

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01737

研究課題名(和文) 超不活性空間での不安定化学種のボトムアップ構築による構造・物性の定常化と応用

研究課題名(英文) A strategy toward isolation of ultra-unstable chemical species: Step-by-step insertion of atoms/molecules into fullerene inside

研究代表者

上野 裕 (Ueno, Hiroshi)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：00775752

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)：不活性空間として知られるフラレン内部への段階的に原子・分子挿入法により、不安定な分子や原子集合体をフラレン内部空間においてボトムアップ的に構築・単離する手法を確立した。本手法により、例えば『真空中でのみ存在可能な不安定構造』のように、限られた環境でのみ研究対象とされてきた化学種の構造・物性を定常化し、安定なバルク材料としてその物性を探索・利用することが可能となる。実際に、気相の科学で研究対象とされてきたLi⁺-H₂OクラスターのC₆₀内部におけるその場構築を実現し、固体や溶液に対する測定によって当該化学種の詳細な構造・物性へのアプローチすることや、物性応用が可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

安定化が困難な不安定分子は、気相実験や極低温下をはじめとする特殊な条件における実験の対象となっている。これらの実験によって得られる基礎的な知見は、反応デザイン、材料設計指針を与えうる点で重要であるが、直接物性応用へと繋げることは、安定性・単離の観点から極めて困難とされている。このような不安定分子を安定化する手法の開発(=不安定な構造を如何に安定化するかという化学全般にわたる大課題に対する回答)は、未知の構造・物性相関を発見・理解・応用する上で重要な意義を持つ。

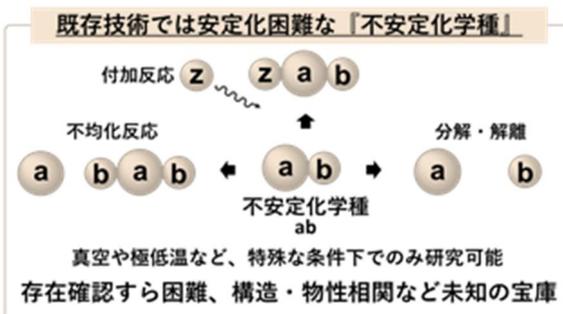
研究成果の概要(英文)：We have established a method to construct unstable molecules/clusters at the inner space of fullerene, known as a highly inert environment. With this approach, now we can stabilize and therefore isolate various unstable chemical species that have been previously studied only in specific environments, in vacuum. By stabilizing the structure and physicochemical properties of these species, it becomes possible to explore and utilize their properties as stable bulk materials. For example, we successfully achieved on-site construction of Li⁺-H₂O clusters inside C₆₀, which have been traditionally studied in gas phase science. Through measurements in solid and solution phases, we demonstrated the detailed characterization of the structure and properties of these chemical species and their potential for practical applications.

研究分野：物理有機化学, ナノ材料科学, ナノ構造化学

キーワード：内包フラレン 不安定化学種 分子手術 プラズマ フラレン ナノ炭素

1. 研究開始当初の背景

分子が定常的に存在するには、それぞれの物質固有の安定性を揺るがす“刺激”がない環境に置かれている必要がある。極めて安定性の低い分子・構造体は、大気下室温どころか、それ以上に温和な条件でも容易に反応・分解し、そのため、物性や物性の起源となる構造情報などの基礎的な性質を解明することすら困難である。『不安定な構造を如何に安定化するか』。この問いは化学全般にわたる一つの大課題であり、この問題に対するいくつかの答えを導き出した過去の研究成果により、現在の化学に欠かすことができない技術が生み出されてきた。例えば立体保護基・嵩高い配位子の開発は、様々な不安定構造に由来する特異な反応性や物性の応用へと導き、近年の反応デザイン・材料開発の根底を支えている。しかしながら、不安定性ゆえに依然として合成・物性探索が困難な物質の種類は膨大であり、その構造に由来する特異な物性や反応性、およびそれらの起源となる構成原子間の相互作用の詳細が、未知のまま取り残されている。このような化学種を安定に単離し、構造・物性の相関を明らかにすることができれば、様々な機能を有する物質合成・設計の鍵となる重要な知見を得ることができる。



