

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03380

研究課題名(和文) 分子のトポタクティック脱水素炭化による新しい炭素同素体の合成と機能開拓

研究課題名(英文) Synthesis and functions of new carbon allotrope by topotactic carbonization of molecules

研究代表者

島田 敏宏 (Toshihiro, SHIMADA)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：10262148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：分子性固体の高温高压処理により新しい炭素系材料を合成しその機能を探求することを目的として研究を行った。(1)窒素を含み、大きな共役系を持つ芳香族分子を合成し、その粉末結晶に常温で5GPaの高压を印加したところ、2量体、3量体が質量分析により観測され、重合していることが明らかになった。(2)sp<sup>3</sup>炭素がネットワーク的につながり、水素で終端されたポリヒドリドカルビンの高温高压処理により、結晶性の炭素固体が得られた。(3)分子から合成される光触媒グラファイト性窒化炭素g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の高温処理法を探求し光触媒活性が高い物質の合成を行った。第一原理計算を併用してメカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい炭素材料の開発の方法論として、「有機分子性固体の高温高压処理による分子の炭素骨格を残した固体の合成」という概念を提案し、実証実験を進めた。結果として、高压だけで重合を起こす分子の発見、第一原理計算によるその反応機構の解明を行うことができた。さらに、光触媒の新規調製法などの開発を行った。本研究はその第一段階を終えたが、今後はこれらの研究を融合させて、新しい炭素材料を数多く生み出しその機能を開拓したい。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research project is to synthesize new carbon-based materials and pursue their functions. The synthesis is based on the high temperature and high pressure processing of molecular solids. The results of this project are as follows: (1) We synthesized large aromatic molecules containing nitrogen, and applied 5GPa pressure at room temperature. We detected dimers and trimers in the processed solids, and concluded that partial polymerization occurred. One of them showed ordered peaks in X-ray diffraction. (2) We synthesized polyhydridecarbine, which has sp<sup>3</sup> network carbon structure with hydrogen termination and applied high pressure and high temperature. Crystalline solid with a lattice constant similar to Z-carbon, a rare allotrope of carbon. (3) New processing of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, a photocatalyst, was studied and established some strategies to obtain materials with excellent photocatalytic activities. Those results were analyzed with ab initio calculations.

研究分野：固体化学

キーワード：炭素材料 高压 有機分子

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

炭素の同素体には  $sp^3$  を成分とするダイヤモンド、 $sp^2$  を成分とするグラファイト・グラフェンの他に  $sp^2$  と  $sp^3$  がナノスケールでネットワークを組んだ無限の物質が存在しているはずである。ダイヤモンドはワイドギャップ半導体であり、グラファイトは金属であることから、 $sp^3$ - $sp^2$  ネットワーク炭素は幅広く調整可能なバンドギャップを持つ半導体になりうるはずであり、資源問題と無縁な太陽電池用・人工光合成用材料など、ゲームチェンジ・テクノロジーとしての高いポテンシャルを持っている。しかし、これらを実際に合成する方法はほとんど知られておらず、各温度圧力で熱力学的に最安定なダイヤモンドやグラファイト、 $3000^\circ\text{C}$ 以上の高温で生じる炭素気体から生じるフラーレンや、遷移金属触媒に気相から炭素が溶解して析出する反応で生じるカーボンナノチューブなど、明確な構造を持つものは限られた種類の物質しか作ることができない。新しい合成手法の開拓には大きな意義があると考えられる。明確な長距離秩序がない炭素同素体は「アモルファスカーボン」「グラッシーカーボン」「ダイヤモンドライクカーボン」などとしてひとくくりにされている。一方、最近では、炭素の同素体の計算科学による探索が進んでおり、 $z$ -carbon,  $m$ -carbon,  $bct$ - $C_4$  など多くの準安定物質が計算科学的に見つかっているが、明確に実験的に合成されたものは少ない。さらに、異種元素との化合物も注目を集めている。例えば、窒素と炭素の化合物であるグラファイト状  $C_3N_4(g-C_3N_4)$  は可視光に応答する光触媒活性が見出されている。

### 2. 研究の目的

本研究は、まだ未解明の点が多い有機化合物の焼成による炭素材料の形成の基礎を掘り起こし、原料分子合成、高温高压プロセスおよび CVD 等の製膜プロセスによる炭素固体合成、電子顕微鏡や紫外ラマンを用いた構造解析、計算科学による反応過程の解明、さらに光触媒や電極触媒等、局所構造に由来する新機能の探索を行うことを目標とした。

