

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 9 月 9 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03575

研究課題名(和文)高温ガスプルームの冷却過程で合成されるアミノ酸・有機分子の研究

研究課題名(英文) Study of synthesis of amino acids and organic molecules during cooling process of a hot gas plume

研究代表者

三重野 哲 (Mieno, Tetsu)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：50173993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙での有機分子合成と関連し、小惑星が衛星/惑星に衝突した時に起きる高温ガス反応にて種々のアミノ酸が合成されるという仮説を検証するため、2段階軽ガス銃を用いた衝突模擬実験を実施した。窒素ガス中で飛翔体をターゲットに衝突させると、微粒子を含む高温ガスが発生し、そのガスが冷える過程で合成反応が起きる。合成物を分析する事により、種々のアミノ酸の合成が確認された。その異性体を調べると、L型(生物型)アミノ酸がD型より多く含まれる事が分かった。この高温反応において、CNラジカル分子発生が重要であるので、窒素ガス中間欠アーク放電法でアミノ酸合成を試みると、高効率でアミノ酸が合成される事が分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命の起源や宇宙科学と関連し、宇宙でどのように有機物が合成されて来たか解明することは、宇宙を知る上で重要である。ここでは、タイタン衛星などの衛星/惑星に小惑星が衝突し、衝突高温反応により種々のアミノ酸が合成され、蓄積されたという仮説を検証するため、模擬実験を行なった。その結果、予想通り、種々のアミノ酸が高効率に合成される事が示された。タイタン衛星に限らず、無数の衛星/惑星上で長期に渡りアミノ酸が合成され、蓄積されて来た事象を支持している。これらのアミノ酸の一部は、次のステップで重合を起こし、タンパク質の原型を作り出したと考えられ、生命の原材料が宇宙のいたる所で作られたと考えられる。

研究成果の概要(英文)： Related with synthesis of amino acids in space, we have a hypothesis that a lot of amino acids are synthesized in a hot gas reactions, which are caused by a asteroid's impact onto a satellite/planet. In order to examine this hypothesis the impact experiment using a 2 staged gas gun has been carried out, where a accelerated projectile impacts on a target in nitrogen gas. By the impact a hot gas plume is generated and hot gas reactions take place during the cooling process. By analyzing the produced soot, it was confirmed that many kinds of amino acids were synthesized. By the isomer analysis, it was found that the sample contains more L-type (bio-type) amino acids than D-type acids. As generation of CN radicals is important in the hot gas reactions, we tried to make amino acids by the intermittent arc discharge method using nitrogen gas. As a result, we could confirm efficient synthesis of amino acids by this method.

研究分野：プラズマ科学、炭素ナノ材料科学、宇宙環境科学

 キーワード：アミノ酸合成 小惑星衝突 衝突合成反応 高温ガスプルーム ガス銃実験 間欠アーク放電 レーザ
-アブレーション 高温ラジカル反応

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 「宇宙核融合で発生した炭素がどのような形で存在しているか?」は、生命の起源とも関連して興味深い。研究代表者は、小惑星が惑星/衛星に衝突した時に、どのような微粒子・有機分子が合成されるか解明するため、2段式軽ガス銃を用いた衝突模擬実験を行ってきた。[1, 2] 窒素ガス中、炭素を含むターゲットへの衝突で、種々の炭素クラスター(フラーレン、金属内包炭素、バルーン状炭素)やアミノ酸が合成されることを見出した。[3] そして、アラニンなどのキラル分子では、D型とL型の両方の光学異性体が合成される結果を得た。これまで、地球の進化と関連し、ミラーの雷型放電実験によるアミノ酸合成実験[4]が有名であるが、初期地球の環境と合致していない。また、彗星・隕石衝突と関連して、飛翔体衝突によるアミノ酸合成実験が行われている。[5-7]