2. 研究の目的

本研究は、フラレン内部空間への段階的な原子・分子の挿入により、当該空間において不活性化学種をボトムアップ的に構築する手法を確立することを大目標とし、目標の達成により、『不安定な化合物を如何に安定化するか』という大課題に対する一つの答えを見出す。フラレンは、特異な球状構造ゆえに内部に直径約 0.4~0.7 nm 程度の真空の空間を有し、剛直な sp² 炭素骨格によって外界から隔離されたこの空間は、原子状窒素すらも安定に存在可能な『隔離された超不活性空間』として知られている (Murphy, T. A. et al., Phys. Rev. Lett. 1996, 77, 1075, 図 1)。この空間に目的の原子や分子を自在に挿入し、不安定な分子やクラスターを構築・安定構造として単離することができれば、様々な新奇・不安定化学種の構造・物性相関に迫り、その物性を応用へと繋げる革新的な研究を推進することに繋がる。



図 1. 本研究のコンセプト; 不活性なフラレン内部空間を活用した不安定化学種の構造・物性の定常化

3. 研究の方法

本研究は、研究分担者(村田)らが発展させてきた分子手術法(有機合成による内包フラレン合成法, Komatsu, K. et al., Science 2005, 307, 238.), および申請者が研究対象とするプラズマインプラントーション法(イオンの打ち込みによる内包フラレン合成法, Aoyagi, S. et al., Nature Chem. 2010, 2, 678.)の二手法を段階的に併用したフラレン内部空間へのアプローチに基づく(図 2)。これらの合成法は、大量合成が困難とされてきた内包フラレンを高収率で合成することを可能とした革新的な手法であり、内包させることが可能な化学種が異なるという特徴を持つ。分子手術法は、H₂O や CH₄ などの安定な小分子を内包することに優れるが、金属や不安定化合物の内包は達成されていない。一方で、プラズマインプラントーション法を用いた場合には、金属をはじめとした単原子を挿入することが原理上可能であるが、多数の原子や、複数原子からなる分子を導入することは困難であった。これらの手法を段階的に併用したフラレン内部へのイオンや原子、分子の自在挿入により、不活性空間内での不安定化学種その場構築・単離を実現する。

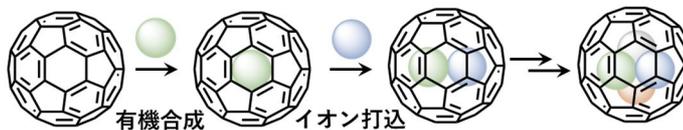


図 2. フラレン内部への段階的原子・分子・イオン挿入による不安定化学種の不活性空間内その場構築

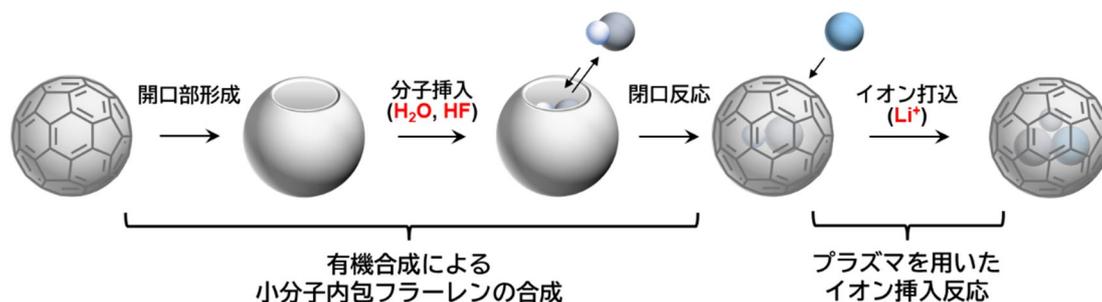
具体的には、研究開始当初に標的化合物として設定した Li⁺-H₂O@C₆₀ (単水和リチウムイオン内包フラレン)、Li⁺-He@C₆₀ (一般的には結合しないイオンと原子の異常近接配置モデル分子)の2つの新規分子に加え、研究期間内に新たに標的として設定した Li⁺-HF@C₆₀ の合成を達成すべく、上記手法に基づくフラレン内部空間での標的化合物のその場構築を試みた。単離を達成した新規分子に対し、X線構造解析、各種分光分析による精密構造解析、および基礎物性評価を実施し、理論計算によるアプローチを加味して考察した。

