

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14454

研究課題名(和文) Elucidating plasma effect on structural modification of antioxidant enzymes:
Combined experimental and computational研究課題名(英文) Elucidating plasma effect on structural modification of antioxidant enzymes:
Combined experimental and computational

研究代表者

Attri Pankaj (Attri, Pankaj)

九州大学・プラズマナノ界面工学センター・准教授

研究者番号：40868361

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)：酸化ストレスによるNoxa 1の構造修飾評価では、NOX1の制御サブユニットのNoxa1 SH3タンパク質の構造のプラズマによる変化を明らかにした。Noxa1タンパク質の構造変化を実験およびMDシミュレーションによって解析した。SARS-CoV-2スパイクタンパク質のC末端ドメイン構造へのプラズマの酸化の影響について、SARS-CoV-2-CTDスパイクタンパク質のC末端ドメインの構造およびSARS-CoV-2-CTDとヒトhACE2の相互作用に対するプラズマの影響を検討した。プラズマにより酸化の可能性があるMdm2、p53およびMdm2-p53の構造変化をMDシミュレーションにより検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義はプラズマ照射へのがん細胞の応答機序解明にある。我々はプラズマ処理によるNADPHオキシダーゼ・アクチベーター・プロテインとリゾチームの構造変化はアミノ酸の酸化によると示した。続いてSARS-CoV-2-CTDタンパク質の構造がプラズマ処理により不安定化し、酸化の抑制が結合自由エネルギーの減少に寄与すること、さらにプラズマで酸化されたMdm2はp53を阻害しないことを計算から示した。つまりプラズマ処理したがん細胞内の活性酸素の増加はp53によるカタラーゼの不活性化が原因と考えられる。以上の成果は新薬やワクチン、診断薬、治療薬の開発に繋がり、人類の健康へ貢献可能と期待できる。

研究成果の概要(英文)：Target 1: Structural modification of NADPH oxidase activator (Noxa 1) by oxidative stress: An experimental and computational study. In this work, we demonstrate the effect of plasma effect on the structural changes of Noxa1 SH3 protein, one of the regulatory subunits of NOX1. The structural deformation of Noxa1 SH3 protein was analyzed by various experimental methods and by MD simulations. Target 2: Possible impact of plasma oxidation on the structure of C-terminal Domain of SARS-CoV-2 spike protein: A computational study. We checked the plasma effect on the structure of the C-terminal domain of SARS-CoV-2 (SARS-CoV-2-CTD) spike protein and interaction SARS-CoV-2-CTD with human Angiotensin-Converting Enzyme 2 (hACE2). Target 3: In this study we investigated the structural changes in Mdm2, p53, and the Mdm2-p53 before and after possible plasma oxidation through molecular dynamic (MD) simulations.

研究分野：Applied Plasma research

キーワード：Protein folding MD Simulation Biophysical studies

1. 研究開始当初の背景

Plasma medicine is a new scientific field that uses cold atmospheric plasmas (CAP) for cancer treatment. The plasma sources for plasma medicine applications typically operate in air or in argon or helium with air impurities. Hence, they generate reactive oxygen and nitrogen species (RONS), e.g., OH, O₂⁻, O, NO, H₂O₂, NO₂⁻, NO₃⁻, NO₂, ONOO⁻, etc, which are stated to be responsible for the biomedical effects. Most studies concluded that CAP-mediated apoptosis induction acts selectively on tumor cells, but the latest studies also reveal that selectivity is not observed for all cancer cell lines.

Although, there is general consent that RONS plays a central role in plasma-mediated antitumor effects (Fig 1). However, there is no evidence about the role of antioxidant enzymes after plasma treatments. In addition, the folding and unfolding of antioxidant enzymes after plasma treatment are still absent from the literature. Recently, much evidence were reported on the role of an enzymatic antioxidant in tumor growth and resistance to radiation therapies. Oxidative stress is one of the common modes of action in radiation therapy and plasma medicine. Therefore, studying the plasma effect on proteins/enzymes is essential. As the oxidative stress mechanism is similar for both radiation and plasma, there is a possibility of resistance occurring in cancer cells due to plasma treatment, as shown for radiation. Therefore, we will study the structural and functional changes that occur in antioxidant proteins after CAP and PTLs treatment using biophysical techniques and computer simulations. In addition, we will also study the inhibition effect of enzymatic antioxidants on the efficacy of CAP or PTLs to kill cancer cells.

