.25 東京理科大, 東京都葛飾区)
- [2] “ヘテロ接合による量子異常ホール効果の実現に向けた強磁性絶縁体の開拓”  
名坂成昭、矢野力三、笹川崇男  
日本物理学会第 70 回年次大会  
(2015.3.21-3.24 早稲田大, 東京都新宿区)
- [3] “トポロジカル超伝導体候補の Bi 層状化合物：単結晶育成と超伝導特性”  
大川顕次郎、加納学、笹川崇男  
日本物理学会第 70 回年次大会  
(2015.3.21-3.24 早稲田大, 東京都新宿区)
- [4] “トポロジカル超伝導体候補の Pb 層状化合物：単結晶育成と超伝導特性”  
並木宏允、加納学、笹川崇男  
日本物理学会第 70 回年次大会  
(2015.3.21-3.24 早稲田大, 東京都新宿区)
- [5] “トポロジカル超伝導体候補の Bi および Pb 層状化合物：第一原理電子状態計算”  
笹川崇男  
日本物理学会第 70 回年次大会  
(2015.3.21-3.24 早稲田大, 東京都新宿区)
- [6] “強い相対論効果を有する Mg<sub>3</sub>Bi<sub>2</sub> の単結晶育成と熱電特性評価”  
岩橋直哉、加納学、笹川崇男  
第 62 回応用物理学会春季学術講演会  
(2015.3.11-3.14 東海大, 神奈川県平塚市)
- [7] “トポロジカル絶縁体”  
笹川崇男 (依頼講演)  
日本学術振興会「分子系の複合電子機能第 181 委員会」第 21 回研究会  
(2015.2.3-2.4 東京大学, 東京都文京区)
- [8] “エキゾチック電子物質！？—高温超伝導体からトポロジカル絶縁体まで—”  
笹川崇男 (依頼講演)  
名古屋大学・田仲研究室セミナー  
(2014.12.8 名古屋大, 愛知県名古屋市)
- [9] “Single Crystal Growth and Superconducting Properties of the Layered Compound with Strong Relativistic Effects β-PdBi<sub>2</sub>”  
K. Okawa, M. Kanou, and T. Sasagawa  
27th International Symposium on Superconductivity (ISS2014)  
(2014.11.25-11.27 Tokyo, Japan)
- [10] “Exploration of Novel Electronic Functions in Topological Quantum Matter”  
T. Sasagawa, M. Murase, M. Kanou, K. Igarashi, Y.-S. Fu, M. Kawamura, T. Hanaguri, Y.L. Chen, and Z.-X. Shen  
The 5th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (AMDI-5)  
(2014.11.19 Tokyo, Japan)
- [11] “強い相対論効果を持つ層状化合物における単結晶育成と新奇超伝導状態の探索”  
大川顕次郎、加納学、片桐隆雄、笹川崇男  
第 4 回日本セラミックス協会関東支部 若手研究発表交流会

- (2014.10.18 東京工業大学, 東京都目黒区)
- [12] “組成制御・磁性元素ドーピングを駆使したトポロジカル結晶絶縁体の表面電子状態の制御”  
並木宏允、加納学、村瀬正恭、笹川崇男  
第4回日本セラミックス協会関東支部 若手研究発表交流会  
(2014.10.18 東京工業大学, 東京都目黒区)
- [13] “三次元ラッシュバ物質およびトポロジカル絶縁体の開拓”  
加納学、笹川崇男  
第4回日本セラミックス協会関東支部 若手研究発表交流会  
(2014.10.18 東京工業大学, 東京都目黒区)
- [14] “ホモロガス相  $(\text{Bi}_2)_m\text{Bi}_2\text{X}_3$  ( $X = \text{Te, Se}$ ) を舞台としたトポロジカル絶縁体の開拓”  
村瀬正恭、並木宏允、加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2014 年秋季大会  
(2014.9.7-9.10 中部大, 愛知県春日井)
- [15] “重元素を含む層状化合物  $\beta\text{-PdBi}_2$  の単結晶育成と超伝導特性”  
大川顕次郎、加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2014 年秋季大会  
(2014.9.7-9.10 中部大, 愛知県春日井)
- [16] “Weak Topological Insulator 候補物質の単結晶作製と評価”  
加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2014 年秋季大会  
(2014.9.7-9.10 中部大, 愛知県春日井)
- [17] “Crystal Growth and Effects of Bi-deficiency on Normal and Superconducting Properties of Noncentrosymmetric  $\alpha\text{-PdBi}$ ”  
K. Okawa, M. Kanou, T. Katagiri, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, and T. Sasagawa  
The 8th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC8)  
(2014.6.25-6.27 Yokohama, Japan)
- [18] “Exploration of Three-dimensional Rashba Materials and Polar Topological Insulators”  
M. Kanou and T. Sasagawa  
The 8th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC8)  