### 3. 研究の方法

分子合成、結晶構造決定、高压・高温印加実験、構造・物性決定、機能評価（一部について光触媒活性評価）、第一原理計算という流れで研究を進めた。超高压実験には、本予算で購入したキュービックアンビル型高压装置を主にもちいたが、一部物質・材料研究機構のベルト型高压装置も用いた。比較のため、石英ガラス封管中での加熱（圧力 $\sim 1\text{MPa}$ ）、開放系での加熱も用いた。第一原理計算については、プログラムパッケージ VASP と Gaussian を用い、東大物性研と分子科学研究所のスーパーコンピュータを使用して計算を行った。

### 4. 研究成果

(1) 窒素を含み、大きな共役系を持つ芳香族分子を合成し、その粉末結晶に常温で  $5\text{GPa}$  の高压を印加したところ、二量体、三量体が質量分析により観測され、重合していることが明らかになった。例として、 $\text{dibenzo[a,c]dibenzo[5,6:7,8]quinox-alino[2,3-i]phenazine}$  (DDQP) を取り上げる。

図1は、DDQPの粉末結晶に室温で  $5\text{GPa}$  を24時間印加した後、常圧に戻してからMALDI質量分析を行った結果である。単量体のピークに加えて、二量体、三量体のピークが表れており、室温で部分的に重合が起こったことがわかる。図2は、高压印加前後の赤外分光の結果である。高压処理後は、芳香環領域のスペクトルが大きく変化するとともに、 $sp^3$ 炭素の信号が現れている。これは、芳香環が変化し、分子間の結合が生じたことを示している。

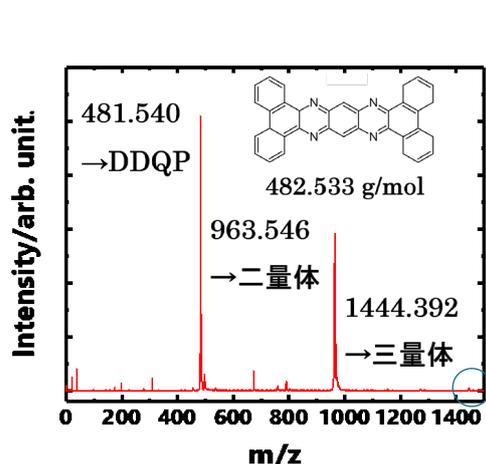


図1 高压印加後の MALDI

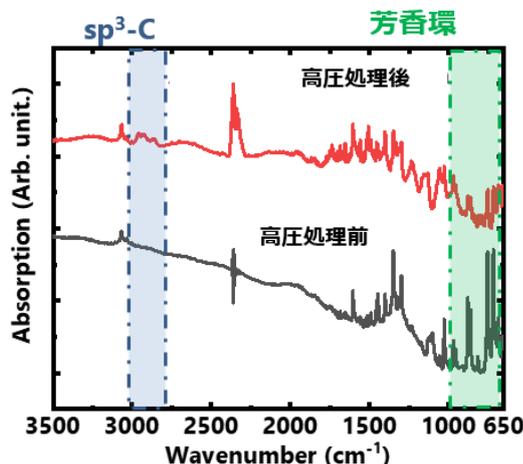


図2：赤外吸収スペクトル

第一原理計算により、格子定数を段階的に縮めて構造最適化することにより高压の効果をシミュレートした。その結果、図3のように分子間にDiels-Alder型の反応が起こり、三次元ネットワークが生じることが明らかになった。完全に重合した場合、バンド構造は図4のようになり、エネルギーギャップが狭い半導体であることがわかる。

