

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 19 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04892

研究課題名(和文) ナノカーボン複合自立膜を用いた外場励起浮揚バルーンの新製

研究課題名(英文) Photo-excited flying balloons based on carbon nanotube freestanding films

研究代表者

生野 孝 (Ikuno, Takashi)

東京理科大学・基礎工学部電子応用工学科・准教授

研究者番号：60466331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、無音・無風・長時間浮揚・各種センサ搭載が期待できるカーボンナノチューブ(CNT)から成るバルーン型浮揚素子の実現を目指している。CNTはその高い光吸収特性から、光照射によりバルーン内空間を瞬時に加熱でき、バルーン内外の気体の密度差を駆動力に浮揚可能である。浮揚高度・保持時間を改善するためには昇温時のバルーン内温度の長時間保持が必要である。本研究では、バルーンを構成する自立膜の改良により断熱性の改善を試みた。さらに、バルーン表面に各種薄膜デバイスを作製するため、セルロースナノファイバー自立膜の作製法の開発およびCNFフィルム上への光センサおよび薄膜太陽電池の作製を行い動作確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屋内に向けた小型浮揚監視システムは、防犯、高齢者のみまもり、ビニールハウス内の農作物監視、建造物内々スキャンなど、安心安全社会実現に向けた強いニーズがあるものの、従来型ドローンは、騒音・風の発生と短い浮揚時間等の課題をもつため屋内利用が難しい。そこで、本研究では、無音・無風で浮遊することができるバルーン型浮揚監視システムの実現を目指し、光で浮かぶカーボンナノチューブバルーンを世界で初めて実現することに成功した。本研究により、構成材料の断熱性や電気特性を精密に制御することにより、長時間浮揚するセンサ搭載可能なバルーンを構築できた。

研究成果の概要(英文)：We have developed a balloon type levitation device made of carbon nanotubes (CNTs), which is expected to be silent, windless, long-lasting, and equipped with various sensors. CNTs can instantly heat the space inside a balloon by light irradiation due to their high light absorption property, and can levitate by using the density difference of gas inside and outside the balloon as a driving force. In order to improve the levitation altitude and retention time, it is necessary to maintain the temperature inside the balloon for a long time during the light irradiation. In this study, we attempted to improve the heat-insulating property of the balloon by improving the freestanding films that constitutes the balloon. In addition, to fabricate various thin-film devices on the balloon surface, we developed a fabrication method of the cellulose nanofiber (CNF) films. we also demonstrated fabrications of optical sensors and thin film solar cells on the CNF films.

研究分野：ナノカーボン，薄膜・表面界面，エネルギー変換素子

キーワード：カーボンナノチューブ 光熱変換 ドローン セルロースナノファイバー 光センサ 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

近年、無人飛行体 (Unmanned aerial vehicle: UAV) を用いた屋外用小型監視システムの研究開発が活発に行われており (Froreano *et al.*, *Nature* **521** (2015) 460), UAV の一つとして撮像素子や各種センサを搭載した回転翼型ドローンがよく利用されている。屋内に向けた小型浮揚監視システムは、防犯、高齢者のみまもり、ビニールハウス内の農作物監視、建造物内ヘルスマモニタリングなど、安心安全社会実現に向けた強いニーズがあるものの、従来型ドローンは、騒音・風の発生と短い浮揚時間等の課題をもつため屋内利用が難しい。研究開始当初は、羽虫 (Ma *et al.* *Science* **340** (2013) 603, Graule *et al.* *Science* **352** (2016) 978) や鳥 (Keennon *et al.* *Proc. AIAA Aerospace Science Meeting* 2012) を模倣した屋内用浮揚素子の提案・実証が報告されていたが、前者は浮揚体と制御システムとが有線接続されていること、後者は浮揚時間が約 8 分と短いこと、そして両者とも羽ばたき型のため騒音・風を発生する、といった課題があった。

