

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03039

研究課題名(和文) ナノ細孔内超高压効果による超高压有機合成反応の常圧化

研究課題名(英文) Ambient pressure-induction of high pressure organic synthesis with in-pore super high pressure effect

研究代表者

金子 克美 (Kaneko, Katsumi)

信州大学・先鋭領域融合研究群先鋭材料研究所・特別特任教授

研究者番号：20009608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：高压化学は反応加速及び特殊反応などで極めて重要であるが、オートクレーブを必要とし、エネルギー多消費である上に、安全性などに課題がある。このため高压下の物質変換を常圧下で可能とすることが望ましい。ナノスケールカーボン細孔空間は分子・カーボン壁間相互作用によって、分子系が細孔空間内に超高压で圧縮濃縮されたと同様な高密度層を形成する。この超高压圧縮効果を利用して、数万気圧の加圧が必要な超高压有機合成反応を常圧下で進行させることに成功した。カーボンナノ細孔中において結晶核を生成させ、その後準安定な結晶核をバルク反応溶液に移行させると、ナノ細孔容量に捉われずに目的有機結晶を大量に合成できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化学工業は基本的に全産業のエネルギーの半分近くを消費する。高压化学はよりスペースを必要とし、安全性に課題が残る。従って、数万から数十万気圧におよぶ高压化学・工学を常圧下で行えると、省エネルギー・省スペース・安全という大きなメリットが得られ、学術的ならびに人類への貢献が顕著である。本研究では、内部求引圧力が10万気圧相当の単層カーボンナノチューブ(SWCNT)のナノ空間を用いて、高压下で生成する目的有機化合物のタネ結晶を大気圧下で合成して、バルク反応相に移行して大量の目的有機化合物を合成する方法を開発した。本方法は医療品として必要な有機化合物合成にも応用可能であり、その意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：High pressure chemistry is essentially important in enhancement of the chemical reaction rate and induction of specific reactions. High pressure chemistry must use autoclaves, being energy-intensive and less safe. We should invent a new science enabling the effective induction of high pressure reactions under ambient conditions. Carbon nanopores such as internal spaces of single wall carbon nanotube(SWCNT) can highly compress molecules whose density corresponds to that under about 1 GPa. We succeeded to induce representative high pressure organic synthetic reactions under ambient conditions using SWCNTs. The transfer of nuclei formed inside nanopores to the bulk reaction media gives the abundant products. The obtained products are trans-cyclohexanediol and Cu phthalocyanine which are identified by synchrotron X-ray diffraction, infra-red spectroscopy, high resolution transmission microscopy and other methods.

研究分野：ナノ材料科学、吸着科学、物理化学

キーワード：ナノ空間 シアニン 単層カーボンナノチューブ 電子顕微鏡 高压有機合成化学 分子間相互作用 細孔内反応機構 フタロ

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、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

人類が地球上で平和に暮らすには、科学者が省資源・省エネルギー・安全の方向の新科学を推進する必要がある (D. Meadows 等、Limits to Growth, 3rd ed. MIT, 2004)。物質創製産業は基本的にエネルギーを多く消費する。なかでも相転移誘起あるいは反応の速度・収率・選択性向上のために数万気圧の高圧を印加しながらの高圧科学はより多くのエネルギーを消費している。そのうえに高圧化のためによりスペースを必要とし、安全性に課題が残る。

従って、**数万から数十万気圧におよぶ高圧化学・工学を常圧下で行えるようになる**と、省エネルギー・省スペース・安全という大きなメリットが得られる。

グラフェンは**重さ当たりの求引相互作用が一番大きなナノ細孔体**を形成できる。グラフェンを巻いてできる単層カーボンナノチューブ SWCNT は、その内側のナノ空間には著しく大きな求引相互作用が働く。例えばメタン分子と SWCNT との相互作用ポテンシャルプロファイルによれば、**内側のグラフェン壁に単分子層吸着するメタン分子は約 10 kJ/mol**(チューブ径 2.6nm)ものポテンシャルエネルギーを受ける。これは化学結合エネルギーの 10%程度であり、分散相互作用に起因する求引相互作用とはいえ、SWCNT の内部空間が極めて強い分子求引場であることを示す。この強力な**ナノ空間の求引力場がマクロな高圧圧縮効果**を生み出す。

