

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02256

研究課題名(和文) 樹木ナノセルロースの半導体化とセンサー機能創出

研究課題名(英文) Development of wood nanocellulose semiconductors for sensor applications

研究代表者

古賀 大尚 (Koga, Hirotaka)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：30634539

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境調和型・持続性エレクトロニクスの実現に向け、樹木ナノセルロースの電子ナノ材料化に取り組んだ。まず、元は絶縁体であるナノセルロースの段階的炭化戦略により、その電気特性を絶縁体～半導体～準導体の広範囲で細かく制御(電気抵抗率： $10^{13}$ 乗～ $10^{-2}$ 乗 cm、バンドギャップ： $5.3\sim 0$  eV)することに成功した。さらに、水蒸気選択センシング機能と飛沫モニタリング応用(半導体)から、バイオ燃料電池発電機能とグルコースセンシング応用・LED点灯(準導体)まで、幅広い用途における有用性を確認できた。以上の様に、次世代グリーン・サステナブルエレクトロニクスに先鞭をつける成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、全世界の電子デバイス生産量が急増し、枯渇性資源の消費が益々加速している。また、大量の電子ゴミが発生し、人や環境への悪影響を招いている。そのため、持続可能資源由来で、人と環境に優しい電子デバイスの創出が希求されている。本研究の成果は、持続生産可能な樹木ナノセルロースを新奇電子材料に変換し、さらに、デバイス素子(特に、今後益々需要が高まるセンサデバイス)としての有用性を実証したものである。すなわち、人と環境に調和する電子デバイスの創出に貢献するもので、学術的にも社会的にも意義深い成果と言える。

研究成果の概要(英文)：In this research, wood nanocellulose was successfully converted into electronic nanomaterials towards environmentally friendly and sustainable electronics. First, we have succeeded in finely controlling the electrical properties of nanocellulose, which is originally an insulator, in a wide range from insulator to semiconductor to quasi-conductor through a stepwise carbonization strategy. Furthermore, we have confirmed the usefulness of the material in a wide range of applications, from humidity selective sensing and droplet monitoring (semiconductor) to biofuel cell power generation, glucose sensing, and LED lighting (quasi-conductor). Thus, these results will open new doors to next-generation green and sustainable electronics.

研究分野：複合材料、セルロースナノファイバー、機能紙、ペーパーエレクトロニクス

キーワード：ナノセルロース ナノペーパー ナノカーボン 半導体 炭化 グリーンエレクトロニクス センサー

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

電子デバイスは、ナノテクノロジーの発展により一層高性能化が進み、我々の生活に欠かせないものとなっている。その一方で、全世界の電子デバイス生産量・使用量が急増し、金属や石油等、枯渇性資源の消費が加速している。また、大量の電子ゴミ (E-waste) が発生し、特に発展途上国において人体への悪影響や環境破壊を招いている (The Global E-waste Monitor 2020)。そのため、持続生産可能な資源由来で、人にも環境にも優しい電子デバイスの創出が希求されている。

### 2. 研究の目的

地球上で最も豊富に存在する持続可能な生物資源はセルロースである。我々はこれまで、樹木細胞壁から得られる幅 3-15 nm・長さ数  $\mu\text{m}$  のナノセルロースで作る紙「ナノセルロースペーパー」と様々な電子ナノ材料を複合する独自技術を確立し、透明導電膜[1]、電子ペーパー[2]、トランジスタ[3]、アンテナ[4]、メモリ[5, 6]、蓄電デバイス[7]、センサー[8]等のペーパー電子デバイス「ペーパーエレクトロニクス」を世界に先駆けて創出してきた (図1)。特筆すべきは、これらがいずれも最先端レベルの高いデバイス性能を有しながら、指に載る軽量性・折り畳めるフレキシブル性・使い捨ても容易なディスプレイ性・土に還る生分解性を示すことである。



図1 これまでの研究成果：樹木ナノセルロースと電子ナノ材料を複合化したペーパー電子デバイス「ペーパーエレクトロニクス」

しかし、ナノセルロースは電気を通さない絶縁体 (電気抵抗値： $10^{14} \Omega$ 以上) であり[6]、絶縁基材や誘電材料としての有用性は実証できたものの、電子デバイスとして動作させるためには、現状、枯渇性資源である金属や石油由来の電子ナノ材料を利用せざるを得なかった。