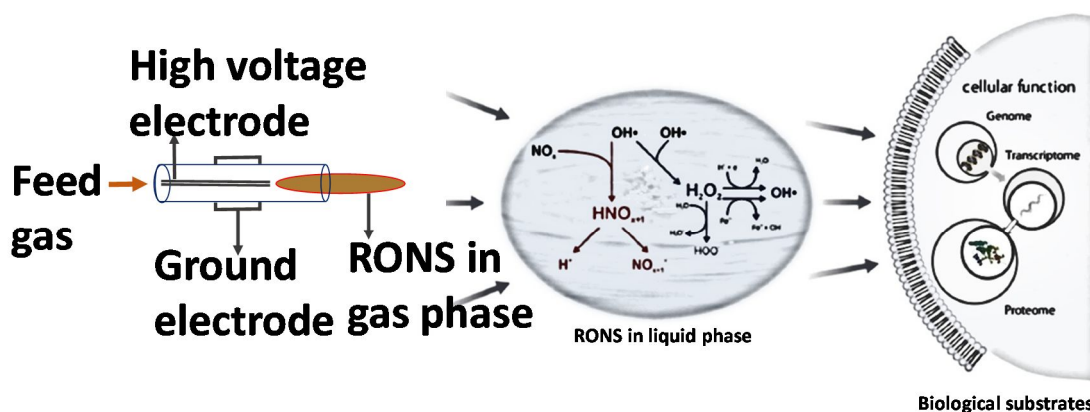


Fig. 1: Plasma-generated RONS modified the biological substrate

This shows the possibility of protein sulfenylate, nitrosylate, or carbonylation. Other modifications also occur in the protein/enzymes when they come in contact with RONS.

2. 研究の目的

Both anticancer activity and the inactivation of microbes by plasma are due to the generation of plasma agents such as photons, electric fields, charged particles, and radicals, all of which have different effects on all biomolecular systems. To induce a specific biological effect using single or repeated plasma exposure, all reaction channels that the plasma action can trigger need to be explored, including not only simple physical or chemical damage to biomolecules but also structural modifications and changes in the

biological environment, e.g. acidification or local reactive oxygen and nitrogen species (RONS) balance shift. However, plasma efficiency needs to be improved for sterilization and plasma selectivity for cancer cells.

Protein modification by atmospheric pressure plasma is a novel nonthermal processing technology that can improve protein quality, functionality, and allergenicity reduction.

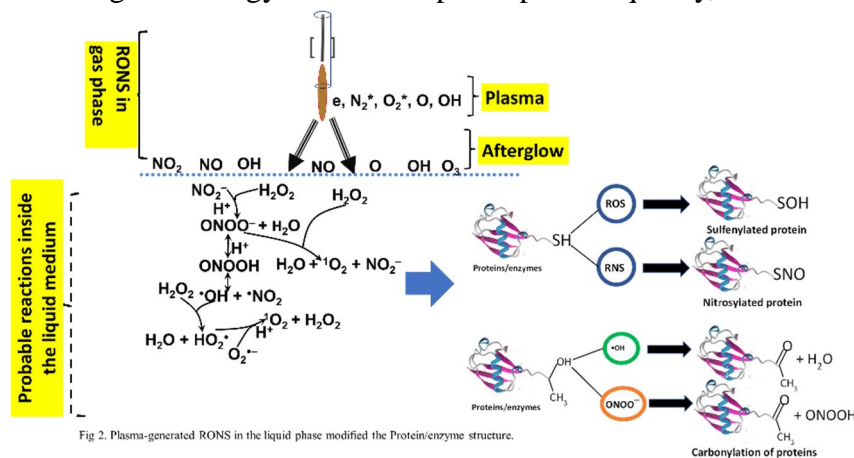


Fig. 2. Plasma-generated RONS in the liquid phase modified the Protein/enzyme structure.

It involves exposing proteins in an aqueous solution to reactive species generated by plasma, such as RONS. This can induce chemical modifications of amino acids, such as hydroxylation, nitration, sulfonation, disulfide linkage formation, sulfoxidation, amidation, and ring-opening, as shown in Fig. 2. These modifications can affect the protein structure, solubility, emulsification, antioxidant activity, and antigenicity. Plasma treatment can also inactivate proteins by destroying their tertiary structure or enzymatic activity. This can be useful in understanding the mechanism of the plasma effect for biomedical applications, such as sterilization, cancer therapy, and wound healing.

