

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2017～2019

課題番号：17KT0069

研究課題名(和文) 日本林業再興のための木材需要を生み出す統合的ペーパーデバイスの開発と活用

研究課題名(英文) Development and utilization of integrated paper devices for creating demand for wood to restore Japanese forestry

研究代表者

江前 敏晴 (Enomae, Toshiharu)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：40203640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：印刷法による紙基板電気回路作製のため、セルロースナノクリスタル(CNC)を使い紙の表面加工を行った。棒状で高電荷密度のCNCは修正大島-Overbeek式への近似で表面電位を適切に求められた。紙表面に印刷したCNC層上に作製した銀配線は高い導電性と摩擦抵抗性を示した。配線用銀ナノ粒子は、硝酸銀水溶液をナノエマルジョン化する簡便調製法を確立し、使用したTween 80に乳濁能と安定分散能に加えて還元能を見出した。ルミネッセンスを示すナノカーボンドットの簡便な調製法を見出し、紙基板金属センサー応用を可能とした。また油水分離フィルタをゼロハン製造法と膨潤性ナノセルロース超撥油性を利用して調製した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エレクトロニクスの基板材料であるガラスやプラスチック類は使用後に廃棄物となり、環境に優しいとは言えない。紙基板のワンウェイユースのエレクトロニクスでこれらが少しでも代替できればリサイクルも可能であり、生分解性の点から環境負荷が少なくてすむ。本研究ではバイオマス材料である紙とナノセルロースの組み合わせで回路印刷適性を向上させることに成功した。併せて超音波分散機などで簡便に調製できる安定性の高い銀ナノ粒子インクの製造法も活用が可能である。また、開発中のカーボンナノドットは紫外線照射による発光を示したが特定の金属イオン存在下では消失することから紙基板金属イオンセンサーへの応用も示唆された。

研究成果の概要(英文)：To fabricate electric circuits on a paper substrate by printing, surface treatment of paper was performed using cellulose nanocrystals (CNCs). The dispersibility, zeta-potential, of CNC was adequately evaluated by approximation to the modified Oshima-Overbeek equation assuming a rod-like shape. A silver wire fabricated on a pre-printed CNC layer showed high conductivity and friction resistance. A simple method of preparation of silver nano-particle ink was established using nano-emulsification, where Tween-80 was found to perform as a reducing agent in addition to emulsifier and dispersion stabilizer. Carbon nano-dots simply prepared by heating with a microwave was found to have luminescence that is lost in the presence of some metal ions, suggesting a possibility of a sensor. A cellulose sponge fabricated through xanthation, regeneration, and adsorption of CNF on inner pores worked as a filter for separate oil and water. All these achievements opened the prospect of utilizing paper.

研究分野：環境材料科学

キーワード：紙 エレクトロニクス 銀ナノ粒子 ナノセルロース

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

戦後の大規模植林による人工林は既に伐期を迎えているが、林業従事者の減少、「木は伐らない方がよい」とする過剰な環境意識、輸入材増加による国産材需要減少により、適切な伐採が進んでいない。適切な森林資源の活用には自立した森林整備を促進する"儲かる林業"を回復し、木材利用・エネルギー利用を拡大し、森林・林業が低炭素社会に貢献できるようにすることが重要である。ここで重要なのは需要を生み出す木材の活用法であり、耐火集成材や軽量の CLT (直交集成板) の開発と利用、ナノセルロースの新素材や紙系バイオマスの活用と需要の増加は、森林資源の過剰消費ではなく、その保全とそれによる土砂災害防止や土壌保全に資する。その中で、端材を含めれば森林資源の約半分を活用する紙バイオマスの多角的利用は重要となる。

### 2. 研究の目的

エレクトロニクス業界では、モバイル機器が大量に廃棄物となり、また蒸着法による配線では使用する銀のうち 80%が無駄になるという欠点を克服するため、印刷エレクトロニクスが広まり、その基板の 1 つとして紙が注目され始めた。紙基板に印刷法で回路を描くことができれば、資源を有効に活用できる。特に、単体として開発してきた紙のエレクトロニクスをさらに発展させて統合化したデバイスを作り出せば紙の需要は増加する。この好循環を念頭において、紙のエレクトロニクス応用について検討した。具体的には、紙基板のワンウェイユースの種々のエレクトロニクスを創出することで紙需要ひいては木材の需要を掘り起こし、林業の振興に繋げていくために、エレクトロニクス基板材料としての紙の応用を検討した。従来の基板材料を紙で代替できれば基板材料のリサイクルも可能となり、生分解性の点から環境負荷が少なくすむ。本研究ではバイオマス材料である紙とナノセルロース、その他の生分解性材料を組み合わせることで回路印刷適性を向上させることを目的とした。

