

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22099

研究課題名(和文) 触診型テラヘルツグローブの創出と新規低侵襲検査応用

研究課題名(英文) Creation of a tactile terahertz glove and its application to novel minimally invasive testing

研究代表者

河野 行雄 (Yukio, Kawano)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：90334250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：これまで様々な工業製品が日常生活に浸透しより快適で便利な社会が実現されてきたが、これらの安全性を確認するための検査技術が求められている。本研究では、違和感の少ないやわらかいテラヘルツ帯センサを作製し、人に装着して対象を触りながら検査する触診型テラヘルツ検出グローブを開発した。このセンシング技術の応用として、配管に適用し不具合箇所の検知に使用できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、電波と光の中間に位置するテラヘルツ帯の電磁波を利用したイメージングが着目されており、食料品や医薬品などの非破壊品質検査への応用が期待されている。この目的のため、コンパクトで簡便なテラヘルツ検査システムが求められている。本技術はやわらかいテラヘルツセンサに基づいた設計であるため、従来の検査技術のネックであった測定対象の制限や大規模な測定系という課題を回避でき、様々な場所・環境における品質検査や即時検査の実現につながる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Various industrial products have penetrated into our daily lives and have made our society more comfortable and convenient. However, there is a need for inspection technology to confirm the safety of these products. In this study, we fabricated a soft terahertz sensor and developed a tactile terahertz detection glove that can be worn by a person to inspect objects while touching them. As an application of this sensing technology, it was shown that the glove can be applied to pipes to detect defective parts.

研究分野：テラヘルツ・光工学

キーワード：テラヘルツ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

これまで様々な工業製品が日常生活に浸透しより快適で便利な社会が実現されてきたが、その一方で製品やそこに携わる人の安全性を担保するための検査技術が強くと求られている。特に今後、IoT や人工知能に基づく技術が社会に入ることに伴って、より高精度な検査システムの開発・導入が必要不可欠となる。検査システムの例として、超音波を利用したエコー検査や X 線を利用したレントゲン撮影等、いくつかの可視化技術が使用されている。近年、この中で電波と光の中間に位置するテラヘルツ帯（ 10^{12} Hz, THz）の電磁波を利用したイメージングが注目されている。THz 波は高い透過率と解像度を併せ持つことや有機高分子の分子間振動との共鳴に起因する指紋スペクトルを有することから、食料品や医薬品の非破壊品質検査といった応用が期待されている。

しかしながら、THz 帯に限らず、一般的な撮像デバイスは平面的な構造であるため、2次元平面上の画像を得ることに適している。ところが、現実的な測定対象は3次元的な曲面形状を持つことが多い。したがって、人の体や薬剤、医療器具といった対象の全曲面を全方位で検査する（マルチビュースキャン）ためには、撮像デバイスが測定対象を360度回転させる必要がある。そのため、測定系の大規模化・煩雑化や、測定対象の制限、測定時間の増加を引き起こしてしまうという問題があった。

2. 研究の目的

応募者らはこれらの問題を解決するため、以前に3次元的な任意の形状に容易にフィットし全方位検査が行えるフレキシブル THz スキャナーを世界に先駆けて開発した。本研究ではさらにその究極的な型として、任意の形状の測定対象を、所望の場所で簡便に検査することができる、人に装着可能な“触診型 THz 検査グローブ”の創出を目的とする。これにより、従来の検査技術のネックであった測定対象の制限や大規模な測定系の課題を回避し、工場内の入り組んだ環境での品質検査や、訪問医療等の移動先での即時検査といった従来の非破壊検査技術では難しいとされた検査応用の実現が期待される。

3. 研究の方法

本目的を達成するため、違和感の少ないやわらかい THz センサ並びに触診式で微弱な信号を検出するための高感度検出機構を創出し、検査グローブの応用実証を行う。

研究項目(1) やわらかい THz センサの開発

上記の目的達成のため、構成材料全てを折り曲げ可能とし、THz センサにやわらかさを付加する。外部からの力学的変化に対して特性が大きく劣化しないことを、THz 応答測定からチェックする。

研究項目(2) 微弱な信号検出のための高感度検出機構

カーボンナノチューブ膜へのドーピングによる検出感度最適化を行う。THz イメージングにより、ドーピングした箇所の THz 応答の空間プロファイルを精査する。測定対象に応じては多数素子のアレイも行う。