そこで、我々は、無音・無風・長時間浮揚・各種センサ搭載が期待できるバルーン型浮揚素子を提案し創製した経緯から本研究を実施した。我々が開発した素子は、カーボンナノチューブ (CNT) 自立膜を袋状に成形した無開口バルーンである。CNT は高い電磁波吸収特性をもつので、電磁波照射によりバルーン内空間を瞬時に加熱でき、バルーン内外の気体の密度差を駆動力に無音・無風で浮揚可能である。本研究開始当初までに開発した CNT 自立膜を用いたバルーンは、赤外光照射により浮揚したものの、浮揚高度は約 20 cm、浮揚時間は 10 秒程度と、屋内用 UAV として不十分であった。浮揚高度・保持時間の改善には、昇温時のバルーン内空間温度の長時間保持が必要であり、バルーンを構成する自立膜の改良により①気密性、②断熱性、③電磁波吸収特性を改善する必要があった。

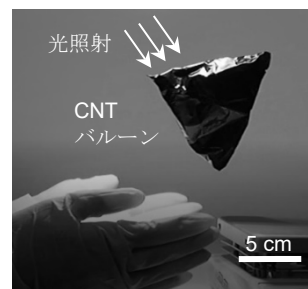


図 1 研究当初に作製した CNT バルーンの浮揚。

2. 研究の目的

上記①～③の機能を向上させたナノカーボン複合自立膜を創製し、本自立膜を用いて作製したバルーンを、高度 250 cm 以上、持続時間 10 分以上浮揚させることを第 1 の目的とした。さらに、CNT バルーン表面に各種センサを搭載するため、絶縁フィルムを用いたバルーンを形成することを第 2 の目的とし、そして、絶縁フィルム上にデバイスを形成することを第 3 の目的とした。

3. 研究の方法

スプレー法によりナノカーボン複合自立膜を作製した。図 2 に示すように、多層 CNT (multi-walled carbon nanotube: MWNT) 自立膜を張り合わせて約 12 cm×22 cm の大面積 MWNT フィルムを得た後、バルーン構造に加工した。典型的なバルーンの形状は一辺約 11 cm の正三角錐で、フィルム厚は約 6 μm だった。

MWNT 以外に、セルロースナノファイバー (CNF) 自立膜の作製を行った。CNF フィルムは、平均直径約 30 nm の CNF を上述した手法を用いて作製し、同様の手法でバルーン形状を作製した。

CNT フィルムは高い光吸収係数と熱伝導率を有するので、図 3(a) に示すように、光照射によりバルーン表面の温度が急峻に上昇する。昇温された MWNT フィルムは、徐々にバルーン内部の空気を暖め、バルーン内外に密度差を生じさせることにより浮揚することができる。浮遊しはじめるしきい値は、バルーンを構成する MWNT 自立膜の膜密度と幾何学形状に依存する。図 3(b) に、様々な形状のバルーンの前表面積の平方根に対する浮揚閾値温度との関係を示す。たとえば、 $S^{1/2}$ が 20 cm で膜密度 0.5 mg/cm² の膜を用いた場合、球状バルーンは 100-150°C、立方体バルーンは 150-200°C、正三角錐バルーンは 200-250°C で浮揚可能ということがわかる。

