

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 4 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04926

研究課題名（和文）ハイブリッド化学・物理検出機能集積フレキシブル健康管理パッチ

研究課題名（英文）Flexible, hybrid chemical and physical healthcare sensor patch

研究代表者

竹井 邦晴（Takei, Kuniharu）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：20630833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では化学センサと物理センサを融合した新規ウェアラブル健康管理デバイスの開発を行った。特に化学センサでは、電荷転送型（CCD）フレキシブルpHセンサを初めて開発することで高性能な汗中のpH計測を実現した。物理センサとしては、心電図、呼吸、皮膚温度、皮膚湿度を構造や材料を工夫することで高精度且つ安定に計測するフレキシブルセンサへと発展させた。これら多種センサをフレキシブルフィルム上に集積し、無線による一括計測を実現する無線・信号処理回路を開発した。最後にこれら集積センサシートと無線システムを融合することで人からの常時・連続な多種バイタル計測の実証試験を行うことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、新しい電子デバイス構造の提案による化学センサ、新しい材料による温度センサや湿度センサ、新規構造によるセンサの高精度化、そして多種センサをフレキシブルフィルム上に一括形成するプロセス技術の開発に成功した。これらは電子工学、材料工学、計測学、そしてプロセス学として新たな知見を創出したものであり学術的な貢献度は非常に大きい。また開発したセンサを常時生体計測へと展開したことから今後医工連携へと繋がる成果である。もし今後医工連携へと発展し、ウェアラブルデバイスで健康管理ができるような社会が実現できれば、健康で安全・安心・快適な社会へと発展することが期待できるものである。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop a new type of wearable and flexible device to allow continuous and real-time vital signals from skin surface by realizing high performance and high reliable physical and chemical sensors. For a chemical sensor, a charge-coupled device concept was applied to a flexible pH sensor, resulting in that high performance sweat pH detection was realized. In addition to the chemical sensors, electrocardiogram, respiration, and skin temperature sensors were developed as physical sensors with high reliability for a long-time monitoring. After characterizing the sensor performances and optimizing the materials and structures, process development was conducted to integrate all sensors on a flexible film. The multimodal flexible sensor sheet and the wireless circuit system was combined to study the physiological monitoring. By attaching the sensor system, real-time and continuous vital monitoring was successfully realized with stable and reliable data collections.

研究分野：フレキシブルエレクトロニクス

キーワード：フレキシブルセンサ ウェアラブルデバイス 化学センサ 健康管理 ハイブリッドシステム 物理センサ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

健康社会及び高齢化社会により、今後益々、便利で快適、違和感無く健康状態を計測・管理する需要が増すことは間違いない。その一つの方法としてデバイスを絆創膏のように装着し健康状態を計測する方法がある。本実現には、人の日常生活に完全に融和した装着感・違和感のないフレキシブル健康管理デバイスが必要である。特に汗や皮膚ガスには体の健康状態を示す重要な化学物質が多く含まれており、それら変化を観測することで体の異常信号を早期に検出することが可能となる。これら健康状態のリアルタイム計測により、健康管理・在宅医療、病状の早期発見、予防医学等への適用が期待でき、これまでの健康の主観的な偶発的管理から、受動的な定常管理への道を拓くことが期待できる。

本健康管理デバイス実現へ向け、研究代表者はこれまでフレキシブル基板上へ無機ナノ材料を印刷形成することで、「温度」「心電」「加速度」センサや簡単なデジタル・アナログ回路を開発し、それらを集積させることで多機能フレキシブルデバイスの開発に成功してきた。

国内外の動向としても同様の健康管理デバイスの研究開発が進んでいる。そして次の計測目標は、物理情報に加え、体内の化学物質情報とされている。実際、汗からの化学物質計測デバイスとして、今年アメリカ及び韓国のグループからそれぞれ研究成果が報告されている。しかし、汗からの計測のみであり、測定原理及び感度の問題で、発汗時以外でも常に放出されている皮膚ガス(体臭)中からの化学物質計測や汗中の微小化学物質の高精度な計測は困難である。このようなことから化学センサの高感度化が望まれている。また化学成分のみではなく、活動量やその他生体情報(心電や体温等)を同時計測することで、情報解析の信憑性が高くなる。しかし、センサの多機能化及び集積化の研究も現状あまり進んでいない。