4. 研究成果

(1) $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ および $\text{Li}^+\text{-HF}$ を内包したフラレーンの合成

スキーム 1 に従って標的化合物の合成を実施した。有機合成による小分子の内包は既存手法を参考に反応条件を最適化した。本研究では、小分子内包フラレーンに対するイオン挿入反応を実施する必要があり、標的化合物の単離および物性評価のためには、数 100 mg スケールでの小分子内包フラレーン合成が必要となることから、市販試薬による高効率な小分子挿入法を検討した。特に閉口反応プロセスに用いるホスフィンのスクリーニング、および全溶液プロセス化により、数百 mg オーダーでの合成が可能なプロセスを確立した。本成果については現在も追加条件検討中であり、実験が完了次第、成果を発信する。なお、研究開始当初、標的化合物として設定した $\text{Li}^+\text{-He@C}_{60}$ の合成については、He 挿入のための実験設備不調のため、十分量の試料合成が困難となったため、上述の通り、 $\text{Li}^+\text{-HF@C}_{60}$ を新たな標的とした。

有機合成プロセスにより合成した $\text{H}_2\text{O@C}_{60}$ および HF@C_{60} に対し、プラズマを用いたイオン照射（プラズマインプランテーション法）により、 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ および $\text{Li}^+\text{-HF}$ のフラレーン内部におけるその場構築を試みた。本プロセスにおけるリチウムイオンの挿入効率はフラレーン内部の分子の有無にはほとんど依存せず、空（カラ）の C_{60} (= emp. C_{60}) へのリチウムイオン挿入と同様の条件により、 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ および $\text{Li}^+\text{-HF@C}_{60}$ の合成を達成した。イオン交換カラムクロマトグラフィーおよび電解質添加 HPLC により標的化合物を精製し、それぞれ $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ TFSI⁻, $\text{Li}^+\text{-HF@C}_{60}$ TFSI⁻（イオンペア型の内包フラレーン；内包化学種はカチオン，電荷を補償するカウンターアニオン TFSI⁻ がフラレーンケージ外部に存在）として単離した。



スキーム 1. 有機合成による小分子挿入とプラズマを用いたイオン挿入の段階的併用によるフラレーン内部空間における不安定化学種のその場構築

(2) $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ TFSI⁻ および $\text{Li}^+\text{-HF@C}_{60}$ TFSI⁻ の構造解析

得られた 2 種類の新規分子に対し、¹H, ⁷Li, ¹⁹F NMR スペクトルおよび質量分析により構造を同定した。 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ は、各スピン 3/2 の ⁷Li と H₂O 分子の 2 つのプロトンとのカップリングにより、¹H NMR スペクトルではカルテット、⁷Li NMR ではトリプレットの特徴的なシグナルが観測された。 $\text{Li}^+\text{-HF}$ は 3 種類の異なる核種の相互カップリングにより、¹H NMR および ¹⁹F NMR ではダブルカルテット、⁷Li NMR ではダブルダブレットのシグナルが観測された。これらのシグナルは、極めて高磁場に観測されており、C₆₀ 内部の高度に遮蔽された環境に存在する（内包されている）ことが確認された。高分解能質量分析（positive mode HR-LDI-TOF-MS）では、それぞれの分子イオンに帰属されるシグナルを観測した。 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ TFSI⁻ については良質な単結晶が得られ、X 線構造解析により構造を決定した（図 3 a）。C₆₀ 内部に Li⁺ および水分子を構成する酸素原子が明確に観測され、標的構造が内包されていることが確認された。X 線構造解析により決定した構造は理論計算により最適化した構造とよく一致した（図 3 b）。