このように、浮揚原理は単純ではあるが、浮揚を実現するためには一般的なポリマーフィルムなどを利用することは困難である。つまり、

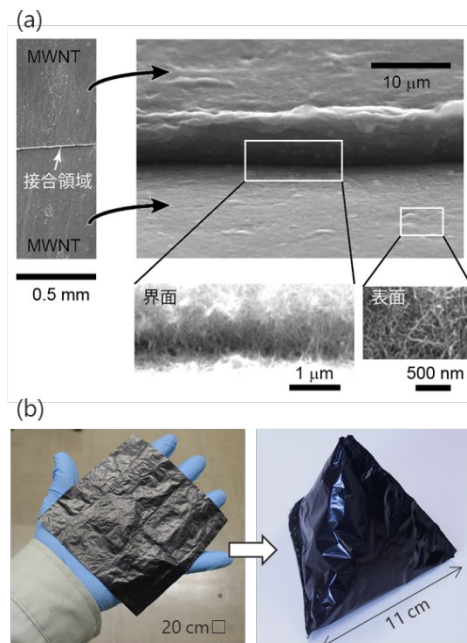


図 2 (a) MWNT フィルムの接合界面の走査電子顕微鏡像と (b) MWNT フィルムおよびバルーンの写真

CNT は非常に軽量で、光吸収係数と熱伝導率が高く、さらに一般的なポリマーとは異なり大気中で 400°C に加熱してもある程度耐えるので、本デバイスは CNT を利用するからこそ実現可能であるといえる。

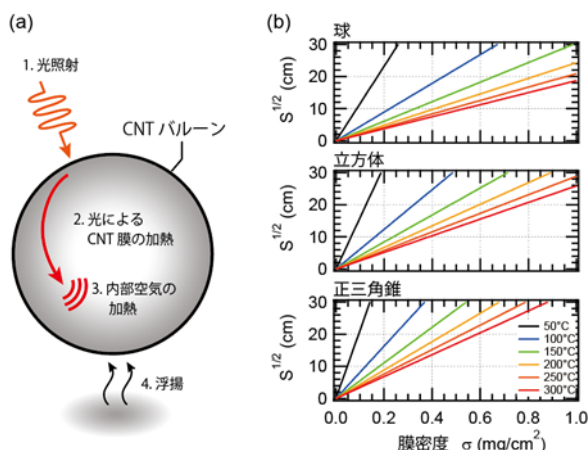


図 3(a) バルーンの浮揚原理と (b) 浮揚閾値温度

本研究では、浮揚時間の向上を目指し、より断熱性の高い CNF フィルムを MWNT でサンドイッチした複合フィルムを作製し、浮揚特性評価を行った。また、バルーンを構成する面を CNF に置き換えたときの浮揚試験、さらに、CNF フィルム上への薄膜デバイスの構築を行った。

4. 研究成果

4.1 断熱性向上による浮揚時間改善

これまで MWNT フィルムを用いてバルーンを作製したが、ここでは CNF フィルムの表面と裏面に CNT フィルムを形成した多層膜を用いてバルーンを作製した。まず、多層膜を用いたバルーンの場合、光照射遮断後のバルーン内部の空間温度推移を有限要素法によりシミュレーションした。

図 4(a) はバルーンと光源との位置関係を示す。これらを空気中に設置し輻射熱によるバルーン空間内部への熱伝導を計算した。図 4(b) はバルーン内部の三次元空間温度分布、(c) は光照射後のバルーン内部の二次元空間温度分布の経時変化、(d) は (b) における P~Q の一次元温度分布を示す。さらに、図 4(e) は光照射遮断後の三次元空間温度分布の経時変化を示す。Film A は従来の MWNT フィルム、Film B は CNF との多層膜フィルムを表している。MWNT フィルムを用いた場合、光照射をやめると 10 秒ほどで室温に戻り、一方で CNF との多層膜フィルムの場合、240 秒ほどかけてゆっくり室温に戻ることがわかった。