## 2. 研究の目的

上述のようにフレキシブル健康管理デバイスの実現にはまだ多くの課題がある。そこで本研究では、汗及び皮膚ガス中の化学物質の計測に向けた高感度センサとして、電荷転送型(CCD)フレキシブル化学イオンセンサを新たに提案し、さらに心電、皮膚温度、活動量センサを集積した『化学・物理ハイブリッド型、多機能装着型フレキシブル健康管理パッチ』の実現を目指す。新規ショットキー型 CCD 構造は、これまで開発してきたフレキシブル回路技術を応用・発展させることで実現する。また CCD 型センサの高性能化に向けた、ナノ材料界面の解析、化学成分検出材料の開発、そして多種センサの集積化プロセスの開発を行う。

## 3. 研究の方法

高感度 CCD 型フレキシブル化学センサ及び多機能健康管理パッチ実現へ向け、次の 5 個の課題を解決する。これまでの申請者の成果をさらに応用・発展させることで、① 新規 CCD 構造の提案、② 材料界面解析及び最適化、③ 化学物質のイオン感応膜の開発、④ 多種センサとの集積化、⑤ プロトタイプ開発、を実現する。研究期間を 4 年とし、デバイスを作製するだけでなく、電界制御により電荷転送を行う電子デバイス物理の解明や材料界面解析、さらにイオン感応膜の最適化の学術的取り組みも行う。CCD 構造の新規構造提案・解析及び、皮膚ガスや汗中のイオン感応膜の開発に加え、印刷形成による生体情報センサを集積させることで装着型健康管理フレキシブルパッチのプロトタイプ開発を行う。

## 4. 研究成果

### **① ショットキー型フレキシブル CCD 構造の新規提案及び動作解析**

デバイス構造及びプロセスを工夫することで、電荷の転送及び蓄積を行う Charge-Coupled Device (CCD) をフレキシブル基板上に作製することに成功した。図 1 に今回作製した CCD 型の

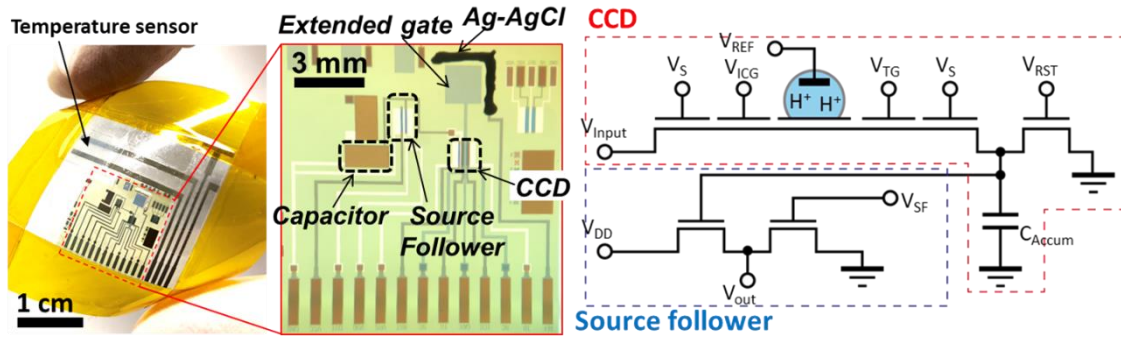


図 1. 開発したフレキシブル CCD 型 pH センサ (温度センサも集積している) (1)

フレキシブル pH センサの概略図及び回路図を示す。従来の CCD 構造では半導体材料中に pn 接合を形成していたが、フレキシブルフィルム上の半導体薄膜にこのような pn 接合を形成するのは非常に難しい。半導体と電極の接合部分のショットキー障壁を電圧により制御することで電荷の注入量を上手く制御することを提案した。本仕組みを実現するには多層のゲート電極構造が重要となり、その構造作製及び最適化を行った。構造の最適化等を行った後、その動作解析を行い、転送速度や蓄積回数などを評価した。これらの開発により、図 2a に示すように転送と蓄積を繰り返すことで出力電圧を増幅させることが可能であることが分かった。電荷の転送・蓄積が可能であることがわかったため、次に実際に pH 感応膜として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜を用いて異なる pH 溶液の計測を行った (図 2b)。結果から各 pH により出力電圧が異なっており、転送・蓄積回数を 100 回行うことで、出力電圧として約 240 mV/pH まで増幅可能であることがわかった。これは一般的な電気化学的計測で行う pH 感度の限界 (室温で約 60 mV/pH) を大きく上回るものである。これらの結果から、これまで課題であった化学センサの感度を複雑な増幅回路を使うことなく大きく向上させることに成功した。