そこで本研究では、持続生産可能なナノセルロース自体を電子ナノ材料に変換することに取り組んだ。すなわち、絶縁性ナノセルロースの電気特性を機能・用途に合わせて広範かつ段階的に制御する技術の確立、特に、今後益々需要が高まっていく半導体化とセンサー機能創出を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) ナノセルロースペーパーの調製と炭化処理、および、電気特性分析

針葉樹漂白クラフトパルプ由来のナノセルロース水分散液を PTFE フィルター上で吸引濾過し、 $t$ -ブチルアルコールを加えてさらに吸引濾過後、凍結乾燥することでナノセルロースペーパーを調製した。ナノセルロースペーパーの炭化処理は、窒素ガス雰囲気下、 $300\sim 1100^\circ\text{C} \cdot 1\text{h}$  の条件で行った。電気抵抗率や光学バンドギャップ等の電気特性は、4端子法および UV-vis 分析によって分析した。

#### (2) 炭化ナノセルロースペーパーのセンサー機能評価

所定濃度の水蒸気、二酸化炭素、酸素、水素、エタノールをターゲットとし、炭化ナノセルロースペーパー表面にそれぞれを導入したときの電気抵抗値変化を測定 (測定温度  $30^\circ\text{C}$ ) することで、センサーとしての機能を評価した。

#### (3) 炭化ナノセルロースペーパーのグルコースバイオ燃料電池電極性能評価

炭化ナノセルロースペーパーを電極として、グルコース酸化酵素を吸着させた後、グルコース燃料を導入した。その際の発電量 (パワー密度) を測定することで、グルコースバイオ燃料電池としての性能を評価した。

#### 4. 研究成果

本研究では、絶縁性ナノセルロースの段階的炭化戦略によって、その電気抵抗率を  $10^{13} \sim 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 、光学バンドギャップを  $5.34 \sim 0 \text{ eV}$  の広い範囲で細かく制御することに成功した (図 2)。すなわち、ナノセルロースの電気特性を絶縁体～半導体～準導体まで作り分けることができた。さらに、赤外分光分析、固体核磁気共鳴分析、ラマン分光分析、X線回折解析、透過型電子顕微鏡観察等を行い、高絶縁

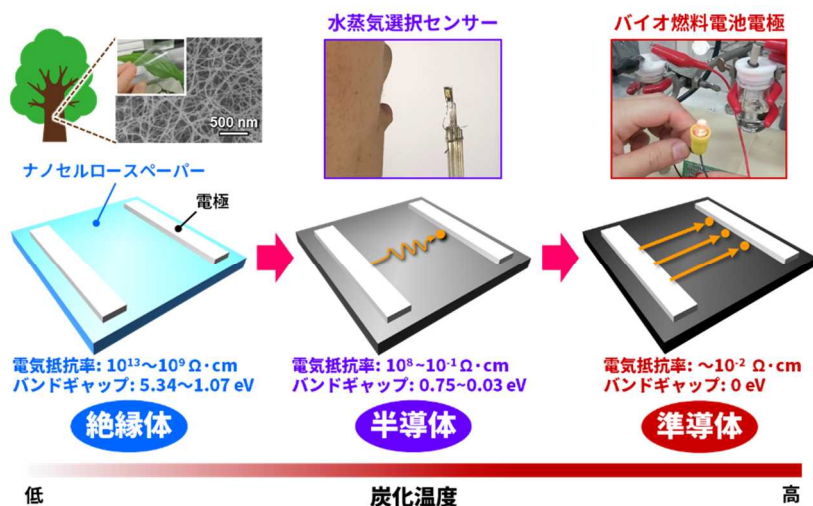


図 2 本研究成果概要図：ナノセルロースの段階的炭化による電気特性制御とセンサー(半導体)・バイオ燃料電池電極(準導体)応用

性ナノセルロース ( $\text{sp}^3$  炭素ベースの分子構造) の内部で高導電性グラフェンフラグメント ( $\text{sp}^2$  炭素) が徐々に成長することにより、その電気特性が大幅かつ段階的に変調していることを明らかにした。このナノセルロースの段階的炭化戦略は、Si や GaAs への不純物ドーピングや、ナノカーボン材料であるグラフィティックカーボンナイトライドへのヘテロ元素ドーピング、酸化グラフェンの還元プロセス等、既存の電気特性制御戦略と比べても変調のスケールが大きいことを確認した。また、分子吸着等の外部刺激による電荷キャリア密度変調機能も確認している。