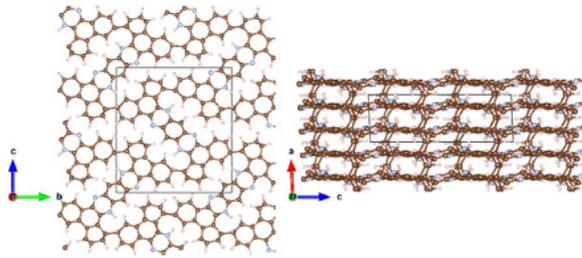


図3：計算で得られたDDQP重合体の構造

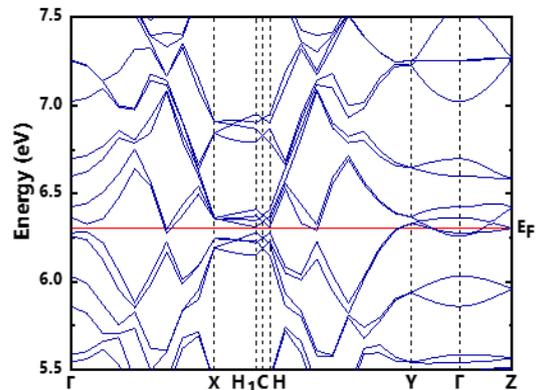


図4：DDQP重合体のバンド構造

また、ハロゲンを含む分子についても実験を行い、dibromoanthraceneを原料として、X線回折でピークを示す黒色固体を得た。dbromoanthraceneは、金属表面上での脱水素反応によりグラフェンナノリボンを生成することが知られており、金属なしでも高温高压により重合が起こることを示唆している。

(2)sp<sup>3</sup>炭素がネットワーク的につながり、水素で末端されたpolyhydridecarbideの合成法を改良して得られた高純度炭素固体に対して、高温高压処理を行った結果、条件によっては新しい炭素固体が得られるとともに、通常よりも低い温度圧力条件でダイヤモンドが生成した。

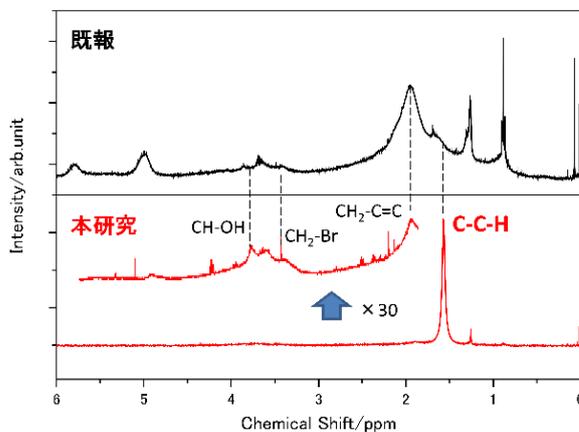


図5：純度の向上 (H-NMR)

NaK合金とCHBr<sub>3</sub>の反応によって得られるpolyhydridecarbideは、加熱によりダイヤモンドライクカーボンが得られることが報告されているが、C-C二重結合が不純物として混入し、生成物が安定して得られない欠点があった。その合成条件を検討した結果、CHBr<sub>3</sub>大過剰条件によって不純物の少ないものが得られることがH-NMR (図5) 等により明らかになった。

得られたpolyhydridecarbideを原料として、石英管に真空封入して1000°Cで処理したところ、黒い固体が得られた。電子顕微鏡像および回折像から、多結晶の固体が得られていることが分かった。成分は炭素である。面間距離d値は2.00Åであり、グラファイトでもダイヤモンドでもない結晶性の固体である。似た格子定数を持つ物質としては、レーザーアブレーション等で少量が得られる炭素同素体Z-carbonがあるが、この実験で得られた物質の構造の同定のためには、さらに事件を進める必要がある。

また、ベルト型装置によりpolyhydridecarbideを8.8GPa, 1500°Cで処理したところ、ダイヤモンド

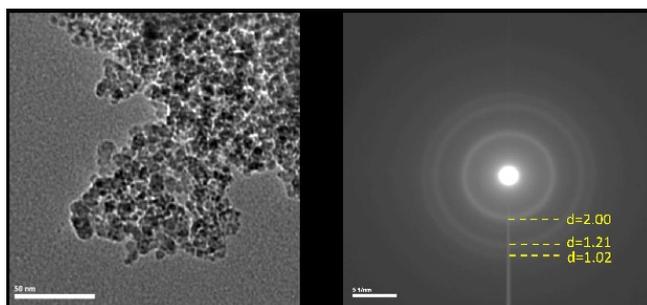


図6：polyhydridecarbide焼成体のTEMと電子線回折像

ンドが得られた。これは、遷移金属触媒を用いないとダイヤモンド生成が起こらない条件でダイヤモンドを得ることができたことを意味する。

(3)メラミン分子の加熱により合成されるグラファイト性窒化炭素 $g-C_3N_4$ は可視域で光触媒活性を示すことにより注目されている。 $g-C_3N_4$ は層状構造を持つため、層をできるだけ分離した構造にすれば質量当たりの表面積が増加し、触媒活性が高くなることが期待される。また、部分酸化等によりバンド構造を変化させること、反応中心を増加させられることなどが期待される。ここでは、本研究の一部として、高温処理法を探求した結果を紹介する。まず、高温状態から一気に液体窒素に投入することで層を効率的に剥離できることが分かった。次に、ショ糖と一緒にボールミルすることにより効率的に剥離を行い、水洗により分離できることが分かった。

