

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04156

研究課題名(和文) 漆をベース材料とした樹脂すべり軸受の実用化に向けた開発的研究

研究課題名(英文) Research into the Practical Application of Resin Plane Bearings using Urushi Lacquer as a Base Material

研究代表者

宮武 正明 (Miyatake, Masaaki)

東京理科大学・工学部機械工学科・准教授

研究者番号：70434032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：機械には、回転部や往復運動部など摺動部が多くあるが、樹脂すべり軸受は、摺動部を無給油・無給脂で支持するために広く用いられている。申請者は、硬度が高く耐薬品性に優れる樹脂材料として、天然の樹脂である漆に着目し、漆に固体潤滑剤を添加した樹脂すべり軸受を提案した(特願2016-093303 摺動組成物、並びに、摺動部材及びその製造方法)。本研究課題においては、漆に添加する固体潤滑剤として、PTFE、グラファイト、六方晶窒化ホウ素(hBN)を用いた樹脂すべり軸受の摺動特性や機械的特性を様々な条件下で評価し、漆を用いた樹脂すべり軸受の実用化に向けた研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱可塑性樹脂や熱硬化性樹脂と固体潤滑剤を混合した樹脂すべり軸受は、国内外の研究者やすべり軸受メーカーにおいて、広く研究が行われているが、天然の漆をベースの樹脂材料としたすべり軸受に関する研究は行われていない。これまで漆に関する研究は、漆の使用に関する歴史的研究、塗膜品質、耐候性などに関わる研究が多く行われているが、漆を食器や工艺品などの塗膜や接着剤として使用するに際してのものであり、機械要素である、すべり軸受材料として適用した際の特性に関する研究は見られない。そのため、本研究による知見は、漆を用いた樹脂すべり軸受の実用化に対して意義があるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Sliding parts such as rotating parts and reciprocating parts are often found in machines, and resin plane bearings are widely used to support sliding parts without lubrication or greasing. The applicant focused on urushi lacquer, a natural resin, as a resin material with high hardness and excellent chemical resistance, and proposed a resin sliding bearing with a solid lubricant added to lacquer. In this research project, the sliding and mechanical properties of resin sliding bearings using PTFE, graphite and hexagonal boron nitride (hBN) as solid lubricants added to urushi lacquer were evaluated under various conditions.

研究分野：機械設計、トライボロジー

キーワード：漆 天然樹脂 摺動材料 トライボロジー 固体潤滑剤 軸受 摩擦 摩耗

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

樹脂を用いたすべり軸受は、軽量、大量生産が可能、無給油でも使用可能という特性から、近年、様々な機械の摺動部を無給油・無給脂で支持するために使用されている。さて、樹脂すべり軸受は、ベース樹脂として、熱可塑性樹脂や熱硬化性樹脂が用いられ、それに固体潤滑剤(グラファイト、PTFE など)を混合して製作されており、ベース樹脂と固体潤滑剤の組合せや、配合量により特性が変わるが、現在使用されている様々な樹脂材料にも一長一短があり、無潤滑環境下および湿潤環境下での耐摩耗性、耐薬品性の全てにおいて優れたものは存在しない。このことは、例えば食品機械のように、機械の洗浄液に暴露され、無潤滑環境と湿潤環境の両方で使用される場合には、要求する性能が得られない場合があることを示している。