研究代表者は 1991 年に活性炭素繊維のスリット型カーボンナノ空間が 200 気圧以上の圧縮効果を有し、反応加速を起こすことを見出した (*J. Phys. Chem.* (1991))。その後、その原理を用いて、橋本・藤嶋らは高圧還元反応として知られる CO₂ の電気化学的還元がカーボンスリット細孔中では常圧下で容易に起こることを示した (*J. Electrochem. Soc.* (2000))。最近になり KI 固体相転移を指標として、研究代表者はチューブ状カーボンナノ空間への閉じ込めは約 **2 万気圧の圧縮効果**があることを明らかにした (*J. Am. Chem. Soc.* (2011))。カーボンナノ細孔の高圧圧縮効果は、統計力学的な理論研究が開始され、ナノ細孔内の分子集団は超高压下の圧縮状態に近いことが示されつつある (K. E. Gubbins ら、*Phys. Chem. Chem. Phys.* (2011))。

研究代表者らは更に著しいナノ細孔場の超高压圧縮効果を明らかにした。文献 (R. Steudel, *Elemental Sulfur and Sulfur-Rich Compounds I* (2003), p.1-79.) によると 90 万気圧下で硫黄の 8 員環が壊れジグザグ状原子鎖からなる 2 次元層状構造体になり、金属的特性を示す。研究代表者らの研究によると 1 気圧以下の減圧条件下で S 原子を 2 層カーボンナノチューブ(DWCNT)に導入すると、硫黄原子がジグザグな鎖を作る。このナノチューブ直径は 0.68nm であり、0.60nm のチューブでは硫黄原子は完全に直線状原子鎖を形成する。1 次元原子鎖は結晶で **X 線回折を示し、金属**である。このことからナノチューブの内部空間のポテンシャル場は硫黄に対して **90 万気圧以上の圧縮環境**を提供している (T. Fujimori, K. Kaneko 等、*Nature Comm.* 2013)。このようにカーボン細孔空間が持つ加圧圧縮効果が一層明らかになってきた。

一方、**有機合成化学分野では反応促進・選択性向上などのメリットから超高压合成法が広く用いられている** (Organic Synthesis at High Pressures (K. Matsumoto, R. M. Acheson, 1990)、超高压有機合成 (松本・井畑編、1999))。本研究では**高圧下でオートクレーブを用いず、ナノ細孔の超高压効果による反応加速を用いて超高压有機合成の可能性を検討する**。試みが成功すれば、安全かつ省エネルギーな高圧化学が誕生し、社会に広く貢献できる。

2. 研究の目的

高圧化学は反応加速及び特殊反応などにおいて極めて重要であるが、高圧での安全性を考慮したオートクレーブを使用し、エネルギー多消費である上に、安全性と場所をとるなどの課題が

ある。このため高圧下の物質変換を常圧下で可能とすることが望ましい。カーボンナノ細孔の超高压圧縮効果を利用して、数万気圧の加圧が必要な超高压有機合成反応を常圧下で進行させる。カーボンナノ細孔中において結晶核を生成させその後、準安定な結晶核をバルク反応溶液に移行させて、常圧下において高压反応を進行させる。このようにして超高压装置・オートクレーブを用いない安全・省エネルギーのナノ高压化学を創成する。ここで強調しておかなければいけないことがある。本研究で対象とする細孔内超高压効果は、ゼオライトなどのナノ空間中の化学活性点での著しい触媒作用とは異なり、分子・壁間分散相互作用に由来する高压圧縮効果—物理的触媒効果とも呼ぶべき新たな触媒作用である。不活性なグラフェン壁に囲まれたカーボンナノ空間にも関わらず、その特徴的な超高压圧縮効果を利用して、化学反応を促進する新たな触媒作用を明確化して、それを有機化合物合成に応用する。この細孔内超高压効果は将来的には付加価値の高い医薬品合成などを手軽に行う手法として応用されることが望まれる。