(2) これまでの研究代表者の研究により、衝突反応によって、どの様にアミノ酸や有機物が合成されるか検討した。図1は、その合成過程のモデル図である。炭素を含む飛翔体が窒素ガス中でターゲットに衝突する(窒素ガス圧力 1気圧、速さ 約7 km/s、ポリカーボネート飛翔体のサイズ、約7 mm)。衝突面で、瞬時に高温・高圧が発生し、高温ガスプルームがターゲットから吹き出す(その温度は、約5000 K)。このガスプルームは、周囲の窒素ガスと激しくぶつかりながら発光し、化学反応を起こす。その後、冷却過程にて、化学反応が進み、種々のクラスターや有機分子が合成され、ガスプルームは消滅する。このガスプルームの冷却過程で、どの様にアミノ酸や有機分子が合成されるか、解明したい。高温ガスプルームは、ガス中アーク放電やレーザーアブレーションでも発生するので、間欠アーク放電やレーザーアブレーションで、種々の有機分子が合成されることを証明したい。さらに、キラルアミノ酸(光学異性体)の選択合成について、化学分析により解明したい。H27-H29年度、科研費・基盤(C)、「ガス銃衝突で発生する高温ガスプルームと有機分子合成過程の研究」を基に研究を行っていたが、上記疑問点を解明するため、さらに研究を発展させたい。

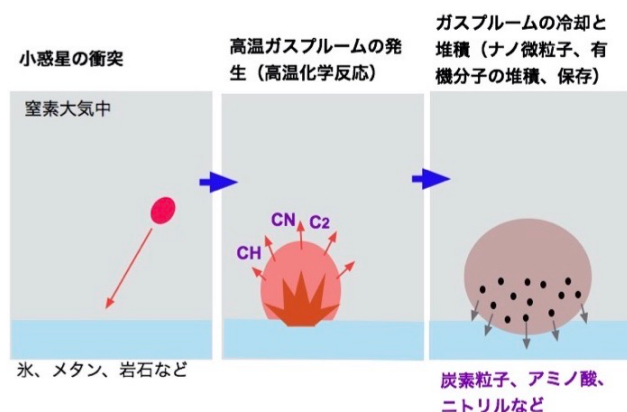


図1 小惑星衝突による高温反応のモデル図。

2. 研究の目的

(1) ガス銃衝突実験、間欠アーク放電実験およびレーザーアブレーション実験により、どのようなアミノ酸・有機分子が合成されるか研究する。そして、高温ガスプルームの冷却時における化学反応のモデルを作り、実験と比較し、そのモデルの正当性を証明する。微粒子表面反応にも注目する。これまで、衝突実験によるアミノ酸合成が報告されているが、ここでは、その合成過程を解明し、3種類の合成過程の差異を明白にする。この研究は、宇宙における衝突現象が、種々の大量の有機分子を合成してきたことの間接的証明を与える。また、パルスアーク放電やレーザーアブレーションが、材料の分解だけでなく、有機分子の合成に使えることを示すと期待される。これらは、プラズマと有機物合成を結ぶ新しい視点であると考えられる。

(2) ガスプルームの物理的条件について、ガスプルームの発生から消滅まで、温度、密度の時空間変化を測定する。その過程のモデルは、流体計算を用いて解明する。ガスプルーム内のラジカル発生、反応、消滅及び各有機分子の合成について、化学結合エネルギーの観点から研究し、実験結果と比較する。特にCNラジカルの発生が重要と考えられる。発生するラジカル分子について、ガス質量分析法で測定する。

(3) 間欠アーク放電やレーザーアブレーションでどのような有機分子を作れるか、その能力を解明し、効率的にアミノ酸・有機分子が合成される条件を求めよう。

(4) アミノ酸の光学異性体の合成で偏りが起きている。恒にL型分子が多い理由を解明する。アミノ酸

の重合体も作られており、どのような重合体か分析する（加水分解分析）。

(5) 宇宙において、小惑星が惑星／衛星に衝突し、種々の有機分子を合成してきたことをこの模擬実験にて証明する。特に、タイタン（土星の衛星）に蓄積している有機分子との関係を明らかにしたい。また、アフターグローという新しい条件での有機分子合成の応用の可能性を調べたい。

3. 研究の方法

(1) ガス銃衝突実験用の与圧室を改良し、”その場質量分析”ができる差動排気装置バルブを付ける。高温プルーム発生後、ガスサンプルによりガスの質量分析を行う。そして、どのような前駆体分子が合成されているか測定する。