2. 研究の目的

先に示したように、現在使用されている樹脂のすべり軸受は、無潤滑環境下および湿潤環境下での耐摩耗性、耐薬品性の全てにおいて優れたものは存在しない。そこで本研究では、無潤滑環境下での耐摩耗性、湿潤(水潤滑)環境下での耐摩耗性、耐薬品性の全てに優れた樹脂すべり軸受を開発することを目的とするが、従来使用されている樹脂材料として、フェノール樹脂をベースとしたものが、無潤滑および水潤滑の条件の両方で、相対的に高い耐摩耗性を示すことが知られている。しかし、フェノール樹脂は、洗浄剤、特にアルカリ系の洗浄剤に対する耐薬品性が低いという問題があった。そこで本研究では、フェノールと類似した化学構造を持つウルシオールを主成分とし、それを硬化させた天然樹脂である漆に注目した。漆は、古くから食器や工芸品などの塗膜や接着剤として用いられており、硬度が高く、耐薬品性に優れることが知られている。本研究の予備段階として、漆に固体潤滑剤を添加した樹脂すべり軸受を提案し、生漆に固体潤滑剤である PTFE 粉末を混合して硬化させた樹脂すべり軸受を試作、評価した。その結果、提案するすべり軸受の有用性は、無潤滑環境での評価により認められた。本研究では、漆を用いた樹脂すべり軸受の実用化に向けて、水潤滑環境での評価など、様々な条件で評価を実施することや、従来用いられている樹脂材料との比較し、提案する材料が、先に課題を解決し得るのかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究においては、漆を用いた樹脂すべり軸受の実用化に向けて、(i)摺動性能(摩擦係数、耐摩耗性)の評価および摩擦面の分析、(ii)機械的強度の評価を実施する。以下に概要を示す。

(1) 摺動性能(摩擦係数、耐摩耗性)の評価および摩擦面の分析

本研究においては、漆を用いた樹脂すべり軸受の実用化に向けて、無潤滑環境下および湿潤(水潤滑)環境下での耐摩耗性に関して、リングオンディスク摩擦試験機により評価を行う。評価に際しては、漆に添加する固体潤滑剤としては、PTFE、グラファイト、hBN についての評価を実施する。摺動試験結果の評価に際しては、摩擦面の分析が必須であるが、レーザー顕微鏡による摩耗痕の評価、摺動面の SEM による分析、ラマン分光法による表面分析を実施した。

(2) 機械的強度の評価

提案する軸受の実用化に際しては、軸受としての使用に耐えうる機械的強度を有しているかの検証が必要である。漆を用いた樹脂すべり軸受の先行評価においては、コーティングのように金属基材の表面に塗布した試験片を製作したが、実用化に際しては、生漆と固体潤滑剤を混合したものを、織布に塗布してプリプレグを作成し、それを積層硬化させたもの(積層成形品)を想定している。積層硬化品に関しては、JISK7017 を参考として、曲げ試験により、強度測定を実施した。

4. 研究成果

(1) 摺動性能(摩擦係数、耐摩耗性)の評価および摩擦面の分析

摺動試験用強度試験用試験片 図 1 に示す試験片は、直径 15mm の黄銅製基材表面に、生漆と固体潤滑剤を混合したものを塗布し、硬化させたものである。試験片は高温乾燥炉(約 150°C)に 15 時間設置し、加熱重合により硬化させた。これらの硬化処理は金属に対する漆の固着性を向上させるためである。生漆は国産の生漆(ウルシオール約 76%、水分約 24%)を使用した。試験片においては、漆に固体潤滑剤として 2 種類のグラファイト粉末(平均粒径 $Dp50=36\mu\text{m}$ 、平均粒径 $Dp50=8\mu\text{m}$ 以下)ならびに 2 種類の PTFE 粉末(平均粒径 $Dp50=8\mu\text{m}$ 、平均粒径 $Dp50=10\mu\text{m}$)をそれぞれ 50wt%、30wt%、10wt% 配合して塗布したものを、六方晶窒化ホウ素 h-BN をそれぞれ 50wt%、30wt%、20wt%、15wt%、10wt% 配合して塗布したものを用意した。図 2 に、摺動試験で用いる相手材を示す。相手材には SUS420J2 を真空焼入れしたもの(HRC50 程度)を使用した。

摺動試験方法 摺動試験には、図 3 に示すリングオンプレート摩擦試験機を用いた。試験片を空気静圧軸受により支持されたエアシリンダに取り付け、相手材を取り付けたホルダは自在継ぎ手を介して DC モータに接続した。エアシリンダへの空気圧を調整することにより、試験片に任意の荷重を負荷し、相手軸回転時に、試験片に加わる摩擦力を、トルクアームとロードセ