本研究では、貼付型のウェアラブルデバイスの開発を目的としており連続且つ常時計測を実現させる必要がある。そこで CCD 型 pH センサには、蓄積させた電荷をリセットさせるトランジスタ ( $V_{RST}$ ) を搭載させることで、リアルタイム計測を可能にさせた。

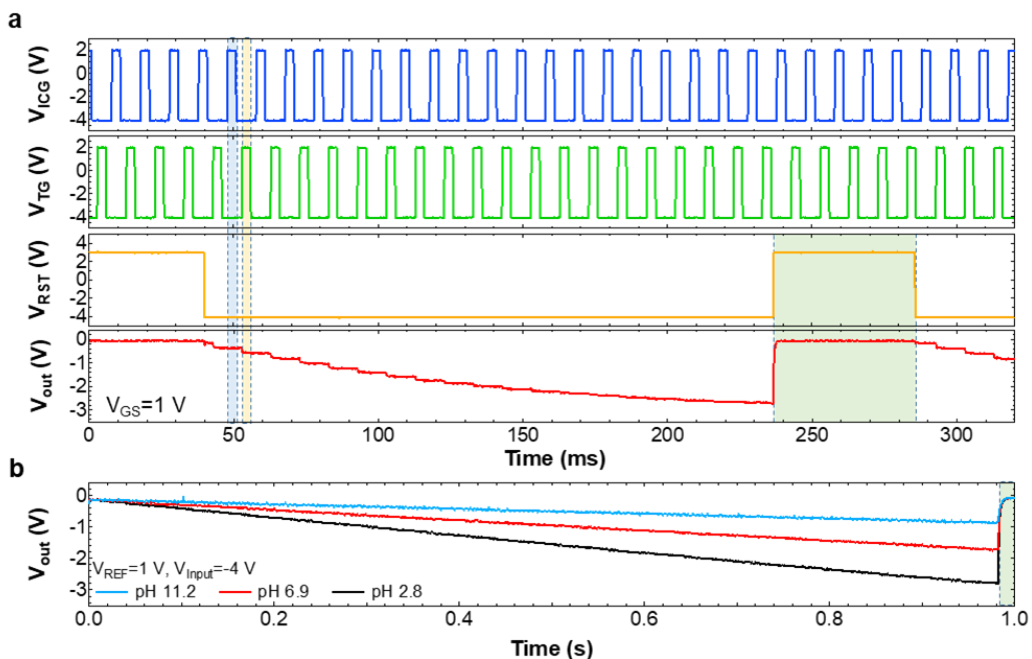


図 2 (a) CCD 駆動用入力電圧とそれに対応した出力電圧の計測結果。(b) pH 値を変えた場合の蓄積過程における出力電圧結果。100 回の蓄積後にリセットしている。(1)

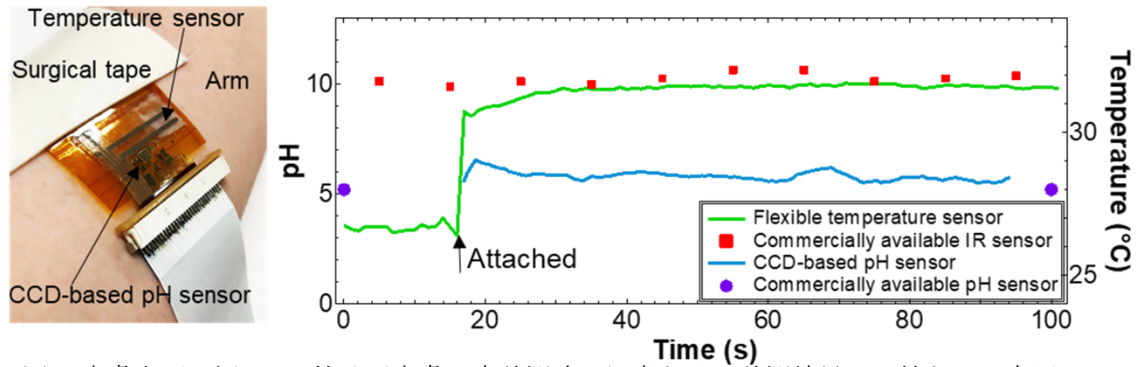


図3 皮膚表面の汗の pH 値及び皮膚温度計測時の写真とその計測結果。比較として市販の pH センサと温度計測用赤外線カメラの結果も同時に示す。(1)