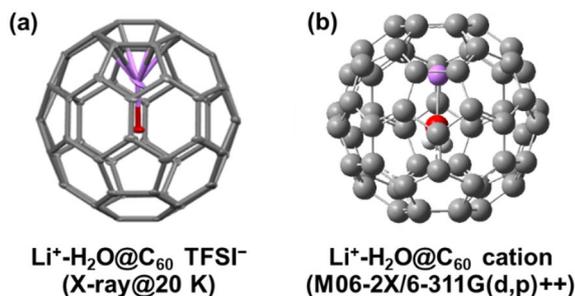


図 3 . (a) X 線構造解析による $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ TFSI⁻ の構造決定。測定温度は 20 K, TFSI⁻ および溶媒分子は省略。(b) 理論計算によって最適化された $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ cation の構造。

(3) $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O@C}_{60}$ TFSI⁻ の赤外スペクトル測定

フラレーンに内包された化学種は、フラレーン内部での運動による赤外スペクトルの広幅化のため、振動スペクトル観測には低温での測定が求められる。 $\text{H}_2\text{O@C}_{60}$ の赤外スペクトルは 100 K 以下においてシグナルが観測されており、とりわけ、固体試料であるにもかかわらず、振動回転スペクトルが観測されたことで注目を集めた。本研究で単離した化学種 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ は、単水和アルカリ金属イオンの最単純モデルである $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ は、気相科学および理論化学において広く研究対象とされてきた背景があるが、固体試料に対する分光分析は初の測定となる。気相での測定とは異なり、固体試料に対する測定では、温度および測定までの冷却時間を厳密に規定することができるほか、X 線構造解析により決定した構造情報とともに議論することができるため、構造・物性相関に関し、より詳細な議論が可能である。

本研究で測定した $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}@C_{60}$ TFSI⁻の温度可変赤外スペクトル(波数領域一部抜粋)を図4に示した。 C_{60} ケージおよびカウンターアニオンに由来するシグナルが全温度領域で確認された。測定温度の低下に伴い、内包化学種($\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$)に由来すると考えられるシグナル(特に 3500 cm^{-1} 付近の OH 伸縮振動および 3550 cm^{-1} 付近の逆対称伸縮振動)が出現し、 100 K 以下での測定においては明確に観測された。気相中で測定された $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}$ のスペクトルや、固体 $\text{H}_2\text{O}@C_{60}$ のスペクトルとは異なり、振動回転スペクトルは観測されなかったが。また、OH 対称伸縮振動および逆対称伸縮振動に帰属される2つのシグナルに加え、高波数側(3600 cm^{-1} 付近)にも温度低下に伴って現れる複数のシグナルが観測された。これらの結果に加え、試料を低温環境で保持した場合にもスペクトルに変化が見られている。これらの詳細解析のためには、より分解能の高い測定を実施する必要があり、今後の測定、および理論計算を加味した検討によって、詳細へアプローチする。

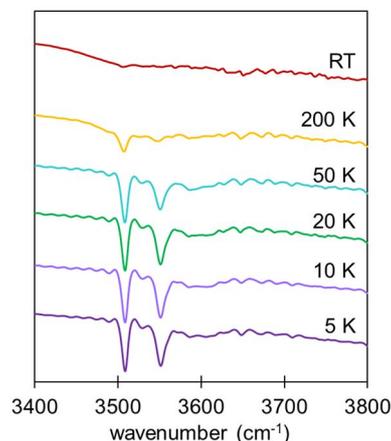


図4. $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}@C_{60}$ TFSI⁻のVT-IR スペクトル.

(4)より広い超不活性空間を有するフラーレン C_{70} の活用

有機合成によるフラーレンへの小分子挿入技術は、 C_{60} に留まらず、より広い内部空間を有する C_{70} についても広く研究が推進されている。一方、プラズマを活用したイオン挿入については C_{60} を対象とした実験に留まっている。 C_{70} への高効率イオン挿入を達成することで、 C_{60} には空間的制限により内包が困難なサイズの不安定化学種も標的として設定できる可能性から、当初の計画範囲を超えるが一部実験を行い、 C_{70} へのイオン挿入を達成した。この成果は学会での発表、および原著論文を発表済みであり、今後、 C_{70} 内部空間を活用し、新たな不安定化学種のその場構築についても検討する。