ルにより測定した。試験条件を表 1 に、実験の概要を図 4 に示す、ドライ環境、精製水を用いた水潤滑、また PEEK 材とセラミックヒーターを用い、試験表面温度 100 °C を保ち、高温下における試験を実施した、摺動試験後の試験片の摩耗量は、キーエンス社製レーザー顕微鏡 VK-X150 によって測定した。加えてナノフoton社製レーザーラマン顕微鏡 RAMANtouch を利用し試験後の試験片表面の炭素の元素分析を行った。

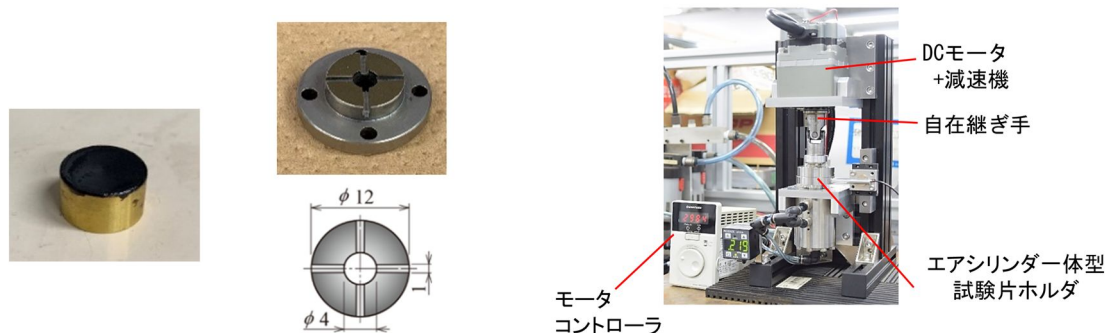


図 1 摺動試験片

図 2 相手軸

図 3 リングオンプレート摩擦試験機

表 1 摺動試験条件

Load : w , N	50	
Contact area : A , mm ²	100	
Contact pressure : $p = w/A$, MPa	0.5	
Sliding speed, m/s	0.025	
Mating material	SUS420J2	
Lubrication condition	Dry(RT, 100)	Water
Total sliding distance, m	125	
Total sliding distance, hrs.	1.39	

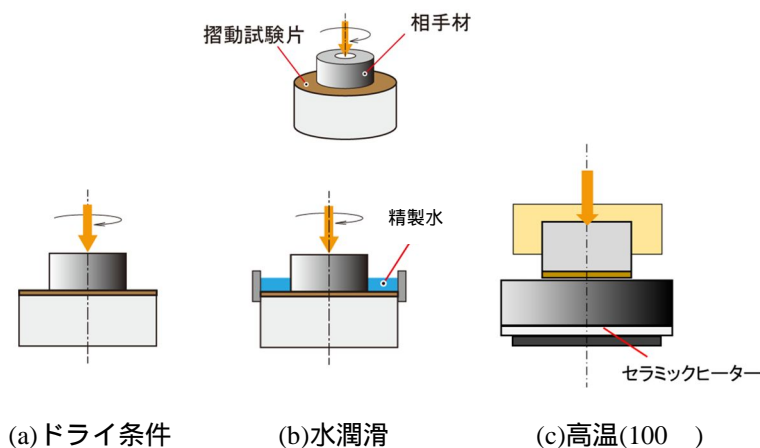


図 4 ドライ、水潤滑および高温試験の概要

摺動試験結果 図 5 および図 6 に、ドライ条件、水潤滑条件において、固体潤滑剤を変化させた際の、摩擦係数と、摺動材の摩耗量の比較結果のまとめを示す。何れの固体潤滑剤についても、固体潤滑剤の配合比率は 30wt% としている。図に示すように、摩擦係数については、PTFE < グラファイト < hBN、摩耗量については、PTFE < グラファイト << hBN であり、ドライ条件、水潤滑条件の何れにおいても、PTFE が優れるという結果であった。なお、PTFE とグラファイトについては、粒子径を変化させた 2 種類の固体潤滑剤を使用した。何れにおいても、耐摩耗性に優れるのは粒子径の大きいものであった。次に、図 7 および図 8 に、100 °C の高温条件における、摩擦係数と、摺動材の摩耗量の比較結果を示す。固体潤滑剤はグラファイトと PTFE とした。常温のドライ条件や水潤滑条件と異なり、高温環境では、グラファイトを固体潤滑剤として使用した方が、摩擦係数、摩耗量の何れにおいても PTFE よりも優位となった。ラマン分光法による分析の結果、グラファイトに関しては、常温と 100 °C 環境の何れにおいても、摺動試験前は G バンドが優位で D バンドは殆ど見られず、摺動試験後は D バンドの増加が見られたが、試験温度による違いは殆ど見られなかった。このことから、グラファイトに関しては、常温、100 °C 環境の摺動特性の変化が小さいことが明らかとなった。一方、PTFE を使用した場合は、摺動試験後の摺動面表面のフッ素原子の存在量を SEM にて分析した所、100 °C 環境では、常温環境より