3. 研究の方法

1で述べたように、カーボンナノ細孔場に由来する超高压効果は研究代表者の発見によるものであるために、SWCNTをはじめとして、多くのナノ細孔性カーボンを必要に応じて活用することができる。また、反応の誘起はいわば反応分子のSWCNTのナノ空間中への吸着であるために、基本的な研究方法は、カーボンの材料科学的方法と吸着科学の手法を駆使することとなる。つまり、反応部分についても、反応分子の細孔内への吸着、生成核の細孔内からの脱着過程の制御からなっており、有機合成化学者でない研究代表者らでも研究が可能である。

4. 研究成果

反応物質が十分にSWCNTのナノ空間に入り、活性化体積が負になると予想される高压反応として、銅フタロシアニン合成と *trans*-cyclohexanediol から 1,2-epoxycyclohexane への高压反応を検討した。

4.1 高压 Cu-フタロシアニン合成の常圧化

銅フタロシアニン(CuPC)の1万気圧の加圧が必要な高压反応 (S.Edmondson, 等 *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1990)を、オートクレーブを用いずにガラス反応器によって、反応液にSWCNTを添加して反応を行った。図4.1は見やすいようにSWCNTの代わりに粒状活性炭を用いた場合の反応の進行の様子である。反応溶液が黄色から青へと変わり、ろ過洗浄すると(d)に見るように青い粉末固体が得られた。これについて光吸収スペクトル、X線回折で検討すると目的とす

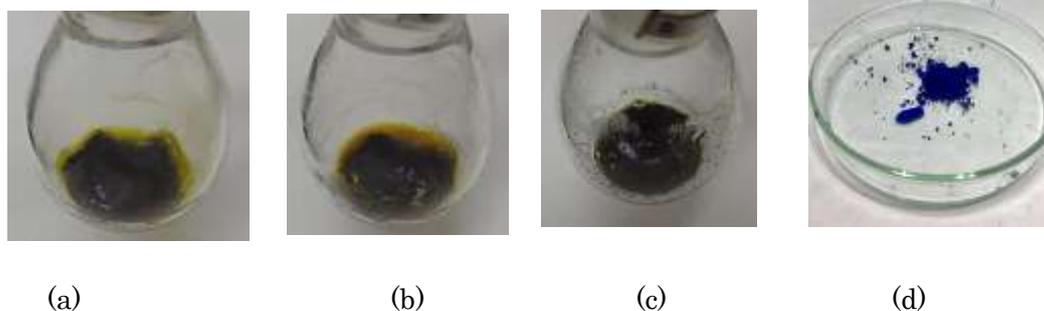
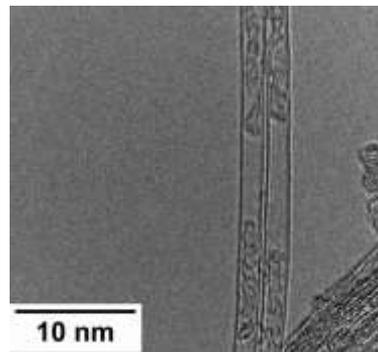


図 4.1 活性炭(黒)-CuPc.合成反応 (a)室温混合後で溶液は黄色、(b)373 K まで加熱すると赤褐色、(c)373 K 還流 18 時間後には青、(d)生成物

る Cu-Pc が収率 30%以上で得られていることが分かった。透過電子顕微鏡写真によると SWCNT の内部に Cu-Pc 結晶核が生成していることが確認できた(図 4.2)。