(2) 小型間欠アーク放電装置を製作する。そして、清浄な環境で、窒素ガス中間欠アーク放電を発生させ、プルームの発生を確認する。不純物が入らなように合成すずを回収し、液体クロマトグラフ法でアミノ酸を分析する。また、光学異性体を分析する。

(3) アフターグローにおける微粒子発生過程を分析し、プルーム付近の微粒子温度と密度を調べる。そして、約 300 °C 近傍での、粒子密度、ラジカル分子密度を調べる。そして、微粒子表面で、どのような化学反応が起きているか解明する。

(4) TEM-EDS 分析、レーザーイオン化質量分析 (LD-MS)、FT-IR 分析を行い、窒素原子の分布、アミノ酸の種類、試料の化学結合の測定を行う。

(5) 2次元液体クロマトグラフ法を用い、試料の光学異性体量を測定し、アラニン分子の D/L 合成量の差異を調べる。そして、差異を生むモデルを検討する。

(6) 佐世保工業高専が所有するパルスレーザーアブレーション装置を用い、窒素ガス中アブレーション法により高温ガスプルームを発生させ、有機物を合成する。その試料を注意深く分析し、アミノ酸量やその他の有機物の合成量を分析する。

(7) 化学結合エネルギーに基づいたラジカル反応モデルを作り、実験結果と比較する。特に微粒子上でのラジカルの冷却結合反応に注目する。

(8) 流体シミュレーション法により、高温ガスプルームの発生、成長、消滅過程における、温度、密度、速度などを計算し、実験データと比較し、流体力学的にガスプルームの動的過程を解明する。

(9) ガス銃衝突実験、間欠アーク放電実験、レーザー蒸発実験で合成した分子を比較し、それぞれの合成過程の特徴を明らかにする。

(10) 成果を国際会議で発表し、論文公表する。

4. 研究成果

(1) ガス銃衝突実験は、JAXA 宇宙研が所有する 2 段式軽ガス銃を用いて行われた。図 2 はその与圧ターゲット部分の概略図である。直径 7 mm のポリカーボネート弾が真空中で約 7 km/s に加速され、右手より、窒素ガス封入の与圧室へ打ち込まれる。そして、左端の鉄ターゲット（鉄+氷や鉄+氷+ヘキサターゲット）に衝突し、高温ガスプルームを発生する。このプルームは高速に膨張するが、周囲の低温ガスを衝突し、消滅していく。この過程で炭素微粒子と有機分子が合成される。

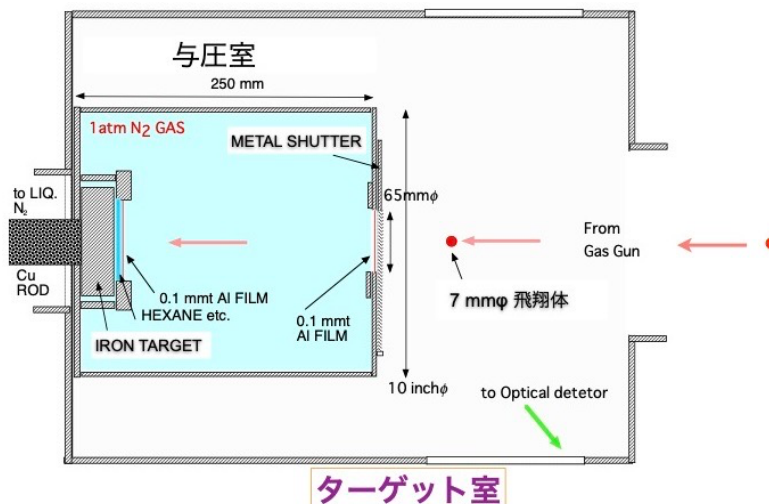


図 2 ガス銃実験装置のターゲット部に置かれた与圧室の模式図。

(2) 衝突時に約 50 μ 秒、強い発光が発生し、その分光分析をすると、CN、C₂、CH のラジカル分子からの発光であった。図はその発光スペクトルの一例である。その分子振動温度は、約 5000 K であった。衝突直後のガスを質量分析すると、種々の炭素化合物分子が観察された。