さらに、大気中の高温処理による部分酸化が光触媒活性のスペクトル特性を変化させ、420nm以上のバンド間吸収領域にできた吸収が550nmまで光触媒活性を示すことも明らかにした(図7、AQE)。

これらの機構を第一原理計算により明らかにした。例として、液体窒素との相互作用を示す(図8)。

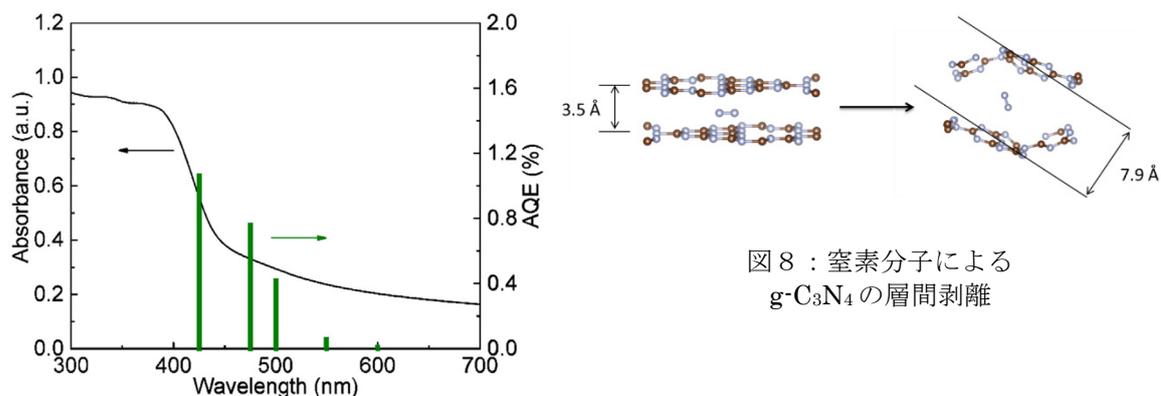


図7：吸収スペクトルと光触媒活性

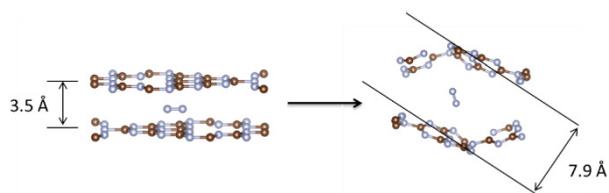


図8：窒素分子による $g-C_3N_4$ の層間剥離

そのほか、グラフェンと六方晶窒化ホウ素(h-BN)を原料としてトポタクティック合成した炭素材料の磁性測定を行い、発現する強磁性の詳細な測定と解釈を行った(図9)。リチウムアセチリド $Li_2C_2$ を合成し、炭素形成反応を調べた。200°Cという低温でも結晶性の高いグラフェンナノリボンが得られることがわかった。 $Li_2C_2$ からは、温和な条件で多様な炭素が得られることを明らかにした。

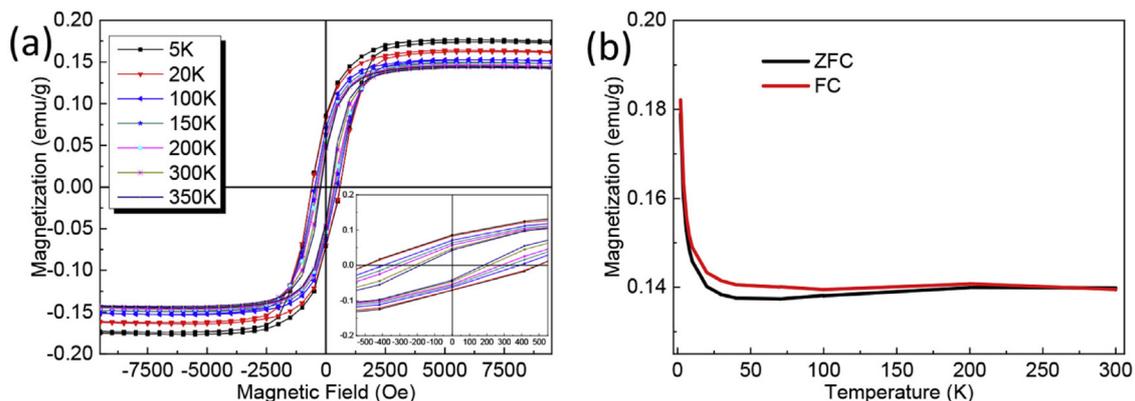


図9：グラフェンとh-BNから合成されたB-C-N層状物質の磁化曲線(a)と、磁化率の温度依存性(b)。ZFCはゼロ磁場冷却、FCは磁場中冷却で、スピングラス的挙動が見られる。