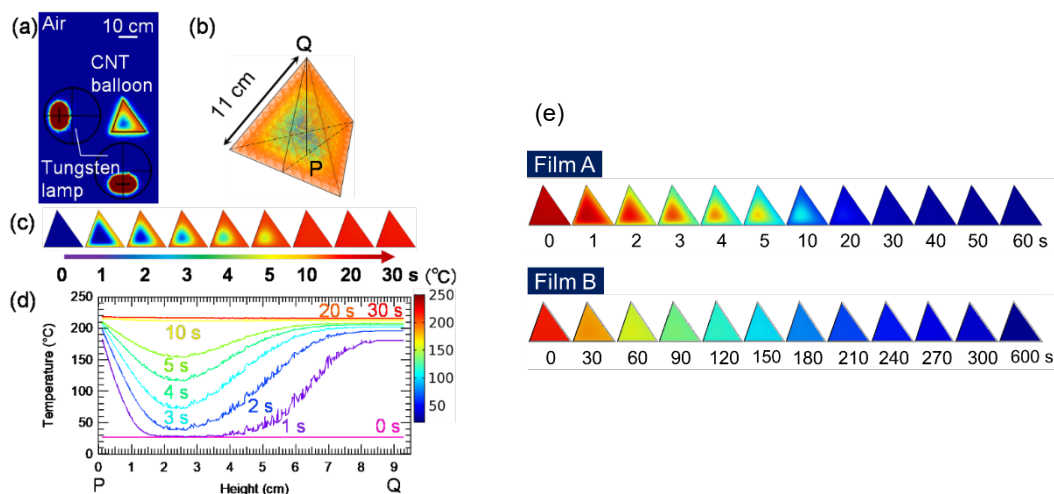


図 4 光照射時のバルーン内部温度の熱伝導シミュレーション

次に、実際 CNF/MWNT 多層膜を作製し、バルーンを作製し浮揚試験を行った。図 5 の Balloon A は Film A から作製したもので、同様に Balloon B は Film B から作製したものである。横軸は照射開始後の時間、縦軸はバルーンの浮揚高さを表している。どちらのバルーンも照射後に浮揚したものの、MWNT フィルムを用いた場合 10 秒ほどで落下し、CNF/MWNT 複合フィルムを用いた場合は上昇と下降を繰り返しながら浮揚し続けることがわかった。さらに、照射を続けると 8 時間以上浮揚することを確認した。当初の目的である浮揚時間 10 分間を大幅に超える結果が得られたが、浮揚高さは光源から数十センチと目標値よりも低かった。これは、単純に光源の光強度の減衰が理由であり、光源を高さ方向に複数個配置するとより高く浮揚すると考えられる。

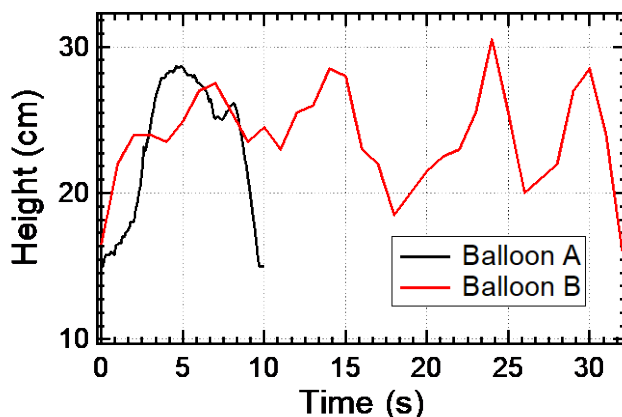


図 5 照射後の浮揚高さの経時変化 (実験)

4.2 センサ搭載可能な CNF/CNT ハイブリッドバルーンの作製

従来の CNT バルーンは、CNT 自立膜もしくは CNT/CNF 複合自立膜で構成されていたが、CNT/CNF 複合自立膜は、これらの自立膜上に薄膜デバイスを形成する場合、自立膜自体が絶縁性であることが求められる。さらに、照射によってほとんど温度上昇しない、つまり光吸収率が低い透明な自立膜が求められる。そこで、バルーンの構成面の一部を、デバイス搭載可能な CNF のみからなる CNF 自立膜に置換した。

図 6(a)に示すように、実際に種々の構成面の組み合わせのバルーンを作製し、構成面の組み合わせと浮力および機械強度との相関を得た。CNF 自立膜 (以下 CNF 面) は上記の手法により作製し、CNT/CNF 複合自立膜 (以下 CNT 面) と組み合わせると計 7 パターンの面構造をもつ正六面体形のハイブリッドバルーンを作製した。各バルーンの浮力測定と機械強度測定を行った。