3 . 研究の方法

We have used 3 methods of study

1. Biophysical techniques to check protein/enzyme structure: Circular dichroism, Fluorescence spectroscopy, UV-Vis spectroscopy, and Mass spectrometry.
2. Non-reactive molecular dynamic simulation.
3. Cancer cell viability test

4 . 研究成果

Project 1: NADPH oxidases 1 (NOX1) derived reactive oxygen species (ROS) play an important role in cancer progression through signaling pathways. Therefore, in this paper,

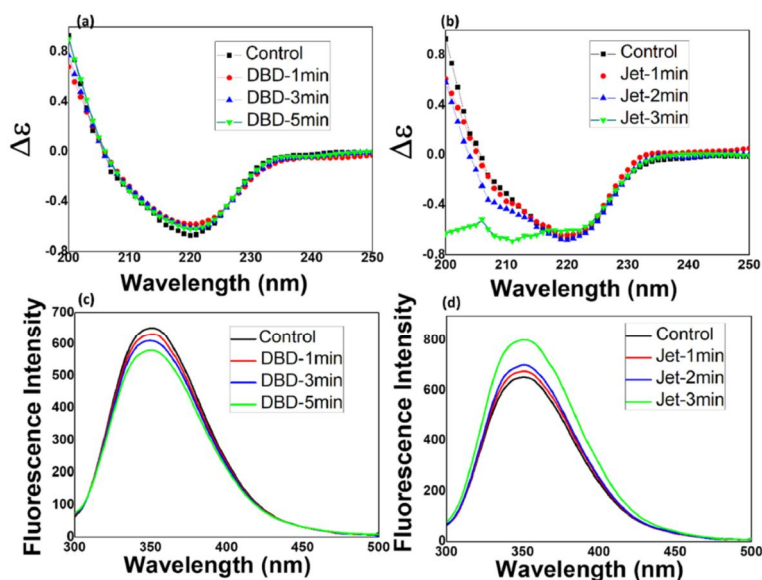


Fig.. (a, b) Far-UV CD spectra and (c, d) fluorescence spectra of Noxa1 SH3 protein before and after plasma treatment for different times, by DBD (a, c) or Jet (b, d).

we demonstrate the effect of cold atmospheric plasma (CAP) on the structural changes of Noxa1 SH3 protein, one of the regulatory subunits of NOX1. For this purpose, firstly, we purified the Noxa1 SH3 protein and analyzed the structure using X-ray crystallography, and

subsequently, we treated the protein with two types of CAP reactors, such as pulsed

dielectric barrier discharge (DBD) and Jet for different time intervals. The structural deformation of Noxa1 SH3 protein was analyzed by various experimental methods (circular dichroism, fluorescence, and NMR spectroscopy) and by MD simulations. Additionally, we demonstrate the effect of CAP (DBD and Jet) on the viability and expression of NOX1 in A375 cancer cells. Our results are useful for understanding the structural modification/oxidation that occurs in protein due to reactive oxygen and nitrogen (RONS) species generated by CAP.

Citation: Pankaj Attri*, J.-H. Park, J. D. Backer, M. Kim, J.-H. Yun, Y. Heo, S. Dewilde, M. Shiratani, E. H. Choi, W. Lee, A. Bogaerts, Structural modification of NADPH oxidase activator (Noxa 1) by oxidative stress: An experimental and computational study. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020, 163, 2405-2414. IF = 6.93

Project 2: Possible impact of plasma oxidation on the structure of the C-terminal domain of SARS-CoV-2 spike protein: a computational study

The recent outbreak of a novel coronavirus (SARS-CoV-2) has caused substantial public health issues worldwide. Cold atmospheric plasma (CAP) has shown its potential application in sterilization. It would be interesting to check the possible effect of CAP on the structure of the C-terminal domain of SARS-CoV-2 (SARS-CoV-2-CTD) spike protein and the interaction SARS-CoV-2-CTD with human angiotensin-converting enzyme 2 (hACE2). Therefore, we performed molecular dynamics simulations to calculate the root-mean-square deviation, root-mean-square fluctuation, principal component analysis and solvent-accessible surface area of SARS-CoV-2-CTD and the SARS-CoV-2-CTD/hACE2 complex with and without possible oxidation.