(2014.6.25-6.27 Yokohama, Japan)
- [19] “ホモロガス相を舞台としたトポロジカル絶縁体の探索”  
村瀬正恭、浅川瑞生、加納学、笹川崇男  
第61回応用物理学会春季学術講演会  
(2014.3.17-3.20 青山学院大, 神奈川県相模原市)
- [20] “三次元ラッシュバ物質およびトポロジカル絶縁体の開拓”  
加納学, Yulin Chen, Zhi-xun Shen, 笹川崇男  
第61回応用物理学会春季学術講演会  
(2014.3.17-3.20 青山学院大, 神奈川県相模原市)
- [21] “トポロジカル絶縁体  $(\text{Bi, Sb})_2(\text{Te, Se})_3$  の電子状態と電子機能”  
笹川崇男、五十嵐九四朗、山本宗平、Ying-shuang Fu、花栗哲郎、Yulin Chen、Zhi-xun Shen  
第61回応用物理学会春季学術講演会  
(2014.3.17-3.20 青山学院大, 神奈川県相模原市)
- [22] “次世代電子材の種！？ーエキゾチック超伝導体からトポロジカル絶縁体までー”  
笹川崇男 (特別講演)  
さきがけ「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」第1回領域会議 (2014.2.7-2.8 高知県)
- [23] “Exploration of Three-dimensional Rashba Materials and Topological Insulators”  
M. Kanou and T. Sasagawa  
「卓越した大学院材料イノベーションのための教育研究拠点」拠点形成補助金成果報告会  
(2014.2.6 東京工業大学, 東京都目黒区)
- [24] “次世代電子材の種！？ーエキゾチック超伝導体からトポロジカル絶縁体までー”  
笹川崇男 (依頼講演)  
三菱化学科学技術研究センター横浜  
(2013.12.19 神奈川県横浜市)
- [25] “Exploration of Strongly Spin-Orbit-Coupled Electron Systems”  
T. Sasagawa, M. Kanou, K. Igarashi, M. Murase, Y. Chen, and Z.-X. Shen  
International Symposium on EcoTopia Science 2013 and The 4th International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structured Metallic and Inorganic Materials (ISETS13 & AMDI-4)  
(2013.12.13-12.15 Nagoya, Japan)
- [26] “Exploration of 3D Rashba Materials and Topological Insulators”  
M. Kanou, Y. Chen, Z.-X. Shen, and T. Sasagawa  
International Workshop on Novel Superconductors and Super Materials 2013 (NS2) (2013.11.21-11.22 Tokyo, Japan)
- [27] “Normal and Superconducting Properties in Single Crystals of the Noncentrosymmetric PdBi Compound”  
K. Okawa, M. Kanou, T. Katagiri, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, and T. Sasagawa  
26th International Symposium on Superconductivity (ISS2013)  
(2013.11.18-11.20 Tokyo, Japan)
- [28] “ホモロガス相を舞台としたトポロジカル絶縁体の合成と電子構造 (II)”  
村瀬正恭、浅川瑞生、加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2013 年秋季大会  
(2013.9.25-9.28 徳島大, 徳島県徳島市)
- [29] “空間反転対称性の破れた超伝導体 PdBi の単結晶合成と物性評価 (III)”  
大川顕次郎、加納学、片桐隆雄、柏谷裕美、柏谷聡、笹川崇男  
日本物理学会 2013 年秋季大会  
(2013.9.25-9.28 徳島大, 徳島県徳島市)
- [30] “Anisotropic Properties in Single Crystals of

- the Noncentrosymmetric Superconductor PdBi”  
K. Okawa, M. Kanou, T. Katagiri, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, and T. Sasagawa  
11th European Conference on Applied Superconductivity (Eucas2013)  
(2013.9.15-9.19 Genova, Italy)
- [31] “Normal and Superconducting Properties in Single Crystals of the Noncentrosymmetric PdBi Compound”  
K. Okawa, M. Kanou, T. Katagiri, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, and T. Sasagawa  
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2013)  
(2013.8.5-8.9 Tokyo, Japan)
- [32] “Topological Insulators in Homologous Phases of Ge-Bi-Te”  