以上をまとめると、有機分子固体の高温高压処理により新しい炭素材料を得る試みにより、長距離秩序を持ついくつかの新しい炭素系固体を得ることに成功したといえる。まだ構造の詳細決定に至らない物質が多いが、継続して構造決定・機能評価・反応開拓を行っていく。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 11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 Yamane Ichiro, Yanase Takashi, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Search for new nitrogen-doped carbon materials by compressing molecular crystals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBG13 ~ SBBG13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aafd8f	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 Sakai Nobuhiko, Tamura Takahiro, Yanase Takashi, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Single crystal growth, structural analysis and electronic band structure of a nitrogen-containing polyacene Benzo[i]benzo[6,7]quinoxalino[2,3:9,10]phenanthro[4,5-abc]phenazine	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBG08 ~ SBBG08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/aafe6d	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 Liu Wei, Yanase Takashi, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 792
2. 論文標題 Synthesis of carbon-doped boron nitride nanosheets and enhancement of their room-temperature ferromagnetic properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 1206 ~ 1212
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.jallcom.2019.04.136">https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.04.136</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 Goto Yuki, Araki Masato, Takahashi Nozomi, Yanase Takashi, Shimada Toshihiro, Tsujikawa Masahito, Shirai Masafumi, Kamimaki Akira, Iihama Satoshi, Mizukami Shigemi, Nagahama Taro	4. 巻 57
2. 論文標題 Synthesis of metastable B2-type Fe-Sn alloy epitaxial films and study of their magnetic properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 120302 ~ 120302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.120302	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 Yanase Takashi, Watanabe Sho, Uehara Fumiya, Weng Mengting, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 649
2. 論文標題 Synthesis of Mo1-xNbxS2 thin films by separate-flow chemical vapor deposition with chloride sources	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 171 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2018.01.052	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 田村貴大, Roman Nowak, 高倉洋礼, 島田敏宏	4. 巻 134
2. 論文標題 さまざまな面指数を持つcBN表面のナノインデンテーション	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Diamond	6. 最初と最後の頁 20 ~ 21
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 該当する