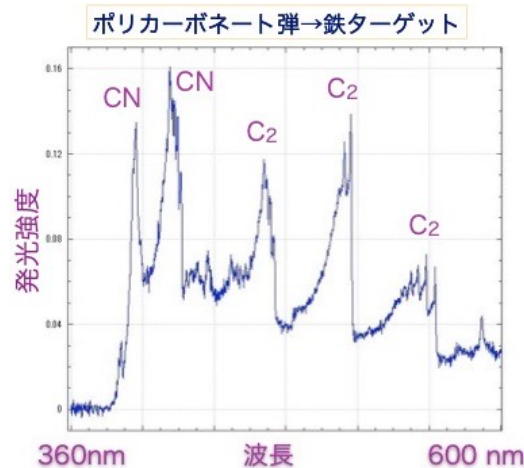


図3 衝突後発生する高温ガスブルームからの発光スペクトル。鉄ターゲットの場合。

(3) 発生した炭素状煤を注意深く回収し、その一部を分析した。まず、熱水環流法を用いて、有機分子を抽出し、濾過とダブルシル反応後、液体クロマトグラフ法を用いた分子種を測定した。その結果、グリシン、アラニンなど多種のアミノ酸が合成されていることが分かった (12 mg の煤試料に約 1.5 nmol/mg のグリシンが含まれていた)。その量は、窒素ガス中にメタンガスを加える事により増加した。

(4) 次に合成ススを高温塩酸を用いて加水分解し、脱塩した試料をダブルシル反応させ、液体クロマトグラフ法を用いて分析した。その結果より多くのアミノ酸を検出することができた。アミノ酸前駆体は、お互いに結合を作り、より大きな重合体を作る。試料中の重合体を加水分解し、個々のアミノ酸が検出されたと考えられる。図4は、分析結果の一例である。

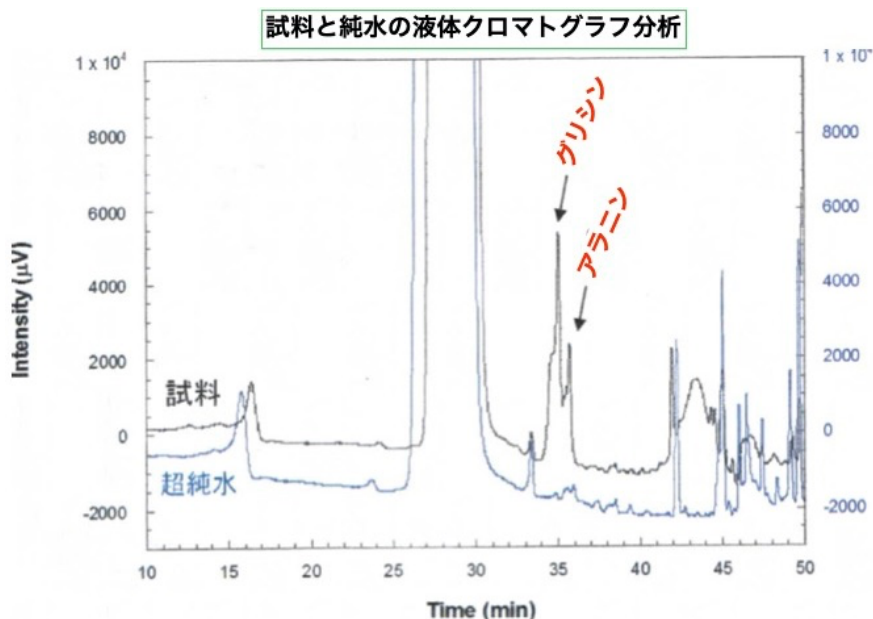


図4 鉄+水ターゲットにて衝突合成した試料の分析結果。純水試料と比較している。

(5) 合成された試料を TEM-EDS 法を用いて元素分析した。この煤は多くの数十 nm オーダーの炭素ナノ粒子よりできている。そして、その煤の元素マッピングをすると、煤周囲に窒素元素が分布している事が分かった。つまり、ナノ粒子にアミノ酸やアミノ酸が重合した分子がコーティングされている。試料を LD-MS 質量分析するとアミノ酸に対応する質量ピークが得られた。また、試料を FT-IR 分析するとアミノ酸結合に対応する複数の吸収ピークが得られた。