これらの結果は広い機能設計性を示唆している。実際に、本研究において、水蒸気選択的センシングと飛沫モニタリング応用から、グルコースバイオ燃料電池発電 (パワー密度：約  $140 \mu \text{ W cm}^{-2}$ 。市販グラファイト電極の約 15 倍) やグルコースセンシング機能まで、広範な用途において優れた電子デバイス機能を見出すことができた。

本研究で開発した炭化ナノセルロースは、絶縁体～半導体～準導体までの幅広い機能と用途を有する新たな電子ナノ材料として、環境調和型・持続性の次世代グリーンエレクトロニクスの実現に向け、今後のさらなる研究開発に期待が持たれる。

#### <引用文献>

1. H. Koga, M. Nogi, N. Komoda, T. T. Nge, T. Sugahara, K. Suganuma, Uniformly connected conductive networks on cellulose nanofiber paper for transparent paper electronics, *NPG Asia Materials*, 6, e93 (2014)
2. H. Koga, M. Nogi, A. Isogai, Ionic liquid-mediated dispersion and support of functional molecules on cellulose fibers for stimuli-responsive chromic paper devices, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9, 40914-40920 (2017)
3. Y. Fujisaki, H. Koga, Y. Nakajima, M. Nakata, H. Tsuji, T. Yamamoto, T. Kurita, M. Nogi, N. Shimidzu, Transparent nanopaper-based flexible organic thin-film transistor array, *Advanced Functional Materials*, 24, 1657-1663 (2014)
4. T. Inui, H. Koga, M. Nogi, N. Komoda, K. Suganuma, A Miniaturized flexible antenna printed on a high dielectric constant nanopaper composite, *Advanced Materials*, 27, 1112-1116 (2015)
5. K. Nagashima, H. Koga, U. Celano, F. Zhuge, M. Kanai, S. Rahong, G. Meng, Y. He, J. D. Boeck, M. Jurczak, W. Vandervorst, T. Kitaoka, M. Nogi, T. Yanagida, Cellulose nanofiber paper as an ultra flexible nonvolatile memory, *Scientific Reports*, 4, 5532 (2014)
6. U. Celano, K. Nagashima, H. Koga, M. Nogi, F. Zhuge, G. Meng, Y. He, J. D. Boeck, M. Jurczak, W. Vandervorst, T. Yanagida, All nanocellulose nonvolatile resistive memory, *NPG Asia Materials*, 8, e310 (2016)
7. H. Koga, H. Tonomura, M. Nogi, K. Suganuma, Y. Nishina, Fast, scalable, and eco-friendly fabrication of an energy storage paper electrode, *Green Chemistry*, 18, 1117-1124 (2016)
8. H. Koga, T. Saito, T. Kitaoka, M. Nogi, K. Suganuma, A. Isogai, Transparent, conductive and printable composites consisting of TEMPO-oxidized nanocellulose and carbon nanotube, *Biomacromolecules*, 14, 1160-1165 (2013)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 T. Kasuga, H. Yagyu, K. Uetani, H. Koga, M. Nogi	4. 巻 4(4)
2. 論文標題 Cellulose Nanofiber Coatings on Cu Electrodes for Cohesive Protection against Water-Induced Short-Circuit Failures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 3861-3868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.1c00267	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 L. Zhu, Y. Huang, Y. Morishita, K. Uetani, M. Nogi, H. Koga	4. 巻 9
2. 論文標題 Pyrolyzed Chitin Nanofiber Paper as a Three-Dimensional Porous and Defective Nanocarbon for Photosensing and Energy Storage	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4444-4452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC05799A	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. Uetani, K. Kasuya H. Koga, M. Nogi	4. 巻 254
2. 論文標題 Direct Determination of the Degree of Fibrillation of Wood Pulps by Distribution Analysis of Pixel-Resolved Optical Retardation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Carbohydrate Polymers	6. 最初と最後の頁 117460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2020.117460	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 L. Chenyang, T. Kasuga, K. Uetani, H. Koga, M. Nogi	4. 巻 10(11)
2. 論文標題 High-Speed Fabrication of Clear Transparent Cellulose Nanopaper by Applying Humidity-Controlled Multi-Stage Drying Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 2194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano10112194	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. Uetani, H. Koga, M. Nogi	4. 巻 10(5)
2. 論文標題 Checkedered films of multiaxis oriented nanocelluloses by liquid-phase three-dimensional patterning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 958