最後に、図3のように、実際に腕に本センサを貼付することで汗の pH 値を高感度でリアルタイム計測することが可能であることを実証した。さらに物理センサとして皮膚温度計測及び化学センサの温度補正を行う目的でフレキシブル温度センサを集積させた。また結果は示さないが本センサは pH 値のみに大きく反応し、その他の Na イオンや K イオン（ウェアラブルデバイスでの汗 pH センサへの応用を検討）に対してはほとんど出力に影響を与えないことを確認している。

## ②汗中の化学物質計測用イオン感応膜の開発

ここまで CCD 型フレキシブル化学センサにおいて、基礎となる pH 計測用センサを開発してきた。汗中には他にも多くの化学物質が含まれている。その中でも本研究では糖尿病検知に向けたグルコースの検出を行うイオン感応膜の開発を行った。現在、論文投稿中であり詳しくは説明できないが、グルコースオキシダーゼと呼ばれる酵素を用いることで比較的安定して汗中のグルコース濃度を連続計測できることを確認した。さらに汗の蒸発によるグルコース濃度の濃縮を防ぐ方法としてフレキシブル流路を搭載させることで、長時間安定したグルコース濃度を計測できるように工夫した。特に重要な成果として、この流路の有無によるグルコース濃度の長時間計測における安定性評価に初めて成功した。このようなセンサ開発から課題解決までを一気に実施することで、より実用レベルに近いセンサを開発することができた。

## ③多機能化へ向けた多種健康管理センサ及びその実証試験

開発した化学センサを、物理センサと集積するプロセス開発を実施した。まず物理センサの開発として、①姿勢検知、呼吸検知、蒸れ検知するセンサ、②心電図、呼吸、皮膚温度、発汗を検知

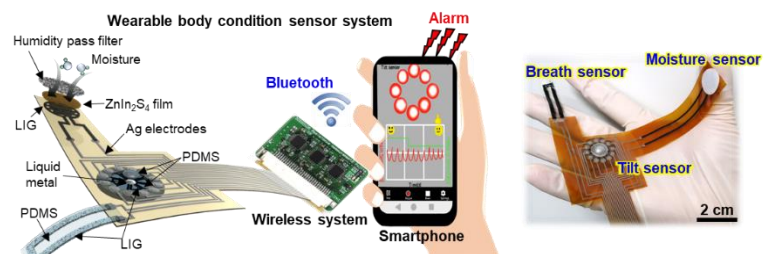


図4 姿勢、呼吸、蒸れ検知センサを集積したデバイス(2)

するセンサをそれぞれ開発した。図4には①の開発例を示す。ここでは大面積・低価格プロセスとして溶液プロセスを主とした作製技術を開発し、さらに無線システムを搭載させることで無線かつ連続・常時計測を可能にした。また図5に示すように、それを実際に無線で連続計測することに成功している。これにより例えば遠隔見守りなどへの応用展開が期待できる。そしてこのような多機能物理センサの集積化ができるようになってきたため、この技術を応用し、グルコースセンサや CCD 型化学センサを心電図、皮膚温度などの物理センサと集積したセンサの開発を

行った。論文投稿前であり、詳細を示すことはできないが発汗時においても心電図などの物理センサへ与える影響を極力抑えたセンサ構造を提案し、実際に常時計測が可能であることを確認できた。そして簡単であるが、バイタルが異常であると判断した場合、アラームを出すことで注意喚起するフィードバックシステムの開発にも成功した。現在は、これらセンサを用いて、被験者数名からデータの取得をすることも開始することができており、その得られたデータを解析することで、健康状態の予知等が出来ないかを検討している。

このようにこれまで計測が困難であった日常生活における様々なバイタル信号を連続計測することで、次世代の健康管理へと発展する基礎技術を本研究で開発することができた。実用化にはまだ多くの課題、例えばセンサシート貼付による蒸れの問題、伸縮性の問題、データ解析、電源など、が存在するが、本研究を継続することで、出来る限り早い段階で臨床試験や実用化へと展開できるようにしたい。

#### 参考文献

- (1) S. Nakata, M. Shiomi, Y. Fujita, T. Arie, S. Akita, K. Takei, *Nature Electronics*, Vol. 1, pp. 596-603, 2018.
- (2) K. Xu, Y. Fujita, Y. Lu, S. Honda, M. Shiomi, T. Arie, S. Akita, K. Takei, *Advanced Materials*, in press, 2021 (DOI: 10.1002/adma.202008701).