(6) 2次元液体クロマトグラフ法を用いてアラニンの L 型、D 型異性体量を測定した。その結果、常に L 型アラニンが D 型の 2 倍以上含まれる事が分かった。外来アミノ酸汚染防止策を取っている立場からは、この結果は従来の合成過程では説明できない。合成時の鑄型分子の存在の可能性などを検討している。

(7) 直径 210 mm、高さ 250 mm の金属製真空容器内に 2 つの電極を置き、メタン含有窒素ガスを導入してから、間欠アーク放電を 6 分間実施した。電子衝撃により陽極から炭素原子が昇華し、プラズマブルー

ム周囲で化学反応が発生した。分光測定により CN 分子からの発光が確認された。放電後、内壁に堆積した炭素ススを注意深く回収し、熱水環流法と加水分解法にて有機分子を抽出し、それぞれの試料に対し、液体クロマトグラフ分析を行なった。その結果、いずれも種々のアミノ酸を検出することができた。その含有量は、ガス銃実験の試料より多い傾向があった。[8]

(8) 真空容器内に窒素ガスを封入し、ポリカーボネート板をセットし、YAG 紫外線レーザーにより、繰り返しレーザーを照射した。しかし、圧力が 1 気圧近傍では、発生プルームが 1 mm 程度と非常に小さく、発生煤は僅かであった。それで、ガスを減圧状態で実験を行なった。その結果、十分なアブレーションを起こす事ができた。この実験で得られた煤を注意深く回収し分析した。TEM 分析にて多くの炭素ナノ粒子の存在を確認する事ができた。しかしながら、液体クロマトグラフ分析からは有意な量のアミノ酸を検出することは無かった。その理由とし、高温プルームガス温度が低く、窒素を分解し、CN 分子を合成する条件になっていない事が挙げられる。より高密度のレーザー照射が必要と思われる。

(9) 高温ガスプルームの冷却過程でのアミノ酸合成過程について検討した。分光分析、質量分析のデータから、ガス銃実験やアーク放電実験では、プルーム内に原子状炭素、水素、窒素が発生し、その冷却過程では、 C_2 , CN, CH, OH などのラジカル分子が衝突しあう状態になっていると考えられる。ここで、 $C_2 + N_2 \rightarrow 2CN$ の化学反応が重要であると考ええる。その後、CN, OH, CH_3 などのラジカル分子が合成され、ある確率で結合し合うと考えられる。アミノ酸の安定化温度が約 300 °C である事から、多くのラジカル分子は、すでに存在する炭素ナノ粒子の表面で拡散し、結合する、つまり、ナノ粒子上で多くのアミノ酸が合成されると推察している。種々のアミノ酸の含有比率は、結合確率に関係し、大型のアミノ酸ほど含有量が減る傾向にある。

(10) ガス銃衝突実験における高温ガスプルームの挙動について、流体計算シミュレーションを実施した。衝突直後は、非流体的圧縮加熱や固体昇華反応が起きるが、高温プルーム発生後の様子は、計算で良く再現できる。高速カメラで記録した挙動と類似な様子で高温プルームが膨張し、冷却して行く。

(11) 3 種の合成実験結果を比較して、アミノ酸合成は、原料分子がプルーム内で高温になり、CN などのラジカル分子が発生し、それらが頻りに衝突しながら冷却して行く事が重要である事が分かった。よって、条件を整えば、種々の衝突現象や放電現象にてアミノ酸が合成される機会がある事が分かった。タイタンなど大気を持つ星表面では、アミノ酸が大量に合成・蓄積されている可能性が十分にあると言える。