図 6(b)に CNT 面数に対する浮力と浮力から求めた内部空間温度を示す。CNT 面数に対して浮力は飽和することがわかった。図 6(c)に CNT 面数に対する内部空間温度の昇温時定数 τ_h と冷却時定数 τ_c を示す。各時定数は、面数に依らずほぼ一定で、5 秒以下で 150°C 以上に達することが分かった。さらに、CNF 面が含まれたバルーンであっても十分浮揚することを明らかにした。

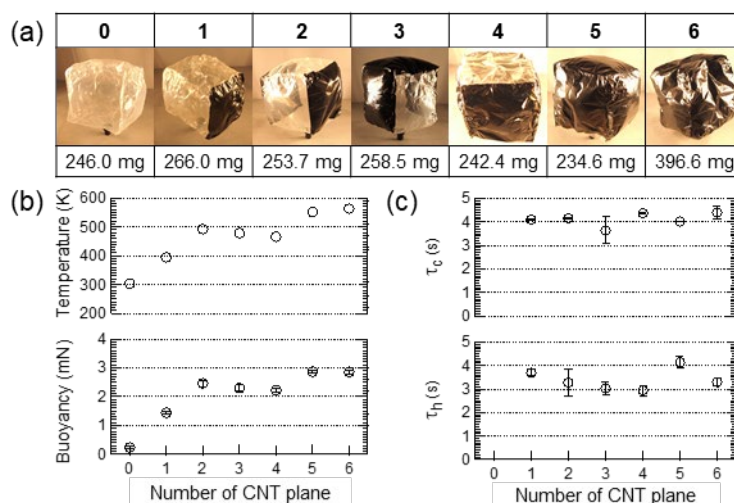


図 6 (a) CNT と CNF とを組み合わせたバルーン。数値は CNT 面の数を表す。(b) CNT 面の数に対する照射時の温度と浮力。(c) CNT 面の数に対する照射時の昇温時定数および照射遮断時の冷却時定数

図7に、一辺の長さが8 cmの正六面体の2面がCNTフィルム、4面がCNFフィルムで構成されたバルーンの浮揚特性を示す。図に示すように、光照射により浮揚することを実証できた。

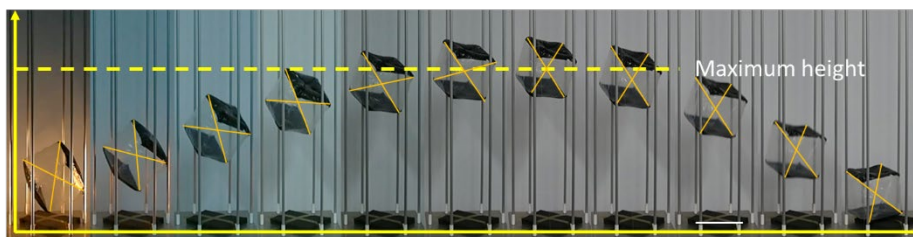


図7 2つのCNT面と4つのCNF面から構成されたバルーン構造

4.3 バルーンに搭載可能なCNFフィルムデバイスの作製

上述したように、CNTフィルムから構成される正六角形バルーンの一部の面をCNFフィルムに置き換えても、光浮揚することを見出した。そこで、CNFフィルム上にセンサや発電素子などの薄膜デバイスの作製を試みた。各種薄膜デバイスを作製するための要求仕様は、平坦性と薄さである。ガラス板と同程度の平坦性と10 μm 以下の膜厚をもつCNFフィルムの作製法を開発した。