もフッ素原子の存在量が少ないことが明らかとなった。100 環境では、摺動にともなう PTFE の移着膜の生成が少なく、それが摩擦係数や摩耗量の増加につながったと考えられる。以上の事から、常温ドライ、水潤滑条件では PTFE が優れ、高温ではグラファイトが、漆に混合する固体潤滑剤として優れることが明らかとなった。実用的には、それぞれの固体潤滑剤を単一で使用するのではなく、2 種類を組み合わせることで、常温ドライ、水潤滑条件、高温の何れの環境でも優れた摺動特性を得ることができると考えられる。

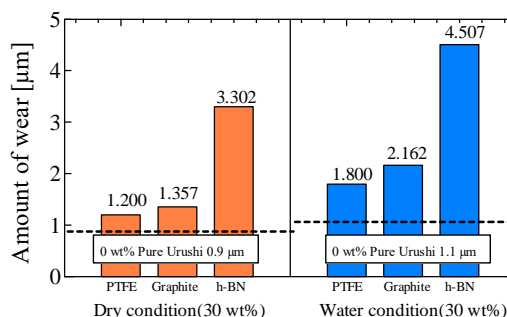
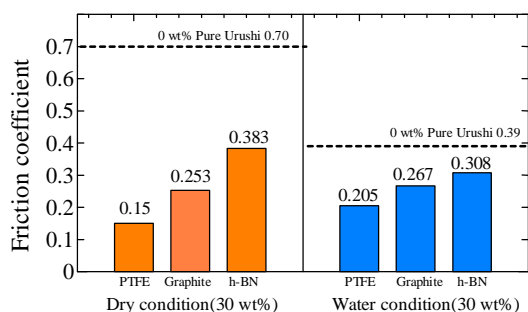


図 5 摩擦係数の比較（ドライおよび水潤滑） 図 6 摩擦量の比較（ドライおよび水潤滑）

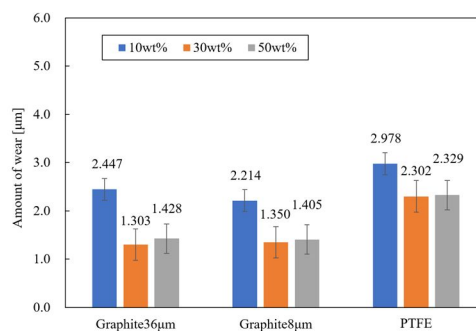
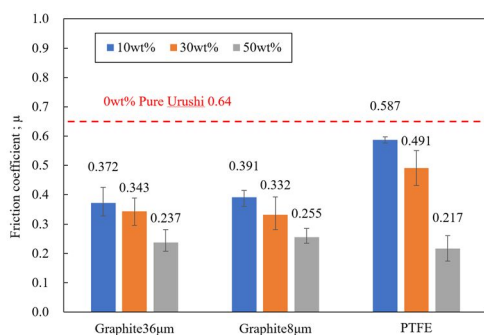