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano10050958	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 Y. Huang, Y. Morishita, K. Uetani, M. Nogi, H. Koga	4. 巻 2(6)
2. 論文標題 Cellulose Paper Support with Dual-Layered Nano-Microstructures for Enhanced Plasmonic Photothermal Heating and Solar Vapor Generation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 2339-2346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NA00163E	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. Uetani, S. Izakura, H. Koga, M. Nogi	4. 巻 2(3)
2. 論文標題 Thermal Diffusivity Modulation Driven by the Interfacial Elastic Dynamics Between Cellulose Nanofibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 1024-1030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NA00734B	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. Kasuga, H. Yagyu, K. Uetani, H. Koga, M. Nogi	4. 巻 11(46)
2. 論文標題 "Return to the Soil" Nanopaper Sensor Device for Hyperdense Sensor Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 43488-43493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b13886	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 古賀大尚	4. 巻 56(3)
2. 論文標題 ナノセルロースと電子材料の融合によるグリーン・ペーパーエレクトロニクスの創出	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本印刷学会誌	6. 最初と最後の頁 137-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11413/nig.56.137	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 上谷幸治郎、古賀大尚、能木雅也	4. 巻 69(2)
2. 論文標題 セルロースナノファイバーの構造・物性および材料への展開状況	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 71-75
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 H. Koga, K. Nagashima, Y. Huang, G. Zhang, C. Wang, T. Takahashi, A. Inoue, H. Yan, M. Kanai, Y. He, K. Uetani, M. Nogi, T. Yanagida	4. 巻 -
2. 論文標題 Paper-Based Disposable Molecular Sensor Constructed from Oxide Nanowires, Cellulose Nanofibers, and Pencil-Drawn Electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b01287	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 古賀大尚	4. 巻 25(3)
2. 論文標題 紙のリノベーション戦略による新機能創発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cellulose Communications	6. 最初と最後の頁 101-106
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 古賀大尚	4. 巻 61(6)
2. 論文標題 紙のリノベーション戦略とデバイス・リアクター応用展開	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 紙パルプ技術タイムス	6. 最初と最後の頁 53-59
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 古賀大尚、長島一樹、仁科勇太	4. 巻 53(6)
2. 論文標題 異分野融合による紙のリノベーション研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 391-394
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29件（うち招待講演 14件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロース半導体の創出と機能開拓
3. 学会等名 アライアンス合同ウェブ分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロースでつくる新しい紙の材料・構造設計と機能創発
3. 学会等名 高分子学会、エコマテリアル研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森下哲孝、黄茵トン、上谷幸治郎、能木雅也、古賀大尚
2. 発表標題 炭化ナノセルロースペーパーのメソ孔構造設計とエネルギー変換機能
3. 学会等名 第70回日本木材学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀大尚、長島一樹、高橋綱己、仁科勇太
2. 発表標題 ナノセルロースと電子材料の融合によるグリーン・フレキシブルエレクトロニクスの創出
3. 学会等名 電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Luting Zhu, Yuki Yoshida, Kojiro Uetani, Masaya Nogi, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Nanochitin-derived 3D porous and defective nanocarbons for photo-sensing and energy-storage applications
3. 学会等名 The 23rd SANKEN International Symposium, The 18th SANKEN Nanotechnology International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森下哲孝、上谷幸治郎、能木雅也、古賀大尚
2. 発表標題 樹木ナノセルロースを用いたナノカーボンの調製と光熱変換機能
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Luting Zhu, Yuki Yoshida, Kojiro Uetani, Masaya Nogi, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Nanocellulose and nanochitin-derived nanocarbons: structure and electrical properties