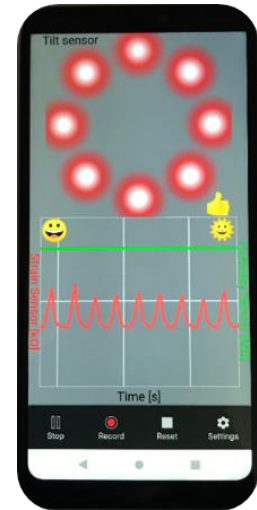


図5 図4のセンサの無線での連続計測結果<sup>(2)</sup>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 T. Yamaguchi, D. Yamamoto, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 10
2. 論文標題 Wrist flexible heart pulse sensor integrated with a soft pump and a pneumatic balloon membrane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 17353-17358
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0RA02316G	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 T. Nakajima, T. Yamaguchi, S. Wakabayashi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 5
2. 論文標題 Transformable pneumatic balloon-type soft robot using attachable shells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials Technologies	6. 最初と最後の頁 2000201
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/admt.202000201	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 S. Wakabayashi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 5
2. 論文標題 Very Thin, Macroscale, Flexible, Tactile Pressure Sensor Sheet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 17721-17725
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsomega.0c02337	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 S. Honda, M. Shiomi, T. Yamaguchi, Y. Fujita, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 6
2. 論文標題 Detachable flexible ISFET-based pH sensor array with a flexible connector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2000583
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/aelm.202000583	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 Y. Lu, K. Xu, L. Zhang, M. Deguchi, H. Shishido, T. Arie, R. Pan, A. Hayashi, L. Shen, S. Akita, K. Takei	4. 巻 14
2. 論文標題 Multimodal plant healthcare flexible sensor system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 10966-10975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c03757	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 該当する

1. 著者名 K. Xu, Y. Lu, K. Takei	4. 巻 in press
2. 論文標題 Flexible hybrid sensor systems with feedback functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	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) 10.1002/adfm.202007436	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 Y. Lu, K. Xu, M.-Q. Yang, S.-Y. Tang, T.-Y. Yang, Y. Fujita, S. Honda, T. Arie, S. Akita, Y.-L. Chueh, K. Takei	4. 巻 6
2. 論文標題 Highly stable Pd/HNb308-based flexible humidity sensor for perdurable wireless wearable applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale Horizons	6. 最初と最後の頁 260-270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NH00594K	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 該当する

1. 著者名 K. Xu, Y. Fujita, Y. Lu, S. Honda, M. Shiomi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 in press
2. 論文標題 A wearable body condition sensor system with wireless feedback alarm functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	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) 10.1002/adma.202008701	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 竹井邦晴	4. 巻 23
2. 論文標題 常時健康管理へ向けた貼付型フレキシブルセンサシート	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エレクトロニクス実装学会誌	6. 最初と最後の頁 347-352
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 Y. Xuan, Y. Lu, S. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 in press
2. 論文標題 Active-matrix-based flexible optical image sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials Technologies	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 W. Gao, H. Ota, D. Kiriya, K. Takei, A. Javey	4. 巻 52
2. 論文標題 Flexible electronics toward wearable sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 523-533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.8b00500	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 該当する

1. 著者名 K. Takei, W. Gao, C. Wang, A. Javey	4. 巻 107
2. 論文標題 Physical and chemical sensing with electronic skin	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE	6. 最初と最後の頁 2155-2167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPROC.2019.2907317	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 該当する



1. 著者名 T. Yamaguchi, T. Kashiwagi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 1
2. 論文標題 Human-like electronic skin-integrated soft robotic hand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 1900018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aisy.201900018	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 K. Xu, R. Zhou, K. Takei, M. Hong	4. 巻 6
2. 論文標題 Toward flexible surface-enhanced Raman scattering (SERS) sensors for point-of-care diagnostics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 1900925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.201900925	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 該当する