### 3. 研究の方法

- (1) ナノセルロース素材の調製法、印刷ためのナノセルロースインク調製条件を検討するためにコロイド特性を評価した。
- (2) 紙表面に銀ナノ粒子インクを印刷して回路を作製する場合において導電性を上げるための紙基板の表面加工を検討した。また銀配線の回路が衝撃や摩擦によって破断しやすいためその改善方法として、ナノセルロースのプレ塗工を検討した。
- (3) 回路作製のための銀ナノ粒子インクを簡便な方法で製造する技術を検討した。
- (4) 金属センサーに応用するため、ルミネッセンス特性を備えたカーボンナノドット (CDs) を調製する方法を検討した。
- (5) 油や含油廃水の環境への排出は環境の破壊を引き起こす。フィルタを使った適切な油水分離の処理を行うには広いスペースと長い滞留時間が必要であり、大量の温室効果ガス放出を伴う。フィルタは油分による孔の閉塞のため定期的な洗浄も必要となる。ナノセルロース及び再生セルロースを組み合わせた生体模倣油水分離フィルタの開発を試みた。

### 4. 研究成果

- (1) 乾燥した広葉樹パルプからセルロースナノクリスタル (CNC) を調製する際の最適な硫酸加水分解条件を決定するために硫酸濃度、加水分解温度、および加水分解時間を変化させたところ、特定の条件で、透過型電子顕微鏡写真から見積もられたナノクリスタルの形状と寸法、および結晶化度において市販の製品と同様の特徴を示した。さらに、高濃度の硫酸と長い加水分解処理時間では、硫酸基の導入が多くなることがわかった[文献1]。
- (2) 表面電位を決定するために電気泳動度の測定を行ったが、水中を移動する粒子の速度と粒子径の関係を考察したところ、モデル式として小球粒子を仮定する一般的な Smoluchowski 式では近似できず、棒状粒子が軸方向に移動すると考える大島-Overbeek 式が最適であることが分かった。この条件で求めた表面電位をそれ以降適用することにした。さらに、印刷ためのナノセルロースインク調製条件を検討するためのコロイド特性の解析[文献2]及び回路の摩擦抵抗性の向上効果の解析 (投稿準備中) を通し、実用的な紙基板作製技術を確立した。
- (3) ポリオキシエチレン (20) ソルビタンモノオレート (Tween 80) とソルビタンモノオレート (Span80) を混合した乳化剤で液体パラフィンに  $\text{AgNO}_3$  水溶液をナノオーダーで乳濁させた (ナノエマルジョン) このインクは低温では安定で、 $60^\circ\text{C}$  では自己組織的に銀ナノ粒子 AgNPs を生成した。粒子は直径  $8.6\sim 13.4\text{ nm}$  で高い安定性と高い導電率を示した。インク調製及び保管のプロセスで常に存在する Tween 80 は界面活性剤、還元剤、安定剤として機能していた。還元作用では、Tween 80 は自動酸化プロセスを受け、そこでエーテル酸素の -炭素のフリーラジカルが水素引き抜きによって形成されたと考えられた。熱重量分析と X 線回折の結果により、生成された銀が高純度であることがわかった。動的光散乱と紫外可視分光法により、 $\text{AgNO}_3$  の濃度が増加すると小粒子化することも明らかとなった[文献3]。
- (4) CDs は、ナノセルロースとジアミン化合物を混合し、電子レンジ加熱により調製する方法を開発した。紫外線照射で発光し、ルミネッセンス特性を示した。鉄及びニッケルイオン

存在下ではこの発光特性は消失したことから有機物による金属イオンセンサーへの応用の可能性が示された[投稿準備中]。

(5)セルロース系油水分離フィルタを、自己洗浄機能をもつ魚のウロコを応用した生態模倣技術により開発した。セロハン製造法であるザンテート法のセルロースフィルタにウロコを模倣した超撥油膜を組み合わせた。まず、ザンテートにリン酸ナトリウム粒子を混合してから乾燥し再生セルロースを得た。温水で洗浄してリン酸ナトリウムを溶解し、溶媒置換乾燥してスポンジ状の多孔材料を得た。このスポンジを対向衝突法によるセルロースナノファイバー(MCNF)懸濁液に浸漬して乾燥させ内壁にMCNFを吸着させた。MCNF吸着フィルタは、水中では超疎油性、空気中では親油性を示した。水に浸漬したときは膨潤して撥油性が向上し、ろ過速度は重力のみで $3,730 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、油水分離効率は99%以上であった[文献4]。さらにこのセルローススポンジフィルタの耐久性を調べるために、圧縮特性やクッション性などの物理特性についても評価した[文献5]。