以上、本研究により、『 C_{60} 内部空間における不安定化学種のその場構築』を実現し、標的化合物 $\text{Li}^+\text{-H}_2\text{O}@C_{60}$ 、および新たに設定した標的化合物($\text{Li}^+\text{-HF}@C_{60}$)の合成により、フラーレン内部の超不活性空間の活用により、不安定化学種の構造・物性の定常化が可能であることを実証した。本成果により、気相中でのみ取り扱いが可能とされてきた化学種ですら、安定な材料として利用可能となったことで、『気相物質科学』と『バルク材料』を繋ぐ新たなアプローチを提供した。得られた化合物の構造・物性相関探索においては想定外の結果が多く、成果発信がやや遅れている一方、既存の化学では材料として取り扱うことができなかつた不安定化学種に潜む未知の理解へ向け、様々な学際的・国際的共同研究を開始している。今後、速やかに成果を発信していく。

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 2件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名 Ueno Hiroshi, Kitabatake Daiki, Mabuchi Takuya, Aoyagi Shinobu, Itoh Takashi, Deng Ting, Misaizu Fuminori | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 Synthesis and Characterization of Ionic Li ⁺ @C ₇₀ Endohedral Fullerene | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal | 6. 最初と最後の頁 e202303908 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/chem.202303908 | 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 Ueno Hiroshi, Yamazaki Yu, Okada Hiroshi, Misaizu Fuminori, Kokubo Ken, Sakurai Hidehiro | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Enhanced reactivity of Li ⁺ @C ₆₀ toward thermal [2 + 2] cycloaddition by encapsulated Li ⁺ Lewis acid | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Beilstein Journal of Organic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 653 ~ 660 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3762/bjoc.20.58 | 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 Zhao Wenmiao, Shi Xiaoyuan, Liu Bo, Ueno Hiroshi, Deng Ting, Zheng Weitao | 4. 巻 89 |
| 2. 論文標題 The design and engineering strategies of metal tellurides for advanced metal-ion batteries | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Energy Chemistry | 6. 最初と最後の頁 579 ~ 598 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jechem.2023.09.044 | 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 上野 裕 | 4. 巻 76 |
| 2. 論文標題 特異な包接分子『内包フラーレン』の科学 新しい内包フラーレンファミリー：イオン内包フラーレン | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 化学と工業 | 6. 最初と最後の頁 238 ~ 239 |
| 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 Ueno Hiroshi, Kitabatake Daiki, Lin Hao-Sheng, Ma Yue, Jeon II, Izawa Seiichiro, Hiramoto Masahiro, Misaizu Fuminori, Maruyama Shigeo, Matsuo Yutaka | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Synthesis of neutral Li-endohedral PCBM: an n-dopant for fullerene derivatives | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Communications | 6. 最初と最後の頁 10190 ~ 10193 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC03678A | 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 Miwa Kazuhira, Aoyagi Shinobu, Sasamori Takahiro, Morisako Shogo, Ueno Hiroshi, Matsuo Yutaka, Yorimitsu Hideki | 4. 巻 27 |
| 2. 論文標題 Facile Multiple Alkylations of C60 Fullerene | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Molecules | 6. 最初と最後の頁 450 ~ 450 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27020450 | 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17件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno, Hiroshi Okada, Kaoru Hiramoto, Takuya Mabuchi, Koichi Utsugi, Eunsang Kwon, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Synthesis and Structure Analysis of Ionic Na@C60 Endohedral Fullerene |
| 3. 学会等名 The 66th Fullerene-Nanotube-Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno, Daiki Kitabatake, Koichi Utsugi, Takuya Mabuchi, Shinobu Aoyagi, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Synthesis of Ion-Endohedral Fullerenes by Plasma Implantation |
| 3. 学会等名 243rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno |
| 2. 発表標題 Chemistry of Ionic Endofullerenes |