加熱したホットプレート上に支持基板を設置した。支持基板としてガラス基板を用いた。次に、支持基板にCNF水溶液（中越パルプ工業製CNF水溶液（竹由来1 wt%））をスプレー噴霧した。スプレーガンには、0.5から1気圧の乾燥圧縮空気を印加し水溶液を噴霧した。典型的な噴霧レートは約70 $\mu\text{g/s}$ だった。最後に支持基板を室温に冷却した後、CNFフィルムを基板から剥離した。

本手法で作製した場合、CNFフィルムの膜厚は堆積量により約1.4 μm から約20 μm の範囲で制御できることがわかった。この膜厚範囲では、堆積量に対して膜厚がほぼ線形に増加し、直線の傾きから、CNFフィルムの密度は、セルロースナノ結晶（CNC）の密度とおおよそ一致していたことから、本手法で作製したCNFフィルムは極めて高密度の結晶性をもつといえる。

また、表面形態をAFMで観察したところ、繊維状構造が確認されたものの平均自乗粗さ（RMS）は6.4 nmと見積もられた。これまで報告されているCNFフィルムの膜厚は数十 μm から1000 μm なので、本研究で得られたCNFフィルムは従来のものよりも一桁肉薄である。

本CNFフィルムは、波長200 nmであっても透過率が約50%と高く、波長約400 nm以上で90%以上の透過率を示した。ガラスに比べると、紫外光領域での透過率が高く、さらにガラス特有の赤外光吸収を示さないことが確認できた。機械特性を調べたところ、引張強度が約82 MPa、ヤング率が4.3 GPaだった。交流抵抗率を測定したところ $3.5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ と高い絶縁性を示した。

以上のように、今回新たに開発した手法を用いることで、表面平坦性が高く膜厚制御性が高いCNFフィルムを得ることができるとわかった。また、全てのプロセスが大気圧で行えることと短時間で製造できることも本手法の利点である。

得られたCNFフィルムに、半導体性単層CNT（SWNT）をAu電極間にドロップキャストすることで架橋させ光照射下でIV測定を行った。光照射有無におけるIV特性から、フォト混濁ティビティを示すことを明らかにした。CNFフィルム上にSWNT水溶液を滴下・乾燥したとしても、デバイスとして動作することが実証できたことから、本研究課題で開発したCNFフィルムはウェットプロセスにも対応できることがわかった。

ワイドギャップ半導体（NiO/ZnO）薄膜を堆積し透明な太陽電池を作製することができた。比較のために、葉包紙上およびコピー紙上に同様の太陽電池を作製したところ、CNFフィルム上に作製したものが最も変換効率が高いことがわかった。これは、各種紙フィルムの表面平坦性に起因する。他に比べ平坦であることから、ドライプロセスによる薄膜積層に対応できることが実証された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Pinming Chinathun, Wongwiriyan Winadda, Rattanamai Songsak, Ketama Nathakreat, Treetong Alongkot, Ikuno Takashi, Tumcharern Gamolwan, Klamchuen Annop	4. 巻 32
2. 論文標題 Carbon nanotube/polydimethylsiloxane composite micropillar arrays using non-lithographic silicon nanowires as a template for performance enhancement of triboelectric nanogenerators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 095303 ~ 095303
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6528/abcb7c	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 R. Matsukawa, D. Kobayashi, H. Mitsui, and T. Ikuno	4. 巻 13
2. 論文標題 Environment-friendly paper-based flexible pressure sensors with carbon nanotubes and liquid metal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 27001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1882-0786/ab658b	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 R. Lawrowski, L. Pirker, K. Kaneko, H. Kokubo, M. Bachmann, T. Ikuno, M. Remskar, and R. Schreiner	4. 巻 38
2. 論文標題 Field emission from nanotubes and flakes of transition metal dichalcogenides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Vac. Sci. Technol. B.	6. 最初と最後の頁 32801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1116/1.5140474	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 生野孝	4. 巻 -
2. 論文標題 肉薄・平坦セルロースナノファイバーフィルムの作製と応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月刊MATERIAL STAGE	6. 最初と最後の頁 2月号
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 T. Ikuno, K. Takahashi, D. Kobayashi, H. Mitsui, S. Kato, and S. Fujii	4. 巻 12
2. 論文標題 A light-driven flying balloon composed of carbon nanotube freestanding films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 47002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab0500	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 高橋一希, 小林大起, 三井拓樹, 谷口淳, 加藤悟, 藤井俊治郎, 生野孝	4. 巻 27
2. 論文標題 カーボンナノチューブバルーン浮揚体の創製及び放射伝熱シミュレーション	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本AEM学会誌	6. 最初と最後の頁 206-211
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 -