研究項目(3) 検査グローブの応用実証

THz 検査グローブの応用として、実際に測定対象に適用し、不具合箇所の検知に使用できることを示す。

4. 研究成果

研究前半では、違和感を軽減するためやわらかさを有する THz センサの開発を行った。電極、センシング材料、基板すべてをフレキシブル素材にし、センサを作製した。作製したデバイスの電流-電圧特性と THz 応答特性の測定結果より、フレキシブル素材の使用による性能劣化がないことを確認した。また、グローブに THz センサを装着した形での使用を想定した反復引張試験や圧縮試験を通して、このデバイスの耐久性を示すことができた。以上から、触診型 THz グローブに向けた基礎特性を確認することができた。

研究後半では、センサ材料の性能評価、応用実証の 2 点を実施した。前者では、検出感度を構成する各種パラメータの物理量を評価した。センサ材料へのドーピングによりフェルミ準位を変えながら上述の量を系統的に測定し、物理機構を明らかにした。最終的にそれぞれの量の掛け算によりフェルミ準位の関数としてプロットした。結果的に検出感度の点から最適値を見出すことができた。同時に THz イメージング測定により、その空間プロファイルからドーピングが確実に行われていることを確認し、ドーピングによる THz 応答の増大を明らかにした。後者では配管検査に適用し、信号変化をモニターすることで、非破壊で不具合の検知を行うことができた。以上から、触診型 THz 検査としての応用まで示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Daichi Suzuki, Kou Li, Koji Ishibashi, and Yukio Kawano	4. 巻 31
2. 論文標題 A terahertz video camera patch sheet with an adjustable design based on self aligned, 2D, suspended sensor array patterning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2008931
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adfm.202008931	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Toshio Sugaya and Yukio Kawano	4. 巻 21
2. 論文標題 Frequency Tunable Terahertz Plasmonic Structure based on Solid Immersed Method for Sensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1419
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21041419	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 Kou Li, Daichi Suzuki, and Yukio Kawano	4. 巻 2
2. 論文標題 Series Photothermoelectric Coupling Between Two Composite Materials for a Freely Attachable Broadband Imaging Sheet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Photonics Research	6. 最初と最後の頁 2000095
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adpr.202000095	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 D. Suzuki, T. Okamoto, J. Li, Y. Ito, T. Fujita, and Y. Kawano	4. 巻 173
2. 論文標題 Terahertz and Infrared Response Assisted by Heat Localization in Nanoporous Graphene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 403-409
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.carbon.2020.10.059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Li, R. Yuasa, R. Utaki, M. Sun, Y. Tokumoto, D. Suzuki, and Y. Kawano	4. 巻 -
2. 論文標題 Robot-assisted, source-camera-coupled multi-view broadband imagers for ubiquitous sensing platform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications, accepted for publication	6. 最初と最後の頁 -
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 河野行雄	4. 巻 49
2. 論文標題 共鳴周波数可変型プラズモニクテラヘルツ集光デバイスによる生体分光画像観察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 光学 (日本光学会誌)	6. 最初と最後の頁 501-507
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Okamoto, Naoki Fujimura, Luca Crespi, Tetsuo Kodera, and Yukio Kawano	4. 巻 9
2. 論文標題 Terahertz detection with an antenna-coupled highly-doped silicon quantum dot	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18574-1 - 18574-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-54130-0	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 D. Suzuki and Y. Kawano	4. 巻 162
2. 論文標題 Flexible terahertz imaging systems with single-walled carbon nanotube films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 13 - 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.01.113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菅谷 俊夫、河野 行雄	4. 巻 5
2. 論文標題 テラヘルツ帯周波数可変型プラズモニックプロープとフレキシブル・ウェアラブルイメージャー	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 OPTRONICS	6. 最初と最後の頁 73 - 78
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 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計48件 (うち招待講演 20件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Subwavelength biological spectroscopy and imaging with frequency-tunable terahertz plasmonic structures
3. 学会等名 SPIE International Symposium on Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 走査型近接場光顕微鏡を用いた光電界ベクトル分布のナノスケール直接観測とその応用
3. 学会等名 日本光学会年次大会シンポジウム「光波シンセシスとナノオプティクス」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 フレキシブル広帯域光センサアレイと生体センシング応用