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Luting Zhu, Yuki Yoshida, Kojiro Uetani, Masaya Nogi, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Carbonized Bionanofiber Paper for Electronic Applications
3. 学会等名 The 2nd edition of the International Symposium of CEFMS-NCTU, RCAS-AS (Taiwan) and 5-star Alliance (Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Luting Zhu, Yuki Yoshida, Kojiro Uetani, Masaya Nogi, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Structure and Electronic Properties of Carbonized Nanocellulose and Nanochitin Papers
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 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロース材料の新機能・用途開拓
3. 学会等名 第7回アライアンスG1分科会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚、長島一樹、高橋綱己、仁科勇太
2. 発表標題 樹木ナノセルロース由来 3D ナノポーラスカーボンの新機能開拓
3. 学会等名 第7回アライアンス若手研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚、吉田由紀、上谷幸治郎、能木雅也、長島一樹、高橋綱己、柳田剛、仁科勇太
2. 発表標題 樹木ナノセルロースの電子機能創発
3. 学会等名 第9回物質・デバイス領域共同研究拠点活動報告会・平成30年度ダイナミックアライアンス成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 セルロースナノファイバーによる高機能材料の創出とSDGsに向けたポテンシャル
3. 学会等名 ナノテクノロジーの社会実装がもたらすSDGsへの貢献（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロースによる紙の再構築と機能創発
3. 学会等名 高分子学会関西支部、第92回高分子若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 農と工、伝統と先端の融合による紙のリノベーション
3. 学会等名 産研テクノサロン-農と食の産業科学（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 セルロースナノファイバーによる紙の再構築と機能開拓
3. 学会等名 セルロースナノファイバーの最前線 2019 in 大阪（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Fukushima, K. Nagashima, T. Takahashi, T. Yanagida, Y. Nishina, K. Uetani, M. Nogi, H. Koga
2. 発表標題 Electrical conductivity and optical bandgap of carbonized cellulose nanofiber papers
3. 学会等名 The 22nd SANKEN International Symposium, The 17th SANKEN Nanotechnology International Symposium（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福島大喜、吉田由紀、上谷幸治郎、能木雅也、古賀大尚、仁科勇太、高橋綱己、長島一樹、柳田剛
2. 発表標題 木材ナノセルロースペーパーの炭素化と電気特性遷移
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚、長島一樹、柳田剛、能木雅也
2. 発表標題 ナノセルロースと酸化亜鉛ナノワイヤの融合による使い捨てペーパーセンサの創出
3. 学会等名 第67回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福島大喜、上谷幸治郎、能木雅也、古賀大尚
2. 発表標題 炭化ナノセルロースペーパーの細孔構造設計とスーパーキャパシタ電極応用
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劉貴銘、李万里、李財富、福島大喜、古賀大尚、長尾至成、何鵬、菅沼克昭
2. 発表標題 全固体柔軟性引張スーパーキャパシタの作製
3. 学会等名 MES2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 紙と無機ナノ材料の融合と構造設計による触媒・電子機能創発
3. 学会等名 平成30年度繊維学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚、能木雅也、長島一樹、高橋綱己、柳田剛、仁科勇太
2. 発表標題 樹木ナノセルロースの電子機能創発
3. 学会等名 第6回アライアンス若手研究交流会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロースによる紙のリノベーション ～SDGsに向けた機能革新～
3. 学会等名 高知大学研究拠点プロジェクト 革新的な水・バイオマス循環システムの構築 公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロースとナノ技術が拓く紙の機能イノベーション
3. 学会等名 生産技術振興協会アライアンス委員会 ナノ技術応用分科会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 セルロースナノファイバーと有機・無機ナノ材料の融合とデバイス応用展開
3. 学会等名 Nanoscience and Nanotechnology seminar（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 紙のフレキシブル電子ペーパーに向けた要素技術開発
3. 学会等名 2018年度 第4回 日本画像学会技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 セルロースナノファイバーを用いた紙のリノベーション戦略と応用展開
3. 学会等名 繊維学会夏季セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀大尚
2. 発表標題 ナノセルロースがもたらす紙の機能革新 “紙のリノベーション”
3. 学会等名 ファインケミカルジャパン2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 古賀大尚(分担執筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 216
3. 書名 エレクトロクロミックデバイスの開発最前線, 第2編・第15章	

1. 著者名 能木雅也、古賀大尚(分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社 化学同人	5. 総ページ数 196
3. 書名 持続可能社会をつくるバイオプラスチック (CSJ:34), 4章	

〔産業財産権〕

〔その他〕

阪大セルロースナノファイバー研究-古賀大尚 <a href="http://kogahirota.com/">http://kogahirota.com/</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
連携研究者	長島 一樹  (Nagashima Kazuki)  (10585988)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授    (12601)	
連携研究者	仁科 勇太  (Nishina Yuta)  (50585940)	岡山大学・異分野融合先端研究コア・研究教授    (15301)	

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