[学会発表] 計34件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Phadungpong Sapcharoenmark, Supawee Inlumphan, Mayuree Phonyiem, Annop Klamchuen, Takashi Ikuno, Winadda Wongwiriyanpan
2. 発表標題 Preparation of Chitin Nanofiber/Carbon Nanotube/ Sodium Lauryl Sulfate Composites and their Applications in Triboelectric Nanogenerators
3. 学会等名 The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroaki Komatsu, Yurika Kawamoto, and Takashi Ikuno
2. 発表標題 Carrier transport properties of hetero nanostructures based on cellulose nanofibers
3. 学会等名 The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryuto Takita, Kaito Koshiji, Hiroki Kokubo, Winadda Wongwiriyan, and Takashi Ikuno
2. 発表標題 Effect of injected charges in PDMS films on triboelectric power generation
3. 学会等名 The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manasicha Samart, Yanisa Charoenwat, Pundita Ukkakimapan, Mayuree Phonyiem, Takashi Ikuno, Winadda Wongwiriyan
2. 発表標題 Preparation of Chitin Nanofiber-based Membranes with Enhanced Electrolyte Uptake Capability
3. 学会等名 The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Ikuno
2. 発表標題 Wavelength-dependent bipolar photodetectors
3. 学会等名 The 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 生野孝
2. 発表標題 色に応じた出力極性を示す光センサ
3. 学会等名 色材セミナー2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松裕明, 河本有里加, 生野孝
2. 発表標題 ZnO微粒子含有CNFフィルムの光励起キャリア輸送特性
3. 学会等名 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 滝田隆仁, 小久保裕貴, 越路海世, 生野孝
2. 発表標題 PDMSフィルムに形成した固定電荷がトライボ発電特性に与える影響
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 畑山亮, 生野孝
2. 発表標題 CNFフィルム上に形成されたAu微粒子アレイの電気伝導特性評価
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 山田祐, 本庄一希, 谷口淳, 生野孝
2. 発表標題 液体金属/CNT界面の疎液性を利用したフレキシブル圧力センサーの創製
3. 学会等名 日本表面真空学会2019年度関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚誠也, 生野孝
2. 発表標題 液体金属/CNT界面の特異性を利用したフレキシブルMEMSセンサーの提案
3. 学会等名 日本表面真空学会2019年度関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生野孝
2. 発表標題 半導体バンド曲がりを利用した色識別センサーの提案・実証
3. 学会等名 日本表面真空学会2019年度関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋一希, 原慎一郎, 生野孝
2. 発表標題 光浮揚CNTバルーンの部材最適化シミュレーション
3. 学会等名 日本表面真空学会2019年度関東支部学術講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生野 孝
2. 発表標題 平坦・極薄CNFフィルムの作製方法とその応用について
3. 学会等名 ～京都スマートシティエキスポ2019プレイベント～ 京都グリーンケミカル・ネットワーク オープンイノベーション～ナノセルロースの最新状況～（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 城市啓太, 畑山亮, 有我俊一, 嶋田貴基, 田中裕之, 生野孝
2. 発表標題 肉薄・平坦セルロースナノファイバーフィルムの大面積作製技術開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 礪前雄人, 益崎祐誠, 金子恵太, 上坪優希, 生野孝
2. 発表標題 レーザー熱転写法によるナノカーボン配線形成技術の開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保匠, 加藤匠秀, 杉山睦, 生野孝
2. 発表標題 ナノペーパーを用いた環境親和型透明薄膜太陽電池