1. 著者名 Yanase Takashi, Watanabe Sho, Uehara Fumiya, Weng Mengting, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 649
2. 論文標題 Synthesis of Mo1-xNbxS2 thin films by separate-flow chemical vapor deposition with chloride sources	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 171 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2018.01.052	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 Xie Wei, Tamura Takahiro, Yanase Takashi, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Rich interfacial chemistry and properties of carbon-doped hexagonal boron nitride nanosheets revealed by electronic structure calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04FL11 ~ 04FL11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.04FL11	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 Yanase Takashi, Uwabe Hiroaki, Hasegawa Koki, Nagahama Taro, Yamaguchi Makoto, Shimada Toshihiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Semitransparent conductive carbon films synthesized by sintering spin-coated sp <sup>3</sup> -based network polymer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 030302 ~ 030302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.030302">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.030302</a>	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 Weng Mengting, Zhang Meiqi, Yanase Takashi, Uehara Fumiya, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Catalytic chemical vapor deposition and structural analysis of MoS <sub>2</sub> nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 030304 ~ 030304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.57.030304">https://doi.org/10.7567/JJAP.57.030304</a>	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 Fuchibe Kohei, Shigeno Kento, Zhao Nan, Aihara Hiromichi, Akisaka Rikuo, Morikawa Toshiyuki, Fujita Takeshi, Yamakawa Kie, Shimada Toshihiro, Ichikawa Junji	4. 巻 203
2. 論文標題 Pinpoint-fluorinated polycyclic aromatic hydrocarbons (F-PAHs): Syntheses of difluorinated subfamily and their properties	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Fluorine Chemistry	6. 最初と最後の頁 173 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluchem.2017.09.002">http://dx.doi.org/10.1016/j.jfluchem.2017.09.002</a>	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 Miura Akira, Hokimoto Tsukasa, Nagao Masanori, Yanase Takashi, Shimada Toshihiro, Tadanaga Kiyoharu	4. 巻 2
2. 論文標題 Prediction of Ternary Liquidus Temperatures by Statistical Modeling of Binary and Ternary Ag-Al-Sn-Zn Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 5271 ~ 5282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.7b00784	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 Tamura Takahiro, Takami Takuya, Yanase Takashi, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 56
2. 論文標題 N2plasma etching processes of microscopic single crystals of cubic boron nitride	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 06HF01 ~ 06HF01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7567/JJAP.56.06HF01">https://doi.org/10.7567/JJAP.56.06HF01</a>	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 Liu Wei, Yanase Takashi, Iwasa Nobuhiro, Koizumi Hitoshi, Mukai Shin, Iwamura Shinichiro, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 45
2. 論文標題 Sugar-assisted mechanochemical exfoliation of graphitic carbon nitride for enhanced visible-light photocatalytic performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 8444 ~ 8455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2020.01.024	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 Liu Wei, Yanase Takashi, Iwasa Nobuhiro, Mukai Shin, Iwamura Shinichiro, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 567
2. 論文標題 Post-annealed graphite carbon nitride nanoplates obtained by sugar-assisted exfoliation with improved visible-light photocatalytic performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Colloid and Interface Science	6. 最初と最後の頁 369 ~ 378
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.jcis.2020.02.031">https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.02.031</a>	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 Liu Wei, Iwasa Nobuhiro, Fujita Shinichiro, Koizumi Hitoshi, Yamaguchi Makoto, Shimada Toshihiro	4. 巻 499
2. 論文標題 Porous graphitic carbon nitride nanoplates obtained by a combined exfoliation strategy for enhanced visible light photocatalytic activity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 143901 ~ 143901
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.apsusc.2019.143901">https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.143901</a>	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 Yanase Takashi, Ogihara Uika, Awashima Yoshihiro, Yanagida Takeshi, Nagashima Kazuki, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Growth Kinetics and Magnetic Property of Single-Crystal Fe Nanowires Grown via Vapor-Solid Mechanism Using Chemically Synthesized FeO Nanoparticle Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 7257 ~ 7263