1. 著者名 K. Xu, Y. Lu, S. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 7
2. 論文標題 Highly stable kirigami-structured stretchable strain sensors for perdurable wearable electronics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 9609-9617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC01874C	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. Xu, Y. Lu, T. Yamaguchi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 13
2. 論文標題 Highly precise multifunctional thermal management-based flexible sensing sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 14348-14356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b07805	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 S. Wakabayashi, T. Yamaguchi, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 158
2. 論文標題 Out-of-plane electric whiskers based on nanocarbon strain sensors for multi-directional detection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 698-703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.11.042	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 竹井邦晴	4. 巻 37
2. 論文標題 皮膚表面から健康管理する貼付型フレキシブルセンサシート	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオインダストリー	6. 最初と最後の頁 20-31
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 竹井邦晴	4. 巻 102
2. 論文標題 プリンテッドフレキシブルセンサと今後の展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会	6. 最初と最後の頁 353-358
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 Honda Satoko, Zhu Qiang, Satoh Shojiro, Arie Takayuki, Akita Seiji, Takei Kuniharu	4. 巻 29
2. 論文標題 Textile-Based Flexible Tactile Force Sensor Sheet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1807957 ~ 1807957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201807957	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 Xu Kaichen, Lu Yuyao, Takei Kuniharu	4. 巻 4
2. 論文標題 Multifunctional Skin-Inspired Flexible Sensor Systems for Wearable Electronics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Materials Technologies	6. 最初と最後の頁 1800628 ~ 1800628
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/admt.201800628	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 Yamamoto Daisuke, Shiomi Mao, Arie Takayuki, Akita Seiji, Takei Kuniharu	4. 巻 11
2. 論文標題 All-Solution-Based Heterogeneous Material Formation for p-n Junction Diodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 1021 ~ 1025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b15900	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 Nakata Shogo, Shiomi Mao, Fujita Yusuke, Arie Takayuki, Akita Seiji, Takei Kuniharu	4. 巻 1
2. 論文標題 A wearable pH sensor with high sensitivity based on a flexible charge-coupled device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Electronics	6. 最初と最後の頁 596 ~ 603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41928-018-0162-5	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 Hasuike Yuya, Arie Takayuki, Akita Seiji, Takei Kuniharu	4. 巻 4
2. 論文標題 Planar-Type Printed Flexible Mechanical Switch	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1800134 ~ 1800134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aelm.201800134	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. Kanao, S. Nakata, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 4
2. 論文標題 Human-interactive multi-functional electronic wallpaper integrated with sensors and memory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Horizons	6. 最初と最後の頁 1079-1084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7mh00401j	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 Y. Yamamoto, D. Yamamoto, M. Takada, H. Naito, T. Arie, S. Akita, K. Takei	4. 巻 6
2. 論文標題 Efficient skin temperature sensor and stable gel-less sticky ECG sensor for a wearable flexible healthcare patch	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Healthcare Materials	6. 最初と最後の頁 1700495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adhm.201700495	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. Takei	4. 巻 56
2. 論文標題 Toward macro-scale, multi-functional flexible sensor sheets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Imaging Society of Japan	6. 最初と最後の頁 589-600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.56.589	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 -