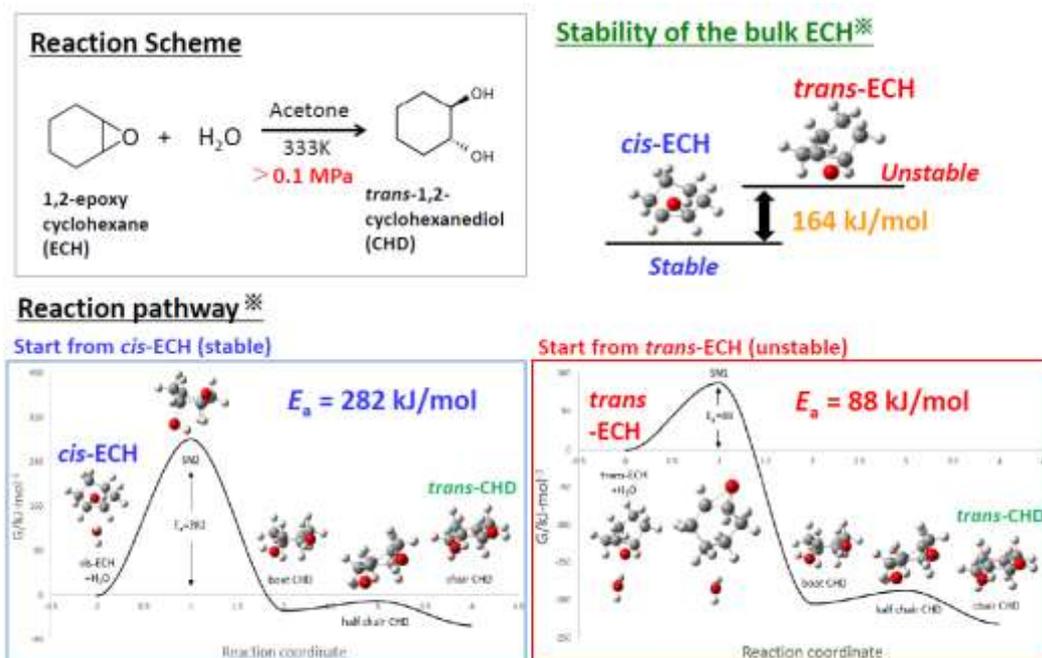


4.2. 高圧反応 *trans*-cyclohexanediol —1,2-epoxycyclohexane の常圧化

液体の *trans*-cyclohexanediol (ECH) が白色固体 1,2-epoxycyclohexane(CHD) に変わる反応(図 4.2)

図 4.2. SWCNT 内の CuPc の透過電子顕微鏡写真

も 1 万気圧下で起こる(Y. Kotsuki 等, High pressure-promoted uncatalyzed hydrolysis of epoxides. *Tetrahedron Lett.* **34**, 4031-4034 (1993))。この反応についてもガラス反応器を用いて白色結晶の生成を確認した。その物質が CHD であることは赤外吸収スペクトルおよび X 線回折によって確認した。生成物が白色なので赤外分光法を用いて、詳細にナノ細孔中での反応機構を検討した。赤外スペクトルによると、SWCNT のナノ空間を利用すると CHD が常圧でも容易に多量に得られることを確認した。この反応機構について、K. E. Gubbins らの計算によると図 4.3 に示すように反応分子 ECH はシス型が安定であるが、CHD への反応の場合にはその活性化エネルギーがトランス ECH のほうが圧倒的に小さい。そこで SWCNT バンドルに吸着した ECH の異性体構造を調べた。図 4.4 は SWCNT での ECH による充填率とトランスおよびシス ECH の赤外吸収スペクトルの吸光度との関係である。充填率が低いとトランス型が圧倒的に多く、充填率が 1 に近づくとシス ECH が増える。このことから、充填率が低



※Calculated with Gaussian by K. E. Gubbins et al.