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期大会シンポジウム「医用材料・医療機器開発の最前線()～光を用いる生体情報イメージング～」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 フレキシブル・ウェアラブル広帯域光・テラヘルツカメラと分析検査応用
3. 学会等名 レーザ・量子エレクトロニクス研究会 8月研究会「受光素子, 変調器, 光部品・電子デバイス実装・信頼性, 及び一般」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 ナノカーボンのテラヘルツ・光センシング応用
3. 学会等名 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会 リレーウェビナー(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kou Li, Yukio Kawano
2. 発表標題 Wearable broadband photo-thermoelectric sensor sheet with flexible carbon nanotube thin channel films for passive liquidity monitoring
3. 学会等名 International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryogo Utaki, Kou Li, Yukio Kawano
2. 発表標題 A stretchable wideband photo-thermoelectric wrap scanner sheet for wearable and noninvasive liquid quality monitoring
3. 学会等名 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kou Li, Ryogo Utaki, Meiling Sun, Yukio Kawano
2. 発表標題 A highly-sensitive and highly-integrated flexible broadband imager with 3D printed -shaped photo-thermoelectric pixel structures
3. 学会等名 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Wada, Kou Li, Meiling Sun, Ryogo Utaki, Yukio Kawano
2. 発表標題 Nondestructive terahertz shape restoration of 3D object with photo source-coupled ultrabroadband carbon nanotubes scanners
3. 学会等名 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 卯滝峻伍、李恒、河野行雄
2. 発表標題 ストレッチャブル広帯域光熱電センサーシートの赤外輻射信号計測によるラベルフリーなパッシブ液質モニタリング
3. 学会等名 第36回近赤外フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李恒、河野行雄
2. 発表標題 簡易3D印刷手法による薄膜カーボンナノチューブフィルムチャンネルとBi ₂ Te ₃ 化合物との直列パイ構造形成及び超高感度光熱起電力型フレキシブルイメージセンサデバイスへの応用
3. 学会等名 第17回薄膜材料デバイス研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安井 臯、李恒、卯滝峻伍、河野行雄
2. 発表標題 ポリマー・金属多層積層型薄膜カーボンナノチューブフィルムセンサーシートの作製と光熱起電力型撮像性能特性の改善
3. 学会等名 第17回薄膜材料デバイス研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 卯滝峻伍、李恒、河野行雄
2. 発表標題 PN接合の直列集積構造によるカーボンナノチューブフィルム型光熱起電力センサーの感度向上および液体検査応用
3. 学会等名 第17回薄膜材料デバイス研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李恒、河野行雄
2. 発表標題 高性能マルチビュー電磁波センシング計測に向けたSWCNTフィルムの光熱電物性探求と任意三次元形状に形成可能な薄膜集積パッチシートへの応用
3. 学会等名 第47回炭素材料学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田翔太、李恒、孫美玲、卯滝峻伍、河野行雄
2. 発表標題 光源一体型テラヘルツスキャナーを用いた透過三次元形状復元
3. 学会等名 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 卯滝峻伍、李恒、孫美玲、和田翔太、河野行雄
2. 発表標題 PN集積単層カーボンナノチューブフィルム型光熱起電力センサーによる黒体輻射検出に基づくパッシブ液体検査
3. 学会等名 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 Shota Wada, Kou Li, Meiling Sun, Ryogo Utaki, Yukio Kawano
2. 発表標題 Three-Dimensional Shape Reconstruction in Millimeter-Terahertz Wave Regions with Carbon Nanotube Film Array Scanners
3. 学会等名 2020 International Topical Meeting on Microwave Photonics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川智也、李恒、河野行雄
2. 発表標題 湾曲面回転電磁波センシング計測に向けたカーボンナノチューブ薄膜型光熱電パッチシートスキャナーの設計
3. 学会等名 第17回薄膜材料デバイス研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Nano-carbon bendable terahertz camera: a tool for multi-view inspection
3. 学会等名 1&2D Materials International Conference and Exhibition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Nano-Carbon Flexible Photonics and Plasmonics for Terahertz and Infrared Applications
3. 学会等名 10th A3 Symposium on Emerging Materials: Nanomaterials for Electronics, Energy and Environment (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Nano-Carbon Flexible Camera and Frequency-tunable Plasmonic Imager
3. 学会等名 5th International Symposium on Microwave/Terahertz Science and Applications (MTSA2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Meiling Sun
2. 発表標題 Remote Selective Liquid Inspection with Carbon Nanotube Terahertz Imagers
3. 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryogo Utaki
2. 発表標題 Carbon Nanotube Film Terahertz Detectors with Multiple PN Junctions
3. 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kou Li
2. 発表標題 Multi-view Terahertz Imagers with Flexible Carbon Nanotube Film Arrays