〔学会発表〕 計64件 (うち招待講演 34件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible sensors and circuits for IoT applications
3. 学会等名 iCANX (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Multi-functional flexible sensor sheets for IoT society
3. 学会等名 PRiME 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible sensor sheets using carbon nanotube-based composite materials
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Spring/Fall Meeting & Exhibit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Wakabayashi, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Macro-scale graphene-based tactile pressure sensor array sheet
3. 学会等名 2020 Virtual MRS Spring/Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Multimodal flexible sensor sheets
3. 学会等名 The 27th International Display Workshops (IDW 20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 ナノカーボンと無機材料を用いたフレキシブルセンサシート
3. 学会等名 FNTG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 若林聖史、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 大面積フレキシブル触覚センサアレイ
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 竹井邦晴
2. 発表標題 フレキシブルエレクトロニクスの基本と応用展開
3. 学会等名 応用物理学会 2020年第4回ナノインプリント技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 若林聖史、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 フレキシブル電子ウイスカーアレイの開発
3. 学会等名 第一回FSE若手研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 フレキシブルデバイス開発、そして新たなスマート社会へ向けて
3. 学会等名 第一回FSE若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Xuan, Y. Lu, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Flexible image sensor array with active matrix circuitry
3. 学会等名 Joint International Conference on The 8th ICMAP & The 9th ISFM (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 スマート社会構築に向けた多機能フレキシブルセンサの開発とその展望
3. 学会等名 JACIナノフォトニクスエレクトロニクス交流会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yan Xuan, Yuyao Lu, Takayuki Arie, Seiji Akita, Kuniharu Takei
2. 発表標題 Flexible, active-matrix image sensor array integrated with ZnIn <sub>2</sub> S <sub>4</sub> nanosheets and InGaZnO transistor
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible sensors for healthcare applications and soft robotics
3. 学会等名 RoboSoft 2019 Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible sensors and memory integration toward electronic wallpaper
3. 学会等名 SID Display week 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Shiomi, S. Nakata, Y. Fujita, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Highly sensitive charge-couple device-based flexible pH sensors for wearable health care application
3. 学会等名 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Electronic skin-integrated soft robotic hand
3. 学会等名 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Inorganic-based flexible transistors for circuits and sensors
3. 学会等名 26th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD 19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible sensor sheets for Internet of Things
3. 学会等名 2019 International Symposium on Energy Conversion and Storage Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Carbon nanotube-based flexible temperature and tactile force sensors
3. 学会等名 NAUM 19 Industry Summit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei, S. Honda, Q. Zhu, S. Satoh, T. Arie, S. Akita
2. 発表標題 All textile-based tactile pressure sensor array
3. 学会等名 2019 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Macroscale flexible sensor sheets
3. 学会等名 SEMI Taiwan: Flextech seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Wakabayashi, T. Yamaguchi, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Out-of-plane flexible electronic whisker array
3. 学会等名 The 33rd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Wearable and flexible heart pulse sensor integrated with a soft pump and actuator
3. 学会等名 The 33rd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 ナノカーボンを用いたフレキシブルデバイス
3. 学会等名 第57回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田智子、朱強、佐藤庄次郎、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 布を用いたフレキシブル圧力センサシート
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 若林聖史、山口貴文、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 フレキシブル抵抗歪センサによる電子ウイスキー
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 大谷志帆、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 睡眠の質計測に向けたウェアラブル健康管理パッチの開発
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 穂積翔汰、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 汗中グルコース連続計測に向けたマイクロ流路一体型電気化学センサ
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 藤田祐亮、潮海麻生、中田尚吾、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 電荷転送・蓄積型フレキシブルpHセンサシステムの開発
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 K. Xu, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Printed flexible air flow sensor
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 Y. Lu, K. Xu, S. Honda, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Highly stable kirigami-structured stretchable strain sensor
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 山口貴文、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 ソフトポンプ統合型フレキシブル脈拍センサの開発
3. 学会等名 応用物理学会関西支部2019年度第2回支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口貴文、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 人の皮膚機能を模倣した電子皮膚とソフトロボットの融合
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 次世代電子デバイス応用に向けたフレキシブルセンサシート
3. 学会等名 第12回EIRISインテリジェントセンサ・MEMS研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 穂積翔汰、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 汗循環システムを搭載したフレキシブルグルコースセンサ
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, S. Nakata, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Pneumatic balloon actuator integrated with electronic skin for soft robotic application
3. 学会等名 2018 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Printed flexible sensor-integrated wearable healthcare patch
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Carbon nanotube-based flexible electronics
3. 学会等名 Parallel Symposium of NT18: 6th Carbon Nanotube Thin Film Electronics and Applications Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Printed multifunctional flexible healthcare patch
3. 学会等名 2018 IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Multi-functional flexible sensor sheets for wearable and IoT applications
3. 学会等名 18th International Meeting on Information Display (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Human interactive flexible multi-functional sensor sheets
3. 学会等名 ECS and SMEQ Joint International Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Flexible physical and chemical sensor sheets
3. 学会等名 2019 Polymer Society of Korea Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Carbon nanotube-based flexible devices
3. 学会等名 9th Asia Conference on Nanoscience and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Inorganic high performance printed electronics
3. 学会等名 International Workshop on Multidisciplinary Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Yamamoto, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 All solution-processed p-n junction diodes
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Yamamoto, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Sensitivity controllable, printed flexible vibration sensor
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Multi-functional physical and chemical sensor patches
3. 学会等名 The First International Conference of Polymeric and Organic Materials in Yamagata University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 無機ナノ材料の印刷・転写技術による機能性電子デバイスの開発
3. 学会等名 2018年第2回極限ナノ造形・構造物研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 人と社会のインタラクションに向けた大面積多機能フレキシブル
3. 学会等名 日本画像学会2018年度関西シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 無機ナノ材料の印刷・転写技術による新規電子デバイス開発
3. 学会等名 Cutting-Edge Lectures in Materials Processing（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本大介、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 全溶液プロセスにより作製したpn接合ダイオード
3. 学会等名 第37回電子材料シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口貴文、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 多機能フレキシブル電子皮膚を集積したソフトロボットの開発
3. 学会等名 第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 人とインタラクションに向けたフレキシブルセンサシート
3. 学会等名 電気学会フレキシブルセラミックスコーティング技術調査専門委員会研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹井邦晴、山本大介、潮海麻生、有江隆之、秋田成司
2. 発表標題 全溶液プロセスで作製した異種材料接合によるダイオード
3. 学会等名 第56回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Yamamoto, Y. Yamamoto, M. Takada, H. Naito, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Adhesive conductive polymer for wearable electrocardiogram monitoring
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Inorganic-based flexible device sheets
3. 学会等名 18th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (IUMRS-ICA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Takei
2. 発表標題 Printed flexible sensor sheets
3. 学会等名 New Generation Information Technology Asia-Pacific Innovation Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 印刷形成によるフレキシブルセンサシート
3. 学会等名 平成29年度第3回ITACフォーラム：フレキシブルエレクトロニクスフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 印刷技術による絆創膏型ウェアラブルデバイスの開発と今後の課題
3. 学会等名 シーエムシー出版・AndTech共催セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 人社会への融和を目指したフレキシブルデバイスシート
3. 学会等名 未来ICTシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹井邦晴
2. 発表標題 Toward macro-scale, multi-functional flexible sensor sheets
3. 学会等名 第32回フリートーキング"Imaging Today"「プリントエレクトロニクスの最新技術」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 潮海麻生、中田尚吾、今北悠貴、望月裕太、有江隆之、秋田成司、竹井邦晴
2. 発表標題 グラフェン接触によるカーボンナノチューブトランジスタの電気特性の向上
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Nakata, K. Kanao, T. Arie, S. Akita, K. Takei
2. 発表標題 Flexible electronic-wallpaper integrated with FGRAM-based tactile memory and temperature sensor
3. 学会等名 31th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical System (MEMS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 竹井邦晴	4. 発行年 2019年
2. 出版社 NTS	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(章執筆: ナノカーボンを用いたフレキシブルセンサシート)	