図 4.3. シスおよび ECH の安定性の違いと CHD への変換時の活性化エネルギー

いところでは求引相互作用が強い SWCNT のナノ空間内にトランス型として ECH が吸着される。チューブ内がほぼ充填してくるとバンドルの外側にシス型のまま吸着していることが分かる。反応時の反応物と生成物の時間変化を赤外吸収スペクトルから見たものが、図 4.5 である。これによるとトランス ECH が時間と共に減少し、生成物のトランス CHD のピークが増加してくる。これらのことから、ECH 分子は SWCNT ナノ細孔中で、反

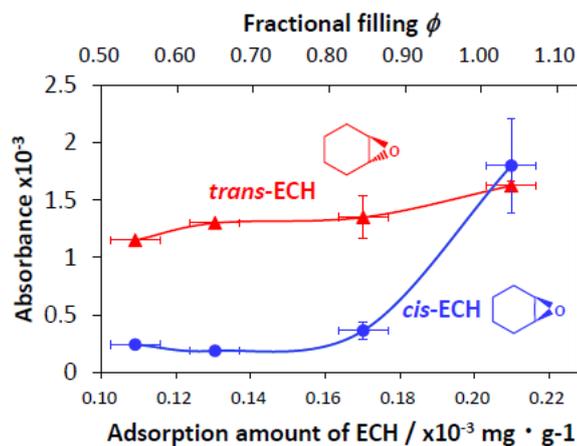


図 4.4 SWCNT に吸着した ECH 分子の吸着量に伴うシスとトランス ECH の割合

応しやすい異性体構造に変わっていることが分かる。そこで外から高圧印加しない状態でも、ナノスケール細孔空間中ではあたかも高圧が印加されているような高密度化が起こるために高圧反応が進行して、CHD になることが明確になった。現在細孔内でのトランス ECH の生成について理論的に検討を進めている。

これらの研究について学会発表はしているが、論文発表はまだ行っていない。今後成果を注意深くまとめて、しかるべき国際トップ学術誌に投稿・発表を予定している。カーボンのナノ細孔の強い求引分子場独特の物質集積機能あるいは分子篩機構、分子の局所濃縮機能なども関連研究として見いだされている。イオン液体分子の異常配列は、*Nature Materials*, 16, 1163 (2017)