3. 学会等名 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Non-invasive Bio-imager Based on Frequency-tunable Terahertz Plasmonics
3. 学会等名 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kawano
2. 発表標題 Nano-carbon flexible terahertz camera for multi-view inspection
3. 学会等名 Graphene 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 フレキシブル・ウェアラブル広帯域光・テラヘルツカメラと分析検査応用
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会企画シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 ナノカーボン材料によるフレキシブル・ウェアラブルテラヘルツ・赤外帯カメラとマルチビュー画像検査技術
3. 学会等名 電子情報技術産業協会先端イメージングデバイス・技術分科会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 2次元フレキシブル広帯域光検出センサー
3. 学会等名 日本金属学会研究会「光を用いた生体情報イメージング」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 ナノカーボンテラヘルツ帯カメラとフレキシブル・ウェアラブル分析
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「ナノカーボン・原子層物質の新展開と将来展望」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 フレキシブルテラヘルツイメージング技術の開発と産業・医療応用
3. 学会等名 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会第177回研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 カーボンナノデバイスによるフレキシブル・ウェアラブルテラヘルツ帯カメラと全方位画像検査
3. 学会等名 テラヘルツテクノロジーフォーラム・2019 年度講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野 行雄
2. 発表標題 ナノカーボン材料によるフレキシブル・ウェアラブルテラヘルツ帯カメラとマルチビュー画像検査技術
3. 学会等名 テラヘルツ波科学技術と産業開拓第182委員会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Meiling Sun
2. 発表標題 Remote and Real-time Monitoring on Chemical Reaction with Flexible Carbon Nanotube Terahertz Imagers
3. 学会等名 2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Tokumoto
2. 発表標題 Easy-printable Transfer Method of Carbon Nanotube Thermal Sensor for Passive and Noninvasive Human Motion Monitoring
3. 学会等名 2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryogo Utaki
2. 発表標題 Remote Liquid Sensing by a Multi-Angle Passive Scanner with Flexible Carbon Nanotube Films
3. 学会等名 2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kou Li
2. 発表標題 Ubiquitous around view photo-thermal monitoring system with flexible carbon nanotube
3. 学会等名 2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田 翔太
2. 発表標題 カーボンナノチューブ検出器アレイを用いたテラヘルツ三次元形状判別
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳本 悠
2. 発表標題 小型テラヘルツ測定系を用いた化学反応のリモート・リアルタイムモニタリング
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 湯浅 遼一
2. 発表標題 ナノカーボン材料によるテラヘルツ内視鏡の開拓と 広角非破壊検査応用
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 卯滝 峻伍
2. 発表標題 高感度テラヘルツ波検出に向けたPN接合型カーボンナノチューブセンサーの熱電設計
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 恒
2. 発表標題 光源搭載型携帯式アラウンドビューカメラの創出と工業製品の高速全方位非破壊画像計測への応用
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Tokumoto
2. 発表標題 Stretchable Terahertz Imagers for Wearable Bio-monitoring Applications
3. 学会等名 44th International Conference on Infrared, Milimeter, and Terahertz Waves (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳本 悠
2. 発表標題 Easy-printable Transfer Method of Carbon Nanotube Thermal imager for Passive and Noninvasive Human Motion Monitorin
3. 学会等名 11th Multidisciplinary International Student Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫 美玲
2. 発表標題 In-line Remote Medicine Inspection with Flexible Terahertz Imagers
3. 学会等名 12th Multidisciplinary International Student Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 恒
2. 発表標題 Multifunctional around-view monitoring robots for ubiquitous social safety-net system
3. 学会等名 11th Multidisciplinary International Student Workshop
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 李 恒
2. 発表標題 高感度立体テラヘルツ画像計測の実現に向けたナノカーボン材料の光熱電物性探求と任意三次元形状に形成可能な薄膜集積撮像シートへの応用
3. 学会等名 テラヘルツ科学の最先端
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Roichi Yuasa
2. 発表標題 Self-driving Carbon Nanotube Film-based Omnidirectional Infrared Endoscope
3. 学会等名 2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 李 恒, 菅谷 俊夫, 河野 行雄	4. 発行年 2019年
2. 出版社 NTS出版	5. 総ページ数 558
3. 書名 グラフェンから広がる二次元物質の新技术と応用	

1. 著者名 李 恒, 河野 行雄	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 341
3. 書名 次世代熱電変換材料・モジュール開発と信頼性 熱電発電の黎明	

〔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

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