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河本 有里加, Sonta Pimchanok, Wongwiriyan Winadda, 生野孝
2. 発表標題 Ag含有セルロースナノファイバーフィルムを用いた湿度センサ
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 曾明然, 三井拓樹, 生野孝
2. 発表標題 液体金属ナノワイヤーの簡易作製手法
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越路海世, 小久保裕貴, 高橋一希, 生野孝
2. 発表標題 PDMS/AIを用いた接触分離型TENGの発電特性評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門川あかり, 高橋一希, 生野孝
2. 発表標題 セルロースナノファイバー/カーボンナノチューブを用いたハイブリッド光浮揚バルーンの創製
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田貴基, 生野孝
2. 発表標題 透明セルロースナノファイバーフィルム剥離時における動的機械物性評価法の確立
3. 学会等名 第67回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Takahashi, Daiki Kobayashi, Yuta Yamasaki, Shunjiro Fujii, and Takashi Ikuno
2. 発表標題 Radiative heating simulation of CNT balloons for improvement of the levitation
3. 学会等名 The 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Kobayashi, Kazuki Takahashi, Hiroki Mitsui, Shunjiro Fujii, and Takashi Ikuno
2. 発表標題 A flying balloon based on carbon nanotube freestanding films
3. 学会等名 The 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Mitsui, Ryotaro Matsukawa, Daiki Kobayashi, and Takashi Ikuno
2. 発表標題 Paper-based pressure sensors utilized by a peculiar interface of liquid metal and carbon nanotube network
3. 学会等名 The 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畑山亮, 寺田良太, 高橋一希, 小林大起, 生野孝
2. 発表標題 カーボンナノチューブ自立膜を用いたバルーン浮揚体の創製
3. 学会等名 東京理科大学ナノカーボンワークショップ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋一希, 生野孝
2. 発表標題 カーボンナノチューブバルーン浮揚体の放射伝熱シミュレーション及び浮揚特性の改善
3. 学会等名 東京理科大学ナノカーボンワークショップ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大塚誠也, 三井拓樹, 生野孝
2. 発表標題 液体金属/CNT界面の特異性を利用したフレキシブル圧力センサーの作製・評価
3. 学会等名 東京理科大学ナノカーボンワークショップ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋一希, 小林大起, 畑山亮, 寺田良太, 生野孝
2. 発表標題 カーボンナノチューブバルーン浮揚体の形状と浮揚特性の相関
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋一希, 小林大起, 三井拓樹, 谷口淳, 加藤悟, 藤井俊治郎, 生野孝
2. 発表標題 カーボンナノチューブバルーン浮揚体の創製及び放射伝熱シミュレーション
3. 学会等名 第27回MAGDAコンファレンス(電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畑山亮, 高橋一希, 小林大起, 生野孝
2. 発表標題 光励起バルーン浮揚体に向けたカーボンナノチューブ自立膜の光熱変換評価
3. 学会等名 The 15th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 生野孝
2. 発表標題 光駆動型カーボンナノチューブ浮揚体の創製
3. 学会等名 2018年度多元系化合物・太陽電池研究会（応用物理学会研究会）年末講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原慎一郎, 生野孝
2. 発表標題 光浮揚CNTバルーンの部材最適化シミュレーション
3. 学会等名 第4回TUSナノカーボン研究部門・UECナノトライポロジーセンター合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畑山亮, 生野孝
2. 発表標題 薄膜プロセスに利用可能な超平坦・極薄・大面積セルロースナノファイバーフィルムの創製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ナノ繊維自立膜及びその製造方法	発明者 生野孝, 畑山亮	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-003810	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------