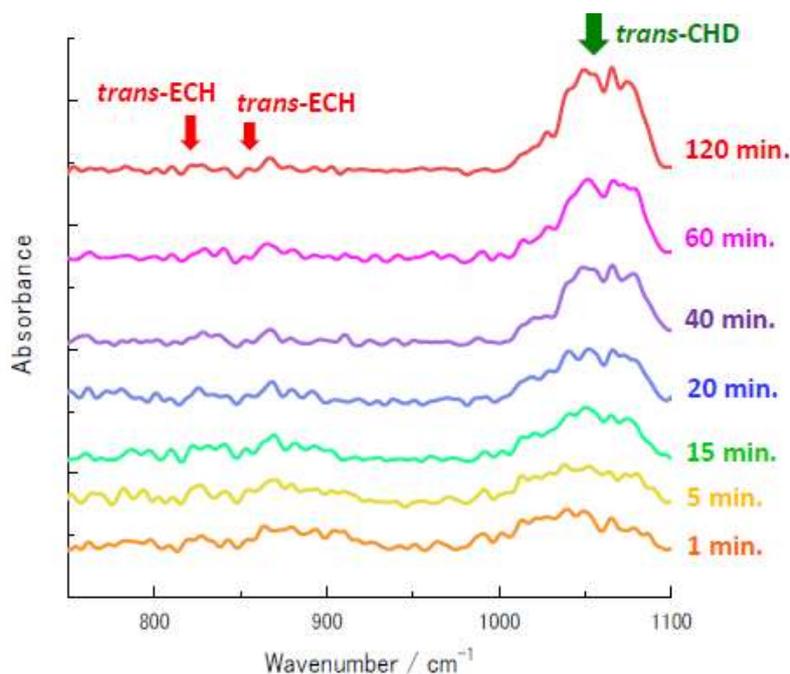


図 4.5 SWCNT に吸着した ECH から CHD への反応に伴う赤外吸収スペクトル変化

に、グラフェンの局所欠陥部位の超分子篩能については *Nature Comm.* 9, 1812 (2018) で発表済みである。¹⁶O₂ を ¹⁶O₂ から超高選択的に吸着する機能については *Nature Comm* で審査中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Y. Ono, R. Futamura, Y. Hattori, S. Utsumi, T. Sakai, K. Kaneko	4. 巻 119
2. 論文標題 Isotope effect on water adsorption on hydrophobic carbons of different nanoporosity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Carbpm	6. 最初と最後の頁 251-256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.04.047	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 E.-Z. Pina-Salazar, K.Urita, T. Hayashi, R. Futamura, F. Vallejos-Burgos, J. Wloch, P. Kowalczyk, M. Wisniewski, T. Sakai, I. Moriguchi, A. Terzyk, E. Osawa, K. Kaneko	4. 巻 33
2. 論文標題 Water adsorption property of hierarchically nanoporous detonation nanodiamonds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 11180-11188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021acs.langmuir.7b02046	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 S. Wang, Z. Wang, R. Futamura, M. Endo, K. Kaneko	4. 巻 673
2. 論文標題 Nanoporous-graphene aerogel monolith of unidirectional honeycomb macro-textures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 38-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.cpllett.2017.02.007	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. Ono, R. Futamura, Y. Hattori, T. Sakai, K. Kaneko	4. 巻 508
2. 論文標題 Adsorption-desorption mediated separation of low concentrated D2O from water with hydrophobic activated carbon fiber	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Colloid Interface Sci.	6. 最初と最後の頁 14-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.08.016	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 R.Futamura, T. Iiyama, Y.Takasaki, Y. Gogotsi, M. J. Biggs, M. Salanne, J. Segalini, P. Simon, K. Kaneko	4. 巻 16
2. 論文標題 Partial breaking of the Coulombic ordering of ionic liquids confined in carbon nanopores	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Mater.	6. 最初と最後の頁 1225-1232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 1038/NMAT4974 12/04/2017	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 F. Vallejos-Burgos, F.-X.Coudert, K. Kaneko	4. 巻 9
2. 論文標題 Air separation with graphene mediated nanowindow-rim conerted motion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Comm	6. 最初と最後の頁 1812-1821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-04224-6 www.nature.com/naturecommunications	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 N. Chotimah, A. D. Putri, Y. Ono, K. Sagisaka, Y. Hattori, S. Wang, R. Futamura, K. Urita, F. Vallejos-Burgos, I. Moriguchi, M. Morimoto, R.T. Cimino, A. V. Neimark, T. Sakai, K. Kaneko	4. 巻 33
2. 論文標題 Nanoporosity Change on Elastic Relaxation of Partially Folded Graphene Monoliths	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 14565-14570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.7b03328	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 A.D. Putri, N. Chotimah, S. K. Ujjain, S. Wang, R. Futamura, F. Vallejos-Burgos, F. Khoerunnisa, M. Morimoto, S. Wang, Y. Hattori, T. Sakai, K. Kaneko	4. 巻 139
2. 論文標題 Charge-transfer mediated nanopore-controlled pyrene-derivatives/graphene colloids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 512-521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.07.001	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 E.Z.Pina-Salazar, R. Kukobat, R. Futamura, T. Hayashi, S. Toshio, E. Osawa, K. Kaneko	4. 巻 139
2. 論文標題 Water-selective adsorption sites on detonation nanodiamonds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 853-860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.carbon.2018.07.036	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 N. Tanigaki, K. Murata, T. Hayashi, K. Kaneko	4. 巻 529
2. 論文標題 Mild oxidation-production of subnanometer-sized nanowindows of single wall carbon nanohorn	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Colloid Interface Science	6. 最初と最後の頁 32-336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.jcis.2018.06.023	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 N. Tanigaki, K. Murata, R. Kukobat, R. Futamura, T. Hayashi, Katsumi Kaneko	4. 巻 25