1. 著者名 竹井邦晴	4. 発行年 2019年
2. 出版社 OHM社	5. 総ページ数 802
3. 書名 ナノインプリント技術ハンドブック（章執筆：無機ナノ材料の印刷・転写技術による機能性電子デバイスの開発）	

1. 著者名 K. Takei	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 440
3. 書名 Flexible and Stretchable Medical Devices	

〔出願〕 計8件

産業財産権の名称 傾斜センサ及びウェアラブルデバイス	発明者 竹井邦晴、徐凱臣	権利者 大阪府立大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-078347	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 湿度センサ	発明者 竹井邦晴、リユー ユーヤオ	権利者 大阪府立大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-207682	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 化学センサ	発明者 竹井邦晴、中田尚吾	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-100611	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 圧力センサシート	発明者 竹井邦晴、朱強、佐 藤庄次郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-208494	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度センサ	発明者 竹井邦晴、松田高至	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-157195	出願年 2018年	国内・外国の別 国内



産業財産権の名称 感圧センサ	発明者 竹井邦晴	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-004407	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度センサ及び温度センサの製造方法	発明者 竹井邦晴	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-008138	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 フレキシブル温度センサ	発明者 竹井邦晴、廣瀬久美	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2018-003813	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

大阪府立大学 ナノ材料-フレキシブルデバイスグループ <a href="https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/">https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/</a> 大阪府立大学 ナノデバイス研究グループ <a href="http://www.pe.osakafu-u.ac.jp/nanodevice-pe4/">http://www.pe.osakafu-u.ac.jp/nanodevice-pe4/</a> 大阪府立大学 ナノ材料-フレキシブルデバイスグループ <a href="https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/home">https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/home</a> ナノ材料-フレキシブルデバイスグループ <a href="https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/home">https://sites.google.com/site/kuniharutakei.jp/home</a>
--

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		
中国	Mongolia University	National Tsin-Hua University	
シンガポール	National University of Singapore		