図 7 摩擦係数の比較（高温 100 環境）

図 8 摩擦量の比較（高温 100 環境）

(2) 機械的強度の評価

強度試験用試験片 図 9 に示す試験片は、115 mm×100 mm に切断したブロード生地に生漆と固体潤滑剤である PTFE を混合したものを塗布した後、積層し、硬化させ、加工したものである。試験片は熱プレス機（約 200 度）で 2.00×10^6 Pa の圧力を 4 時間かけ続けながら加熱重合により硬化させた。生漆は国産の漆（ウルシオール約 76%，水分約 24%）を使用した。試験片においては、漆に固体潤滑剤として PTFE をそれぞれ 10wt%，15wt%，20wt% 配合し、それぞれの濃度について、PTFE を配合していない場合に成型後の厚さが JISK7017 の試験条件の範囲に収まる枚数と同数の生地を用いた厚さ（積層枚数 30 枚）と、成型後の厚さが JISK7017 の試験条件の範囲に収まるように生地の枚数を減らした厚さ（10，15wt% では積層枚数 29 枚，20wt% では 28 枚）の 2 種類の厚さの試験片を用意した。加えて PTFE を配合していない試験片を比較のために用意した。試験は以上の 7 種類の試験片についてそれぞれ 5 回ずつ行った。

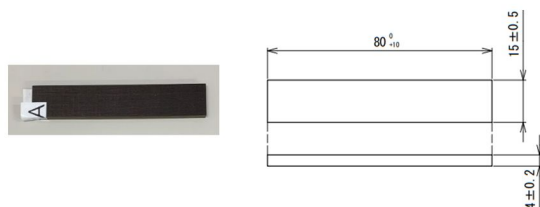


図 9 強度試験用試験片外観および主要寸法

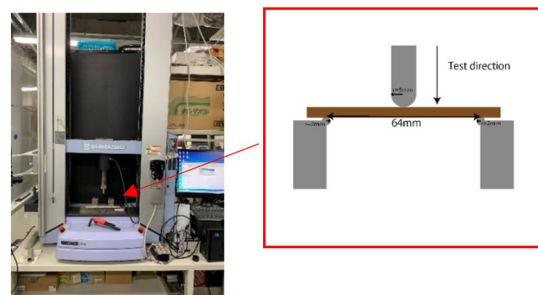


図 10 曲げ試験装置およびその概要

強度試験測定実験方法 曲げ試験には、図 10 に示す精密万能試験機 オートグラフ AG-Xplus を用いた。試験片にかかる荷重とそれによるたわみを材料試験オペレーションソフトウェア TRAPEZIUMX によって測定した。試験条件を表 2 に示す。試験で得られた値から応力 σ_f [MPa]を式(1)から、ひずみ ϵ_f を式(2)から、曲げ弾性率 E_f [MPa]を式(3)によって計算した。

$$\sigma_f = 3FL/2bh^2 \quad (1)$$

$$\epsilon_f = 6Sh/L^2 \quad (2)$$

$$E_f = (L^3/4bh^3)(\Delta F/\Delta S) \quad (3)$$

F : 荷重 [N] L : 支点間距離 [mm] h : 試験片の厚さ [mm]

b : 試験片の幅 [mm] S : 中央の点でのたわみ [mm]

ΔF : $\epsilon'=0.0005$ 及び $\epsilon'=0.0025$ での荷重の差 [N]

ΔS : $\epsilon'=0.0005$ 及び $\epsilon'=0.0025$ でのたわみの差 [N]

表 2 試験条件

Test speed	2 mm/min
Diameter of indenter (pressure side)	10 mm
Diameter of indenter (fulcrum side)	4 mm
Distance between fulcrums	64 mm