総じて社会的意義として、次のとおりである。エレクトロニクスの基板材料であるガラスやプラスチック類は使用後に廃棄物となり、環境に優しいとは言えない。紙基板のワンウェイユースのエレクトロニクスでこれらが少しでも代替できればリサイクルも可能であり、生分解性の点から環境負荷が少なくてすむ。本研究ではバイオマス材料である紙とナノセルロースの組み合わせで回路印刷適性を向上させることに成功した。併せて超音波分散機などで簡単に調製できる安定性の高い銀ナノ粒子インクの製造法も活用が可能である。また、開発中のカーボンナノドットは紫外線照射による発光を示したが特定の金属イオン存在下では消失することから紙基板金属イオンセンサーへの応用も示唆された。

---

1) Kuan-Hsuan Lin, Toshiharu Enomae, Feng-Cheng Chang, "Cellulose Nanocrystal Isolation from Hardwood Pulp using Various Hydrolysis Conditions", *Molecules*, 24(20), 3724(2019).  
<https://doi.org/10.3390/molecules24203724>.

2) Kuan-Hsuan Lin, Donghao Hu, Takuya Sugimoto, Feng-Cheng Chang, Motoyoshi Kobayashi, Toshiharu Enomae, "An analysis on the electrophoretic mobility of cellulose nanocrystals as thin cylinders: relaxation and end effect", *RSC Advances*, 9, 34032-34038(2019).  
<https://doi.org/10.1039/C9RA05156B>

3) Hu, Donghao; Ogawa, Kazuyoshi; Kajiyama, Mikio; Enomae, Toshiharu, "Characterisation of Self-Assembled Silver Nanoparticle Ink Based on Nanoemulsion Method", *Royal Society Open Science*, 7: 200296(2020). <https://doi.org/10.1098/rsos.200296>

4) Halim Abdul, Xu Yinchao, Lin Kuan-Hsuan, Kobayashi Motoyoshi, Mikio Kajiyama, Toshiharu Enomae, "Fabrication of Cellulose Nanofiber-Deposited Cellulose Sponge as an Oil-Water Separation Membrane", *Separation and Purification Technology*, 224, 1 October, 322-331(2019).  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.005>