T. Sasagawa, M. Asakawa, M. Murase, and M. Kanou  
The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2013)  
(2013.8.5-8.9 Tokyo, Japan)
- [33] “Exploration of Three-dimensional Rashba Materials”  
M. Kanou and T. Sasagawa  
The 7th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC7)  
(2013.6.19-6.21 Yokohama, Japan)
- [34] “強相対論物質 —トポロジカル絶縁体・ラッシュバ物質— の開拓”  
笹川崇男 (依頼講演)  
神戸大学分子フォトサイエンス研究センター・創製光分子科学セミナー  
(2013.5.30 神戸大, 兵庫県神戸市)
- [35] “空間反転対称性の破れた超伝導体 PdBi の単結晶育成と物性評価 (II)”  
大川顕次郎、加納学、片桐隆雄、柏谷裕美、柏谷聡、笹川崇男  
日本物理学会第 68 回年次大会  
(2013.3.26-3.29 広島大, 広島県東広島市)
- [36] “Weak Topological Insulator 候補物質 Bi<sub>2</sub>TeI の単結晶作製と評価”  
加納学、笹川崇男  
日本物理学会第 68 回年次大会  
(2013.3.26-3.29 広島大, 広島県東広島市)
- [37] “界面・表面における新奇電子機能の開拓”  
笹川崇男、松本祐司、川原田洋  
第 3 回 6 大学 6 研究所連携プロジェクト公開討論会 「特異構造金属・無機融合高機能材料開発共同研究プロジェクト」  
(2013.3.12 名古屋大, 愛知県名古屋市)
- [38] “Crystal Growth and Physical Properties of the Noncentrosymmetric Superconductor PdBi”  
K. Okawa, M. Kanou, T. Katagiri, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, and T. Sasagawa  
25th International Symposium on Superconductivity (ISS2012)  
(2012.12.3-12.5 Tokyo, Japan)
- [39] “Crystal Growth and Characterization of Homologous Series of Topological Insulators”  
M. Asakawa, M. Kanou, and T. Sasagawa  
The 3rd International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structural Metallic and Inorganic Materials (AMDI-3)  
(2012.11.5-11.8 Toyohashi, Japan)
- [40] “空間反転対称性の破れた超伝導体 PdBi の単結晶合成と物性評価”  
大川顕次郎、加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2012 年秋季大会  
(2012.9.18-9.21 横国大, 神奈川県横浜市)
- [41] “様々なトポロジカル絶縁体の単結晶合成と物性評価 (III)”  
山本宗平、笹川崇男  
日本物理学会 2012 年秋季大会  
(2012.9.18-9.21 横国大, 神奈川県横浜市)
- [42] “三次元 Rashba 物質及びトポロジカル絶縁体の探索”  
加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2012 年秋季大会  
(2012.9.18-9.21 横国大, 神奈川県横浜市)
- [43] “ホモロガス相を舞台としたトポロジカル絶縁体の合成と電子構造”  
浅川瑞生、加納学、笹川崇男  
日本物理学会 2012 年秋季大会  
(2012.9.18-9.21 横国大, 神奈川県横浜市)
- [44] “Exploration of Three-dimensional Rashba Materials”  
M. Kanou and T. Sasagawa  
The 19th International Conference on Magnetism with Strongly Correlated Electron Systems (ICM2012-SCES)  
(2012.7.8-7.13 Busan, Korea)
- [45] “Crystal Growth and Characterization of Various Topological Insulators”  
S. Yamamoto and T. Sasagawa  
The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC6)  
(2012.6.26-6.28 Yokohama, Japan)
- [46] “Exploration of 3D topological-insulators / Rashba-materials”  
Takao Sasagawa (招待講演)  
The 2012 Villa Conference on Topological Insulators (VCTI 2012)  
(2012.4.16-4.20 Orlando Florida, USA)
- [その他]  
ホームページ等  
<http://www.msl.titech.ac.jp/~sasagawa/>
6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
笹川 崇男 (SASGAWA, Takao)  
東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授  
研究者番号：30332597