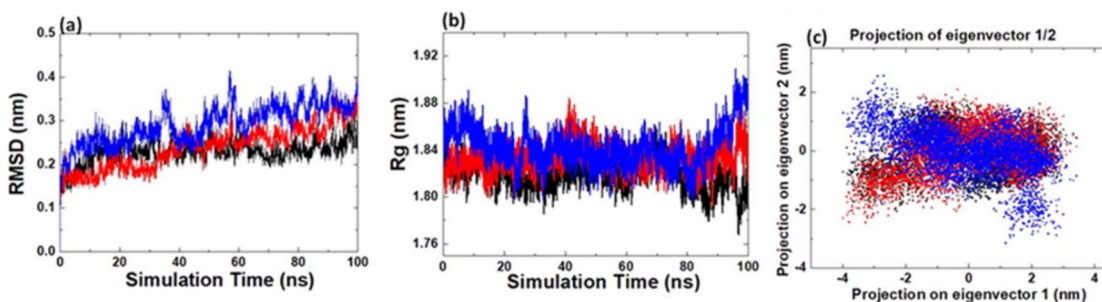


Fig. (a) RMSD, (b) Rg and (c) PCA analysis of CoV-2-CTD control (black), CoV-2-CTD (plasma1) (red) and CoV-2-CTD (plasma2) (blue).

Citation: Pankaj Attri*, K. Koga, and M. Shiratani, Possible impact of plasma oxidation on the structure of C-terminal Domain of SARS-CoV-2 spike protein: A computational study. *Applied Physics Express* 2021, 14, 027002. IF = 2.89

Project 3: Plasma treatment causes structural modifications in lysozyme, and increases cytotoxicity towards cancer cells

Bacterial and mammalian proteins, such as lysozyme, are gaining increasing interest as anticancer drugs. This study aims to modify the lysozyme structure using cold atmospheric plasma to boost its cancer cell-killing effect. We investigated the structure at acidic and neutral pH using various experimental techniques (circular dichroism, fluorescence, and mass spectrometry) and molecular dynamics simulations. The controlled structural modification of lysozyme at neutral pH enhances its activity, while

the activity was lost at acidic pH at the same treatment conditions. Indeed, a larger number of amino acids were oxidized at acidic pH after plasma treatment, which resulted in a

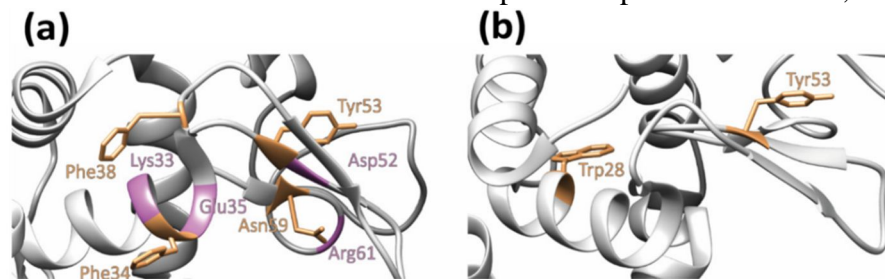


Fig. Oxidative modifications of lysozyme after plasma treatment. In total, four (Phe34, Phe38, Tyr53, and Asn59) and two (Trp28 and Tyr53) amino acid residues exhibit oxidation after plasma treatment at pH2 (a) and pH 7 (b), respectively. Amino acids with charged side chains in the surrounding of identified modifications at pH2 are labeled in purple. PDB: 1dpx.

greater distortion of the lysozyme structure, whereas only limited structural

changes were observed in lysozyme after plasma treatment at neutral pH. We found that the plasma-treated lysozyme significantly induced apoptosis to the cancer cells. Our results reveal that plasma-treated lysozyme could have potential as a new cancer cell-killing drug.

Citation: Pankaj Attri*, N. K. Kaushik, N. Kaushik, D. Hammerschmid, A. Privat-Maldonado, J. D. Backer, M. Shiratani, E. H. Choi and A. Bogaerts, Plasma treatment causes structural modifications in lysozyme, and increases cytotoxicity towards cancer cells. *International Journal of Biological Macromolecules* 2021, 182, 1724–1736. IF = 6.93

Project 4: Impact of Reactive Oxygen and Nitrogen Species Produced by Plasma on Mdm2–p53 Complex

The study of protein–protein interactions is of great interest. Several early studies focused on the murine double minute 2 (Mdm2)–tumor suppressor protein p53 interactions. However, the effect of plasma treatment on Mdm2 and p53 is still absent from the literature. This study investigated the structural changes in Mdm2, p53, and the Mdm2–p53 complex before and after possible plasma oxidation through molecular dynamic (MD) simulations. MD calculation revealed that the oxidized Mdm2 bounded or