5) Abdul Halim, Yinchao Xu, Toshiharu Enomae, "Fabrication of Cellulose Sponge: Effects of Drying Process and Cellulose Nanofiber Deposition on the Physical Strength", *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 20, 1, 01-10(2020). <https://doi.org/10.22146/ajche.51313>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hu Donghao, Ogawa Kazuyoshi, Kajiyama Mikio, Enomae Toshiharu	4. 巻 7
2. 論文標題 Characterization of self-assembled silver nanoparticle ink based on nanoemulsion method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 200296 ~ 200296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1098/rsos.200296">https://doi.org/10.1098/rsos.200296</a>	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 Lin Kuan-Hsuan, Enomae Toshiharu, Chang Feng-Cheng	4. 巻 24
2. 論文標題 Cellulose Nanocrystal Isolation from Hardwood Pulp using Various Hydrolysis Conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 3724 ~ 3724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3390/molecules24203724">https://doi.org/10.3390/molecules24203724</a>	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 Lin Kuan-Hsuan, Hu Donghao, Sugimoto Takuya, Chang Feng-Cheng, Kobayashi Motoyoshi, Enomae Toshiharu	4. 巻 9
2. 論文標題 An analysis on the electrophoretic mobility of cellulose nanocrystals as thin cylinders: relaxation and end effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 34032 ~ 34038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1039/C9RA05156B">https://doi.org/10.1039/C9RA05156B</a>	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 Halim Abdul, Xu Yinchao, Lin Kuan-Hsuan, Kobayashi Motoyoshi, Kajiyama Mikio, Enomae Toshiharu	4. 巻 224
2. 論文標題 Fabrication of cellulose nanofiber-deposited cellulose sponge as an oil-water separation membrane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 322 ~ 331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.005">https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.005</a>	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 稲葉 政満,長谷川 聡,半田 昌規,江前 敏晴,高島 晶彦,韓 知佑,染谷 汐織	4. 巻 73
2. 論文標題 薄美濃紙の湿潤強さへの抄紙方法の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JAPAN TAPPI JOURNAL	6. 最初と最後の頁 559 ~ 566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2524/jtappij.73.559	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 Ikeda Natsuki, Shigeta Ryo, Shiomi Junichiro, Kawahara Yoshihiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Soil-Monitoring Sensor Powered by Temperature Difference between Air and Shallow Underground Soil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies	6. 最初と最後の頁 1 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1145/3380995">https://doi.org/10.1145/3380995</a>	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 Cheng Tingyu, Narumi Koya, Do Youngwook, Zhang Yang, Ta Tung D., Sasatani Takuya, Markvicka Eric, Kawahara Yoshihiro, Yao Lining, Abowd Gregory D., Oh HyunJoo	4. 巻 4
2. 論文標題 Silver Tape	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1145/3381013">https://doi.org/10.1145/3381013</a>	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 Ikeda Natsuki, Shigeta Ryo, Shiomi Junichiro, Kawahara Yoshihiro	4. 巻 1407
2. 論文標題 Design and implementation of a soil profile probe powered by air and soil temperature differences	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012015 ~ 012015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1088/1742-6596/1407/1/012015">https://doi.org/10.1088/1742-6596/1407/1/012015</a>	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 Jiang Weiwei, Marini Gabriele, van Berkel Niels, Sarsenbayeva Zhanna, Tan Zheyu, Luo Chu, He Xin, Dingler Tilman, Goncalves Jorge, Kawahara Yoshihiro, Kostakos Vassilis	4. 巻 3
2. 論文標題 Probing Sucrose Contents in Everyday Drinks Using Miniaturized Near-Infrared Spectroscopy Scanners	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies	6. 最初と最後の頁 1 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1145/3369834">https://doi.org/10.1145/3369834</a>	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 Takaki Ken, Taguchi Yoshitaka, Nishikawa Satoshi, Niiyama Ryuma, Kawahara Yoshihiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Acoustic Length Sensor for Soft Extensible Pneumatic Actuators With a Frequency Characteristics Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 4292 ~ 4297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2931273">https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2931273</a>	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 Sumiya Kazunobu, Sasatani Takuya, Nishizawa Yuki, Tsushio Kenji, Narusue Yoshiaki, Kawahara Yoshihiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Alvus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies	6. 最初と最後の頁 1 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1145/3332533">https://doi.org/10.1145/3332533</a>	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 Ishige Matthew, Umedachi Takuya, Taniguchi Tadahiro, Kawahara Yoshihiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Exploring Behaviors of Caterpillar-Like Soft Robots with a Central Pattern Generator-Based Controller and Reinforcement Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soft Robotics	6. 最初と最後の頁 579 ~ 594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1089/soro.2018.0126">https://doi.org/10.1089/soro.2018.0126</a>	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 Koga Hirotaka, Nagashima Kazuki, Huang Yintong, Zhang Guozhu, Wang Chen, Takahashi Tsunaki, Inoue Akihito, Yan Hong, Kanai Masaki, He Yong, Uetani Kojiro, Nogi Masaya, Yanagida Takeshi	4. 巻 11