<引用文献>

- ① T. Mieno, S. Hasegawa, "Production of carbon clusters by impact reaction using light-gas gun in experiment modeling asteroid collision", *Applied Phys. Express* **1**(2008) 067006, 1-3.
- ② T. Mieno, S. Hasegawa, K. Mitsuishi, "Production of Various Carbon Nanoclusters by Impact Reaction Using Light-Gas Gun as Simulation of Asteroid Collisions in Space", *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 125102-1~6.
- ③ K. Okochi, T. Mieno, K. Kondo, S. Hasegawa, K. Kurosawa, "Possibility of production of amino acids by impact reaction using a light-gas gun as a simulation of asteroid impacts", *Orig. Life Evol Biosph* **45** (2015) 195- 205.
- ④ S. L. Miller, "A production of amino acids under possible primitive Earth conditions", *Science*, **117** (1953) 528.
- ⑤ Z. Martins, *et al.*, "Shock synthesis of amino acids from impacting cometary and icy planet surface analogues", *Nature Geoscience*, **6** (2013) 1045.
- ⑥ Y. Furukawa, *et al.*, "Nucleobase and amino acids formation through impacts of meteorites on the early ocean", *Earth and Planetary Science Lett.* **429** (2015) 216.
- ⑦ G. G. Managadze *et al.*, "Excess of L-alanine in amino acids synthesized in a plasma torch generated by a hypervelocity meteorite impact reproduced in the laboratory", *Planetary and Space Science* **131** (2016) 70.
- ⑧ T. Mieno, U. Azumi, S. Hasegawa, H. Shibata, Y. Kebukawa, K. Kobayashi, "Impact generation of hot gas plume and synthesis of amino acids in nitrogen gas simulating asteroid's impacts in space", *Abst. 34th Int. Conf. Phenomena Ionized Gases*, Sapporo (July, 2019) OR15PM-D05.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Md. A. Momin, Md. J. Rahman, T. Mieno	4. 巻 394
2. 論文標題 Foot pressure sensor system made from MWNT coated cotton fibers to monitor human activities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surface & Coating Technology	6. 最初と最後の頁 125749-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.surfcoat.2020.125749	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 M. Zhao, S. Yamazaki, T. Wada, A. Koike, F. Sen N. Ashikawa, Y. Someya, T. Mieno, Y. Oya	4. 巻 160
2. 論文標題 Deutrium recombination coefficient on tungsten surface determined by plasma driven permeation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 11853-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.fusengdes.2020.111853	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 Md. J. Islam, Md. J. Rahman, T. Mieno	4. 巻 3
2. 論文標題 Safely functionalized carbon nanotube-coated jute fibers for advanced technology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Composites and Hybrid Materials	6. 最初と最後の頁 285-293
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42114-020-00160-6	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 Md.A. Kalam, T. Mieno	4. 巻 26
2. 論文標題 Pressure and discharge current dependence of production rate of single-walled carbon nanotubes by the bipolar pulsed arc discharge method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fullerene, Nanotubes and Carbon Nanostructures	6. 最初と最後の頁 458-464
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/1536383X.2018.1448387	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17件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 三重野 哲、田邊 康介、ホッサイン アル イムラン
2. 発表標題 アークジェット放電法を用いたGd等金属内包炭素カプセルの合成と医療応用
3. 学会等名 第39回プラズマプロセス研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 宏明、三重野 哲
2. 発表標題 ツインビデオカメラを用いたアーク放電の時間分解2次元温度測定
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田邊 康介、三重野 哲
2. 発表標題 アークジェット放電法を用いたGd内包炭素カプセルの合成と医療応用
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Tanabe, K. Takayama, T. Mieno
2. 発表標題 Production of Gd-included carbon nano-capsules by the JxB arc discharge method
3. 学会等名 21st WS on Fine Particle Plasmas at NIFS (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 W. Yulistia, T. Mieno
2. 発表標題 Development of nanotube-cellulose composite paper and its application to electro-conductive structures
3. 学会等名 21st WS Fine Particle Plasmas at NIFS (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Md. A. Momin, Md. J. Rahman, T. Mieno
2. 発表標題 Foot pressure sensor system made from MWNT coated cotton fibers to monitor human activities and sports performance
3. 学会等名 第54回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Mieno, U. Azmi, S. Hasegawa, H. Shibata, Y. Kebukawa, K. Kobayashi
2. 発表標題 Impact generation of hot gas plume and synthesis of amino acids in nitrogen gas simulating asteroid's impacts in space
3. 学会等名 XXXIV Int. Conf. Phenomena Ionized Gases (ICPIG)(Sapporo) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mieno
2. 発表標題 Synthesis of amino acids in nitrogen gas by an intermittent arc discharge
3. 学会等名 20th Workshop on Fine Particle Plasmas (Toki) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三重野 哲
2. 発表標題 小惑星衝突による破壊と創造
3. 学会等名 静岡大学理学同窓会・中部支部総会（名古屋）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三重野 哲
2. 発表標題 間欠アーク放電法を用いたアミノ酸合成
3. 学会等名 第67回応用物理学春季学術講演会（東京）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三重野 哲、柴田裕実、長谷川 直、癸生川陽子、小林憲正
2. 発表標題 窒素ガス中飛翔体衝突とアーク放電によるアミノ酸合成
3. 学会等名 JAXA・宇宙科学に関する室内実験シンポジウム（相模原）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三重野 哲
2. 発表標題 窒素ガス中・間欠アーク放電法を用いたアミノ酸合成（名古屋）
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Mieno, S. Sekiguchi, S. Hasegawa, H. Shibata, Y. Kebukawa, K. Kobayashi
2. 発表標題 Impact synthesis of amino acids by a light gas gun to simulate impact reactions on Titan
3. 学会等名 42nd COSPAR Scientific Assembly (Pasadena) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mieno, S. Nakamura, S. Sekiguchi
2. 発表標題 Generation of hot gas plume and synthesis of amino acids by impact experiment using a gas-gun
3. 学会等名 Japan-Korea Dust WS 2018 (Kamakura) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三重野 哲
2. 発表標題 惑星科学における微粒子プラズマの重要性について
3. 学会等名 H30年度東北大学電気通信研究所・共同プロジェクト研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 U. Azmi, T. Mieno
2. 発表標題 Impact production of balloon-like and core-shell-like carbon nanoparticles using a gas gun
3. 学会等名 第10回静岡大ー核融合研連携研究フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三重野哲、ウルファ アズミ、柴田裕実、葵生川陽子、小林憲正
2. 発表標題 窒素ガス中飛翔体衝突により発生する高温ガスブルームにて合成されるアミノ酸等有機分子の研究
3. 学会等名 JAXA・宇宙科学に関する室内実験シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 T. Mieno, Y. Hayashi, K. Xue 編集 (全12章)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 INTECHOPEN	5. 総ページ数 214
3. 書名 Progress in Fine Particle Plasmas	