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/acs.cgd.9b01148">https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b01148</a>	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 Nodo S., Yamamoto T., Yanase T., Shimada T., Nagahama T.	4. 巻 306
2. 論文標題 Characterization of magnetic properties of ultrathin CoFe204 films by utilizing magnetic proximity effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Communications	6. 最初と最後の頁 113762 ~ 113762
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.ssc.2019.113762">https://doi.org/10.1016/j.ssc.2019.113762</a>	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 Yanase Takashi, Miura Takuya, Shiratori Tatsuya, Weng Mengting, Nagahama Taro, Shimada Toshihiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Synthesis of Carbon Nanotubes by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Using Fe <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> O Nanoparticles as Catalysts: How Does the Catalytic Activity of Graphitization Affect the Yields and Morphology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 C	6. 最初と最後の頁 46 ~ 46
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/c5030046">https://doi.org/10.3390/c5030046</a>	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 Wei Xie, Takahiro Tamura, Takashi Yanase, Taro Nagahama, Toshihiro Shimada	4. 巻 57
2. 論文標題 Rich interfacial chemistry and properties of carbon-doped hexagonal boron nitride nanosheets revealed by electronic structure calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 04FL11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.7567/JJAP.57.04FL11/meta">https://iopscience.iop.org/article/10.7567/JJAP.57.04FL11/meta</a>	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42件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 後藤 真菜美・柳瀬 隆・長浜 太郎・島田 敏宏
2. 発表標題 乱流を用いたCVD法によるMoS <sub>2</sub> ナノチューブの合成
3. 学会等名 2019年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Meiqi Zhang・Boyue Lian・Gregory Leslie・Toshihiro Shimada
2. 発表標題 Understanding the exfoliated MoS <sub>2</sub> /GO membrane stability during water filtration
3. 学会等名 2019年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小谷 直人・田村 貴大・柳瀬 隆・長浜 太郎・島田 敏宏
2. 発表標題 Li <sub>2</sub> C <sub>2</sub> を原料とする新規ナノカーボンの合成
3. 学会等名 2019年応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉維・田村貴大・柳瀬 隆・長浜太郎・島田 敏宏
2. 発表標題 Porous Graphitic Carbon Nitride Nanosheets Obtained by A Combined Exfoliation Strategy for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Production
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年基礎討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田敏宏・白鳥達也・山本靖典・長浜太郎・柳瀬隆
2. 発表標題 窒化ホウ素ナノチューブCVD合成のナノ粒子触媒の探索
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年基礎討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Meiqi Zhang・Boyue Lian・Gregory Leslie・Toshihiro Shimada
2. 発表標題 Understanding of the exfoliated MoS <sub>2</sub> /GO membrane filtration performance
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年基礎討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田敏宏・上原史也・後藤真菜美・田村貴大・柳瀬 隆・長浜太郎
2. 発表標題 MoS <sub>2</sub> のCVD成長 - 触媒ナノ粒子を用いたナノチューブ成長と薄膜の不純物・欠陥の解析
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 MEIQI ZHANG、Takashi Yanese、Taro Nagahama、Toshihiro Shimada
2. 発表標題 DFT calculation of rectangular MoS <sub>2</sub> nanotubes
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山根 伊知郎、柳瀬 隆、長浜 太郎、島田 敏宏
2. 発表標題 分子結晶への超高圧印加による新規窒素含有炭素材料の探索
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒井 宣彦、柳瀬 隆、長浜 太郎、島田 敏宏
2. 発表標題 窒素含有アセンの合成とフラックス蒸発法による単結晶成長
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白鳥 達也、高見 拓哉、三浦 拓也、柳瀬 隆、長浜 太郎、山本 靖典、島田 敏宏
2. 発表標題 プラズマCVDによる窒化ホウ素合成における原料と触媒の影響
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田 敏宏、酒井 宣彦、李 明哲、楊 笑然、長浜 太郎、柳瀬 隆
2. 発表標題 フラックス蒸発法による有機半導体単結晶成長と応用
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Yamane · T. Yanase · T. Naghama · T. Shimada
2. 発表標題 Search of new nitrogen-doped carbon materials by compressing molecular crystals
3. 学会等名 50th International Conference on Solid State Materials and Devices (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Sakai · T. Yanase · T. Naghama · T. Shimada
2. 発表標題 Synthesis of N-doped polyacenes and single crystal growth by flux evaporation method
3. 学会等名 50th International Conference on Solid State Materials and Devices (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山根 伊知郎・柳瀬 隆・長浜 太郎・島田 敏宏
2. 発表標題 有機分子結晶の高圧処理による新規窒素含有炭素材料の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劉 維・柳瀬 隆・長浜 太郎・島田 敏宏
2. 発表標題 炭素含有窒化ホウ素ナノシートの合成と磁性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白鳥達也・三浦拓也・柳瀬隆・長浜太郎・島田敏宏
2. 発表標題 カーボンナノチューブのプラズマCVD成長における遷移金属ナノ粒子の触媒活性の研究
3. 学会等名 日本化学会北海道支部夏季研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 李明哲・楊笑然・酒井宣彦・柳瀬隆・長浜太郎・島田敏宏
2. 発表標題 ナフタレン溶媒中でのペンタセン結晶成長と二量体化
3. 学会等名 日本化学会北海道支部夏季研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 酒井宣彦・柳瀬隆・長浜太郎・島田敏宏
2. 発表標題 窒素含有アセンの合成とフラックス蒸発法による単結晶成長