| 3. 学会等名 International Cross-disciplinary Symposium (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Rikizo Hatakeyama, Hiroshi Ueno, Eunsang Kwon, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 On-Insulator Growth of Nanocarbons Ranging from 1D to 3D Morphology through Catalyst- and Seed-Free Plasma Chemical Vapor Deposition |
| 3. 学会等名 7 th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 那須川錦, 笠間泰彦, 河地和彦, 佐藤徹雄, 武田光博, 松原正樹, 柳生穂高, 上野裕, 権根相, 吉田慎一郎 |
| 2. 発表標題 プラズマシャワー後のクルード中に含まれる Li イオン内包フラーレンの抽出効率の向上 |
| 3. 学会等名 第50回炭素材料学会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Daiki Kitabatake, Hiroshi Ueno, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Monomer-Dimer Equilibrium of Li-Endohedral [70]Fullerene Studied by Variable Temperature ESR Spectroscopy |
| 3. 学会等名 The 63rd Fullerene-Nanotube-Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Koichi Utsugi, Hiroshi Ueno, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Synthesis of Sodium-Ion-Endohedral [60]Fullerene Na@C60 by Plasma Implantation |
| 3. 学会等名 The 63rd Fullerene-Nanotube-Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Rikizo Hatakeyama, Hiroshi Ueno, Eunsang Kwon, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Plasma-CVD Enabling Seeded Growth of Nanocarbons from a Single Carbon-Nanoring |
| 3. 学会等名 75th Annual The Gaseous Electronics Conference / The 11th International Conference on Reactive Plasmas |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Rikizo Hatakeyama, Hiroshi Ueno, Eunsang Kwon, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Proof-of-Principle Plasma Processing on the Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes Originating from a Single Carbon-Nanoring |
| 3. 学会等名 6th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山田 洋一, 北畠 大樹, 延山 知弘, 大橋 左和, 清水 好葉, 佐々木 正洋, 河地 和彦, 笠間 泰彦, 美齊津 文, 上野 裕 |
| 2. 発表標題 Li@C70の超原子分子軌道 (SAMO)計測 - 基板依存性 - |
| 3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 上野 裕 |
| 2. 発表標題 不安定化学種の新科学 |
| 3. 学会等名 FRIS/TI-FRIS Hub Meeting |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno, Kazuhiko Kawachi, Daiki Kitabatake, Keijiro Ohshimo, Hiroshi Okada, Eunsang Kwon, Shinobu Aoyagi, Yasuhiko Kasama, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Li ⁺ -Encapsulated C70 (Li ⁺ @C70): A New Ionic Endohedral Fullerene |
| 3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno |
| 2. 発表標題 Chemistry of Ionic Endohedral Fullerenes |
| 3. 学会等名 Fall Meeting of Polymer Society of Korea (Molecular Electronics Division) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hiroshi Ueno, Daiki Kitabatake, Hao-Sheng Lin, Yue Ma, Il Jeon, Fuminori Misaizu, Shigeo Maruyama, Yutaka Matsuo |
| 2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Li-Encapsulated PCBM (Li@PCBM): the First Li@C60 Derivative |
| 3. 学会等名 61st Fullerenes, Nanotubes, and Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 清水好葉, 佐々木正洋, 北畠大樹, 河地和彦, 笠間泰彦, 美齊津文典, 上野裕, 山田洋一 |
| 2. 発表標題 Direct Observation of Superatom Molecular Orbitals (SAMOs) of Li@C70 (2) |
| 3. 学会等名 第69回応用物理学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Daiki Kitabatake, Hiroshi Ueno, Fuminori Misaizu |
| 2. 発表標題 Isolation of C70-Based Endohedral Fulleride Li@C70 |
| 3. 学会等名 62nd Fullerenes, Nanotubes, and Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kazuhira Miwa, Shinobu Aoyagi, Takahiro Sasamori, Shogo Morisako, Hiroshi Ueno, Yutaka Matsuo, Hideki Yorimitsu |
| 2. 発表標題 Facile synthesis of icosapropyl [60]fullerene |
| 3. 学会等名 62nd Fullerenes, Nanotubes, and Graphene General Symposium |
| 4. 発表年 2022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 | 村田 靖次郎 (Murata Yasujiro) (40314273) | 京都大学・化学研究所・教授 (14301) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 | 青柳 忍 (Aoyagi Shinobu) (40360838) | 名古屋市立大学・大学院理学研究科・教授 (23903) | |

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 |
|---------|---------|
| | |