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 15044 ~ 15050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1021/acsami.9b01287">https://doi.org/10.1021/acsami.9b01287</a>	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 Kasuga Takaaki, Yagyu Hitomi, Uetani Kojiro, Koga Hirotaka, Nogi Masaya	4. 巻 11
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) <a href="https://doi.org/10.1021/acsami.9b13886">https://doi.org/10.1021/acsami.9b13886</a>	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 胡ドン皓, 小川 和義, 梶山 幹夫, 江前 敏晴	4. 巻 55(2)
2. 論文標題 ナノエマルションからの自己組織化による銀ナノ粒子の調製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本印刷学会誌	6. 最初と最後の頁 105-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11413/nig.55.105">https://doi.org/10.11413/nig.55.105</a>	査読の有無 無
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 江前敏晴	4. 巻 55(5)
2. 論文標題 紙メディア研究のトレンドこの10年	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本印刷学会誌	6. 最初と最後の頁 312-313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.11413/nig.55.309">https://doi.org/10.11413/nig.55.309</a>	査読の有無 無
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 Tithimanan Srimongkon, Marius Buerkle, Akira Nakamura, Toshiharu Enomae, Hirobumi Ushijima, and Nobuko Fukuda	4. 巻 56, 05EC04
2. 論文標題 Electrical response of culture media during bacterial growth on a paper-based device	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.05EC04	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 Yinchao Xu and Toshiharu Enomae	4. 巻 32(2)
2. 論文標題 Development of a paper-based sensor for the qualitative and quantitative detection of Cu <sup>2+</sup> in water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nordic Pulp & Paper Research Journal	6. 最初と最後の頁 237-243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3183/NPPRJ-2017-32-02-p237-243	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37件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Toshiharu Enomae, Masato Morii, Nobuyo Oyaizu, Feng-Cheng Chang, Hsun-Yi Chen
2. 発表標題 Paper Devices as an Actuator and Power Generator
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Resource Efficiency in Pulp and Paper Technology (3rd REPTech), Indonesia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiharu Enomae, Yinchao Xu, Evi Oktavia, Masato Morii, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Paper-based electronics and sensors fabricated by using printing technology
3. 学会等名 Department lecture meeting, Zhejiang University of Science and Technology, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 江前敏晴
2. 発表標題 紙デバイスの創製及び筑波大学における教育改革の動向と課題,
3. 学会等名 平成30年度福井県教頭・副校長会秋季総会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江前敏晴
2. 発表標題 印刷を活用した紙基板のエレクトロニクスとセンサーの開発
3. 学会等名 平成30年度第3回PE産業分科会-JAPEC(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江前敏晴
2. 発表標題 紙の摩擦係数と快適触感について
3. 学会等名 第121回日本画像学会年次大会 [workshop-1]紙粉発生の良し悪しを判断する評価手法に関するディスカッション(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王嫣然, 江前敏晴
2. 発表標題 ティッシュペーパーの肌触り感の定量的評価
3. 学会等名 平成30年度繊維学会秋季研究発表会(福井)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Donghao Hu, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Carbon Dots by TEMPO-CNF and TTDDA via Microwave Method
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会（函館大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林冠萱，胡ドン皓，江前敏晴
2. 発表標題 セルロースナノクリスタルの活用による紙基板回路の飛躍的導電性向上
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会（函館大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kuan-Hsuan Lin
2. 発表標題 A mathematical approach to study colloidal behavior of cellulose nanocrystal colloidal particles
3. 学会等名 The 9th Asian Symposium on Printing Technology (ASPT2018)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abdul Halim
2. 発表標題 Physical Strength of Cellulose Sponge as Dye Adsorber
3. 学会等名 The 9th Asian Symposium on Printing Technology (ASPT2018)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Moe Takeuchi, Toshiharu Enomae, Masato Morii, Mikio Kajiyama
2. 発表標題 Evaluation of Paper Vibration Generator on Power Storage and Supply characteristics
3. 学会等名 The 9th Asian Symposium on Printing Technology (ASPT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuan-Hsuan LIN, Takuya SUGIMOTO, Donghao HU, Motoyoshi KOBAYASHI, Toshiharu ENOMAE
2. 発表標題 Electrophoretic mobility of cellulose nanocrystal colloidal particles: A consideration on end effect
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Anting WULANDARI, Titi Candra SUNARTI, Fahma FARAH
2. 発表標題 Potency of Bioactive as Biosensor for Detection of pH and Chemicals in Food Products
3. 学会等名 第69回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuan-Hsuan LIN, Toshiharu ENOMAE
2. 発表標題 Properties of inkjet-printed cellulose nanocrystal laminate on paper
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Resource Efficiency in Pulp and Paper Technology (3rd REPTech), Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abdul Halim, Yinchao Xu, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Fabrication of Cellulose Sponge with Cellulose Nanofiber-Deposited for Oil-Water Separation Membrane