2. 論文標題 Electric field assisted ion adsorption with nanoporous SWCNT electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adsorption	6. 最初と最後の頁 1035-1041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10450-018-9996-4	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 R. Kukobat, Y. Kamijyou, D. Stevic, T. Hayashi, T. Sakai, K. Kaneko	4. 巻 152
2. 論文標題 Thermally stable near UV-light transparent and conducting SWCNT/glass flexible films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 7-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.04.053	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 E.-Z. Pina-Salazar, T. Sakai, E. Osawa, R. Futamura, K. Kaneko	4. 巻 549
2. 論文標題 Unusual hygroscopic nature of nanodiamonds in comparison with well-known porous materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Colloid Interface Sci.	6. 最初と最後の頁 133-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.04.053	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 P. Ahuja, S. Akiyama, S. K. Ujjain, R. Kukobat, F. Vallejos-Burgos, R. Futamura, T. Hayashi, M. Kimura, D. Tomanek, K. Kaneko	4. 巻 7
2. 論文標題 Water-resilient carbon nanotube based strain sensor for monitoring structural integrity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater Chem. A	6. 最初と最後の頁 19996-20005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ta06810d	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 P. Ahuja, S. K. Ujjain, K. Urita, A. Furuse, K. Kaneko	4. 巻 388
2. 論文標題 17. Chemically and mechanically robust SWCNT based strain sensor with monotonous piezo resistive response for infrastructure monitoring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Eng. J.	6. 最初と最後の頁 124174(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124174	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 A. Furuse, R. Futamura, K. Kaneko
2. 発表標題 Ambient pressure synthesis of cyclohexanediol high pressure organic reaction through in-pore superhigh pressure effect of SWCNTs
3. 学会等名 Okinawa colloid 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Furuse, R. Futamura, K. Kaneko
2. 発表標題 Ambient pressure-induction of cyclohexanediol high pressure organic reaction with in-pore superhigh pressure effect
3. 学会等名 Japan Adsorption 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古瀬あゆみ, 二村竜祐, 金子克美
2. 発表標題 カーボンナノ細孔内での超高压効果を利用した1,2-シクロヘキサンジオールの常圧合成
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 FURUSE Ayumi, FUTAMURA Ryusuke, KANEKO Katsumi
2. 発表標題 Ambient pressure induction mechanism of cyclohexanediol high pressure synthesis inside single wall carbon nanotube pores
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kaneko
2. 発表標題 INTERFACE SCIENCE OF CARBON MATERIALS
3. 学会等名 Energy Materials Nanotechnology Meeting on Mesoporous Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Kaneko
2. 発表標題 NANOCONFINEMENT MEDIATED MATERIALS/ADSORPTION ENGINEERING
3. 学会等名 International Workshop “Characterizationn of Porous Materials from Angstromes to Milimeters (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Chotimah, T. Sakai, K.Kaneko
2. 発表標題 Porous SWCNT/Graphene Films
3. 学会等名 吸着学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K.Kaneko
2. 発表標題 Interfacial Science and Engineering of Highly Surfaceous Carbons
3. 学会等名 7th International Symposium on Energy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kaneko
2. 発表標題 Nanoscale Environment-Interactive Carbon Engineering
3. 学会等名 Carbon2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子克美
2. 発表標題 企画の趣旨及び最新の吸着科学と可能性
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 K. Kaneko, F. Rodriguez-Reinoso	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nature Springer	5. 総ページ数 403
3. 書名 Nanoporous Materials for Gas Storage	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Katsumi Kanreko Research Group http://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/kaneko-group/ Superinterface-Nanospace Science and Technology http://goo.gl/tcpTuy</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	服部 義之 (Hattori Yoshiyuki) (20456495)	信州大学・学術研究院繊維学系・教授 (13601)	