強度測定結果 表 3 に試験から得られた破断時の曲げ応力、曲げ強さ、曲げ弾性率、破断時のひずみを試験条件ごとに平均したものを示す。図 11 は表 3 の値に最も近いデータを各条件から 1 つずつ抽出した応力-ひずみ線図である。積層枚数 30 枚の試験片は、曲げ強さや曲げ弾性率の値に差はあれど、曲げ強さ付近で引張破壊が発生し、曲げ応力が急降下した後低く安定するという点で傾向が一致している。このことから、PTFE の濃度は試験片を曲げた際の挙動には影響は無いが、濃度の増加にともなって曲げ強さなどの各値が小さくなっている。次に曲げ強さに注目すると、PTFE の濃度の変化による値の変化は 0wt% から 10wt% で 17.89%、10wt% から 15wt% で 14.35%、15wt% から 20wt% で 12.43% であり、濃度の増加にともない減少する傾向にあることが分かる。表 4.2.2 から破断時のひずみは PTFE の濃度の上昇にともない大きくなること分かる。この傾向は積層枚数に関わらず確認できるため、PTFE の存在によって材料の柔性が高くなっていくと考えられる。ただし、破断時のひずみの変化は濃度の上昇に伴って小さくなっていくため、ある濃度以上では変化しなくなると考えられる。実用されているフェノール樹脂軸受オイレックス#250-07 の曲げ強さ 110 MPa と比較すると、今回製作した摺動材料の曲げ強さは 50% 以下にとどまった。本試験片とフェノール樹脂軸受は加熱温度や加熱時間、積層枚数、加圧圧力など様々なパラメータが異なっている。積層枚数の変化が曲げ強さに大きな変化をもたらした本実験の結果を踏まえると、積層枚数を増やすことがこの差を埋めるために効果的であると考えられる。他にも、加圧圧力を小さくすることで、漆が過剰にこぼれることを防ぎ、試験片内部の漆の密度を向上させることが曲げ強さを強くするために効果的であると考えられる。

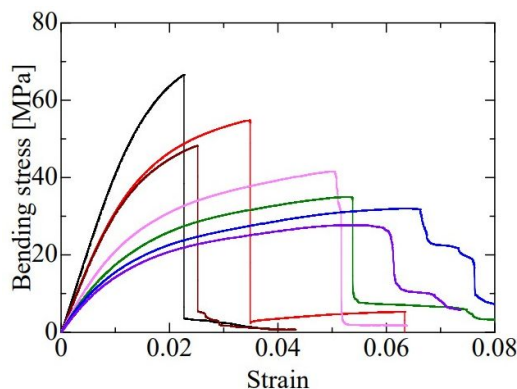


図 11 曲げ試験結果 (応力-ひずみ線図)

表 3 曲げ試験による機械的強度のまとめ

Number of laminated sheets	Density of PTFE (wt%)	Bending stress at break σ_{fB} (MPa)	Bending strength σ_{fm} (MPa)	Flexural Modulus E_f (MPa)	Strain at break ϵ_{fB} ($\times 10^{-2}$)
30 sheets	0wt%	63.35	65.06	4378.47	2.11
	10wt%	52.22	53.42	3476.85	3.10
	15wt%	42.38	45.76	2952.06	4.02
	20wt%	35.14	40.07	2659.25	5.26
29 sheets	10wt%	28.78	34.35	2105.51	5.94
	15wt%	26.89	33.21	2082.26	6.24
28 sheets	20wt%	24.86	28.80	1941.67	5.92

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shu Sasaki, Shouhei Kawada, Akinori Sakai, Yasuyuki Nagata, Masaaki Miyatake1, Shinya Sasaki and Shigeka Yoshimoto
2. 発表標題 Tribological Performance of Natural Resin Urushi containing Solid Lubricant under Dry Condition and Water Lubricated Condition
3. 学会等名 WTC2022(7th World Tribology Congress) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田泰之, 川田将平, 宮武正明, 佐々木信也, 吉本成香
2. 発表標題 漆に六方晶窒化ホウ素を添加した摺動材料の摩擦・摩耗特性に関する研究
3. 学会等名 トライボロジー会議2022 秋 福井
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木秀, 川田将平, 宮武正明, 佐々木信也, 吉本成香
2. 発表標題 漆にグラファイトを添加した摺動材料の摩擦・摩耗特性に関する研究(ドライおよび水潤滑における評価)
3. 学会等名 トライボロジー会議2021 秋 松江
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akinori Sakai, Shouhei Kawada, Masaaki Miyatake, Shinya Sasaki and Shigeka Yoshimoto
2. 発表標題 Lubricating Performance of Japanese Lacquer (Urushi) Under Dry and Water Lubrication
3. 学会等名 2019 STLE Tribology Frontiers Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分 担 者	川田 将平 (Kawada Shouhei) (60822517)	関西大学・システム理工学部・准教授 (34416)	

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
---------	---------