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Resource Efficiency in Pulp and Paper Technology (3rd REPTech), Indonesia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kuan-Hsuan Lin, Takuya Sugimoto, Motoyoshi Kobayashi, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Surface environment of cellulose nanocrystal colloidal particles and its influence on colloidal behavior
3. 学会等名 第85回紙パルプ研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小柳津延予, 田所千明, 小幡谷英一, 江前敏晴
2. 発表標題 音波振動発電中の紙の振動状態の測定
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会 (京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林冠萱, 許銀超, Donghao Hu, 江前敏晴, 張豐丞
2. 発表標題 Application of cellulose nanocrystals to paper substrate to improve performance of printed conductive tracks
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会 (京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森井雅人, 梶山幹夫, 江前敏晴, Feng-Cheng Chang, Hsun-Yi Chen
2. 発表標題 配向ナノセルロースフィルムの圧電性評価
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会(京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Donghao Hu, Kazuyoshi Ogawa, Mikio Kajiyama, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Self-assembled silver nanoparticles ink via nano-emulsion method
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会(京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王 嫣然, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Quantitative Evaluation of Comfortable Feeling of Tissue Paper
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会(京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張 宝月, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Development of Paper Substrate for Wearable Devices by Papermaking Technique
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会(京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 許 銀超, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Preparation of a cellulose nanofiber reinforced cellulose sponge
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会 (京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Abdul Halim, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 TEMPO-Cellulose Nanofiber Composite Cellulose Sponge as Membrane to Separate Oil Water Mixture
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会 (京都大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Donghao Hu, Kazuyoshi Ogawa, Mikio Kajiyama, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Characterization of Self-assembled Silver Nanoparticle Ink Based on NanoEmulsion Method
3. 学会等名 The 8th Asian Symposium of Printing Technology (Manila, Philippines) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. D. Mardiyani, N. Higuchi, T. Enomae
2. 発表標題 Visual Awareness Performance in Reading Texts on Paper versus Tablet among Indonesian Elementary School Children
3. 学会等名 The 24th International Display Workshops (IDW '17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Zhang Baoyue, 江前 敏晴
2. 発表標題 Development of Paper Substrate for Wearable Devices by Papermaking Technique
3. 学会等名 日本印刷学会 第137回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yanran Wang, 江前敏晴
2. 発表標題 Quantitative evaluation of comfortable feeling of tissue paper
3. 学会等名 第84回紙パルプ研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Abdul Halim, Mikio Kajiyama, 江前敏晴
2. 発表標題 Cellulose Nanofiber-Coated Cellulose Sponge Fabrication for Underwater Oil-Water Separation
3. 学会等名 第84回紙パルプ研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshiharu Enomae, Yinchao Xu, Evi Oktavia, Masato Morii, Hirotaka Koga
2. 発表標題 Paper-based electronics and sensors fabricated by using printing technology
3. 学会等名 2017 Fundamental Research Conference (Oxford) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江前敏晴
2. 発表標題 基板の音波振動発電機と銅イオンセンサー
3. 学会等名 第225回有機エレクトロニクス材料研究会～ペーパーエレクトロニクス・テクノロジー～（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江前敏晴
2. 発表標題 紙と印刷を使ったエレクトロニクスとセンサーの開発
3. 学会等名 紙のエレクトロニクス応用研究会 第12回技術研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Donghao HU, Kuan-Hsuan LIN, Mikio KAJIYAMA, Toshimaru ENOMAE
2. 発表標題 Synthesis of carbon dots ink by cellulose via microwave method
3. 学会等名 Printing for Fabrication 2019, Imaging Science and Technology. San Francisco, CA, USA
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 冠萱、胡 皓、江前 敏晴
2. 発表標題 セルロースナノクリスタルを用いた紙基板導電配線技術の開発
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会（鳥取）
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Donghao Hu, Kuan-Hsuan Lin, Mikio Kajiyama, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Microwave assisted one-step synthesis of fluorescent carbon quantum dots from nano cellulose
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of The Japan Wood Research Society. Tottori, Japan
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Abdul Halim, Yinchao Xu, Mikio Kajiyama, Toshiharu Enomae
2. 発表標題 Surface Mimicking Fish Scale of Cellulose Nanofiber for Oil Water Separation
3. 学会等名 2019年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 KHIEV KIMNANNARA, XIAOQING DU, KODAI FUJINO, TOSHIHARU ENOMAE
2. 発表標題 Acceleration of enzymatic reactions on a paper-based sensor by assistance of built-in heating system
3. 学会等名 The 11th International Conference on Environmental and Rural Development, Cambodia (国際学会)
4. 発表年 2020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	橋本 悠希  (Hashimoto Yuki)  (10601883)	筑波大学・システム情報系・助教    (12102)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	古賀 大尚 (Koga Hirotaka) (30634539)	大阪大学・産業科学研究所・准教授  (14401)	
研究分担者	川原 圭博 (Kawahara Yoshihiro) (80401248)	東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授  (12601)	