3. 学会等名 日本化学会北海道支部夏季研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村貴大、Pasi Jalkanen、Michael Trebara、柳瀬隆、長浜太郎、Roman Nowak、○島田敏宏
2. 発表標題 さまざまな面指数を持つcBN表面のナノインデンテーション
3. 学会等名 応用物理学会第65回春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小谷直人、柳瀬隆、長浜太郎、川村史朗、島田敏宏
2. 発表標題 アルカリ金属炭化物を原料とした炭素材料の合成
3. 学会等名 第31回ダイヤモンドシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 島田敏宏
2. 発表標題 有機半導体はどこまでフレキシブルか？ 計算と実験から考える
3. 学会等名 第25回有機EL討論会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshihiro Shimada
2. 発表標題 Single Crystal Growth and Mechanical Properties of Organic Semiconductors
3. 学会等名 The 17th International Discussion and Conference on NICE device (IDC-NICE2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yanase, K. Hasegawa, T. Taniguchi, F. Kawaguchi, T. Shimada
2. 発表標題 Investigation of synthetic route for the new carbon allotrope
3. 学会等名 International Conference on Diamond and Carbon Materials 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 島田敏宏、内藤樹、後藤真菜美、長浜太郎、 柳瀬隆
2. 発表標題 酸化物単結晶の硫化処理による原子層物質の合成
3. 学会等名 セラミックス基礎討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wei Liu・柳瀬隆・長浜太郎・島田敏宏
2. 発表標題 果糖を用いた粉砕によるg-C3N4の光触媒活性の向上
3. 学会等名 セラミックス基礎討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Yanase, F. Uehara, S. Watanabe, T. Nagahama, T. Shimada
2. 発表標題 Synthesis of Mo <sub>1-x</sub> Nb <sub>x</sub> S <sub>2</sub> thin films by chemical vapor deposition with a separate-flow system
3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liu Wei, T. Yanase, T. Nagahama, T. Shimada
2. 発表標題 Sugar-Assisted Noncovalent delamination of Carbon nitride nanosheets for enhanced photocatalytic performance
3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山根伊知郎、柳瀬隆、長浜太郎、島田敏宏
2. 発表標題 アセン類への高温高压処理による炭素固体の合成
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 淡嶋義弘、柳瀬隆、長浜太郎、島田敏宏
2. 発表標題 磁性体ナノワイヤのCVD合成と単一ナノワイヤに対する物性評価
3. 学会等名 2019年応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山根伊知郎、柳瀬隆、長浜太郎、島田敏宏
2. 発表標題 ポリアセン類を前駆体とした高温高压法による新規炭素固体の合成
3. 学会等名 2019年応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤真菜美、柳瀬隆、長浜太郎、島田敏宏
2. 発表標題 乱流を用いたCVD法によるMoO <sub>2</sub> ナノワイヤの成長メカニズムおよびその硫化によるMoS <sub>2</sub> の合成
3. 学会等名 2019年応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹鼻大貴、田村貴大、柳瀬隆、長浜太郎、島田敏宏
2. 発表標題 アルカリ金属加熱処理によるダイヤモンドNV中心の蛍光の変化
3. 学会等名 2019年応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shiratori, T. Yanase, T. Nagahama, Y. Yamamoto, T. Shimada
2. 発表標題 Plasma CVD of BN nanotubes using catalytic nanoparticles
3. 学会等名 XXXIV ICPIG&ICRP-10 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shimada
2. 発表標題 Catalytic CVD Growth of MoS <sub>2</sub> Nanotubes
3. 学会等名 International Conference of Materials for Advanced Technologies 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. Yang, T. Shimada
2. 発表標題 Single Crystal growth and study of mechanical properties of organic semiconductors
3. 学会等名 10th International Conference of Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Yamane, T. Shimada
2. 発表標題 Pressure-induced reactions in polyacenes for new carbon materials
3. 学会等名 10th International Conference of Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yanase
2. 発表標題 Growth of MoS <sub>2</sub> Nanotubes by Chemical Vapor Deposition Using FeO Nanoparticles as Catalysts
3. 学会等名 Materials Research Society 2019 Spring symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shimada
2. 発表標題 Kinetic competition in MoS <sub>2</sub> nanotube growth by catalytic CVD using FeO nanoparticles
3. 学会等名 International Vacuum Congress 21 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shimada
2. 発表標題 Accurate and stable equal-pressure measurements of water vapor transmission rate of organic electronics packages reaching the 10 <sup>-6</sup> g m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> range
3. 学会等名 SSDM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yanase, S. Watanabe, M. Weng, T. Nagahama, T. Shimada
2. 発表標題 Chemical Vapor Deposition of NbS <sub>2</sub> from a Chloride Source
3. 学会等名 SSDM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yanase, T. Nagahama, T. Shimada
2. 発表標題 organic p-type/n-type/piezoelectric tricolor superlattice for photo-responsive actuator
3. 学会等名 SSDM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 島田敏宏・柳瀬隆	4. 発行年 2017年
2. 出版社 テクノプラザ	5. 総ページ数 15
3. 書名 セラミックデータブック2017	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究室  <a href="http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/kotai/index.html">www.eng.hokudai.ac.jp/labo/kotai/index.html</a>  <a href="http://www.schem-hokudai-ac.jp/index.html">www.schem-hokudai-ac.jp/index.html</a></p>
--

## 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	柳瀬 隆  (Yanase Takashi)  (00640765)	北海道大学・工学研究院・助教    (10101)	
研究分担者	川村 史朗  (Kawamura Fumio)  (80448092)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主任研究員    (82108)	
研究分担者	山口 誠  (Yamaguchi Makoto)  (90329863)	秋田大学・理工学研究科・准教授    (11401)	
連携研究者	谷口 尚  (Taniguchi Takashi)  (80354413)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・フェロー    (82108)	
連携研究者	長浜 太郎  (Nagahama Taro)  (20357651)	国立大学法人 北海道大学・大学院工学研究院・准教授    (10101)	