1. 著者名 乗松 航、中川清晴、蒲生西谷 美香、安藤寿浩、三重野 哲、丸山隆浩、太田和親、白須圭一、井上 翼、鈴木信三、前田 優、山田道夫、紺野優以、鈴木光明、永徳 丈、田中孝明、中野 満、島田 学、久保 優、永津雅章など (82名による分担執筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 456
3. 書名 カーボンナノチューブの表面処理・分散技術と複合化事例	

1. 著者名 三重野 哲	4. 発行年 2018年
2. 出版社 プラズマ・核融合学会	5. 総ページ数 7
3. 書名 プラズマ・核融合学会誌, 講座: プラズマおよび気相成長を用いたナノ材料合成, 第1章と第2章.	

〔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
研究協力者	長谷川 直 (Hasegawa Sunao)	宇宙航空研究開発機構・宇宙研・研究員	
研究協力者	柴田 裕実 (Shibata Hiromi)	大阪大学・研究員	
研究協力者	小林 憲正 (Kobayashi Kensei)	横浜国立大学・工学研究院・教授	
研究協力者	川崎 仁晴 (Kawasaki Hiroharu)	佐世保工業高専・電気・電子工学科・教授	
研究協力者	大島 多美子 (Ohshima Tamiko)	佐世保工業高専・電気・電子工学科・准教授	

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