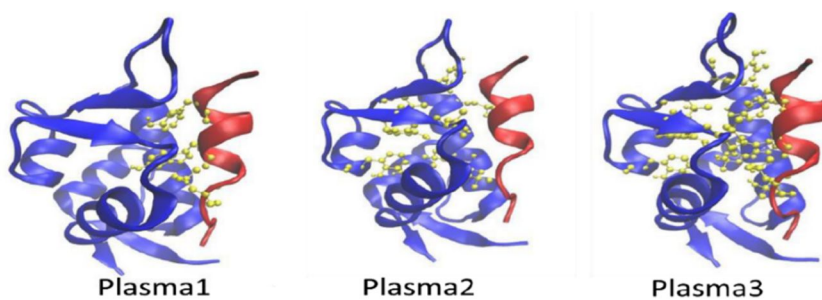


Fig. Schematic representation of the different types of oxidized form of Mdm2–p53 proteins plasma1, plasma2, and plasma3. The Mdm2–p53 protein PDB IDs is 1YCR.

unbounded showed high flexibility that might increase the availability of tumor suppressor protein p53 in

plasma-treated cells. This study provides insight into Mdm2 and p53 to better understand plasma oncology.

Citation: Pankaj Attri*, H. Kurita, K. Koga and M. Shiratani, Impact of reactive oxygen and nitrogen species produced by plasma on Mdm2–p53 complex. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, 22, 9585. IF = 5.92

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件/うち国際共著 21件/うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Ahuja Preety, Ujjain Sanjeev Kumar, Kanojia Rajni, Attri Pankaj	4. 巻 5
2. 論文標題 Transition Metal Oxides and Their Composites for Photocatalytic Dye Degradation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 82 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs5030082	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 Jeong Seunghyun, Yoon Joon Ho, Attri Pankaj, Kim In Tae	4. 巻 25
2. 論文標題 Changes in the physical properties of low bandgap polymer after interaction with ionic liquids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Saudi Chemical Society	6. 最初と最後の頁 101227 ~ 101227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jscs.2021.101227	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 Attri Pankaj, Koga Kazunori, Okumura Takamasa, Shiratani Masaharu	4. 巻 60
2. 論文標題 Impact of atmospheric pressure plasma treated seeds on germination, morphology, gene expression and biochemical responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 040502 ~ 040502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe47d	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 Attri Pankaj, Kaushik Nagendra Kumar, Kaushik Neha, Hammerschmid Dietmar, Privat-Maldonado Angela, De Backer Joey, Shiratani Masaharu, Choi Eun Ha, Bogaerts Annemie	4. 巻 182
2. 論文標題 Plasma treatment causes structural modifications in lysozyme, and increases cytotoxicity towards cancer cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1724 ~ 1736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2021.05.146	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 Chawarambwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 781
2. 論文標題 Effects of concentrated light on the performance and stability of a quasi-solid electrolyte in dye-sensitized solar cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 138986 ~ 138986
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2021.138986	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 Attri Pankaj, Koga Kazunori, Okumura Takamasa, Takeuchi Nozomi, Shiratani Masaharu	4. 巻 11
2. 論文標題 Green route for ammonium nitrate synthesis: fertilizer for plant growth enhancement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 28521 ~ 28529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA04441A	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 Attri Pankaj, Kurita Hirofumi, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 22
2. 論文標題 Impact of Reactive Oxygen and Nitrogen Species Produced by Plasma on Mdm2-p53 Complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 9585 ~ 9585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms22179585	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 Kaneko Toshiro, Kato Hiromitsu, Yamada Hideaki, Yamamoto Muneaki, Yoshida Tomoko, Attri Pankaj, Koga Kazunori, Murakami Tomoyuki, Kuchitsu Kazuyuki, Ando Sugihito, Nishikawa Yasuhiro, Tomita Kentaro, Ono Ryo, Ito Tsuyohito, Ito Atsushi M., Eriguchi Koji, Nozaki Tomohiro, Tsutsumi Takayoshi, Ishikawa Kenji	4. 巻 61
2. 論文標題 Functional nitrogen science based on plasma processing: quantum devices, photocatalysts and activation of plant defense and immune systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA0805 ~ SA0805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac25dc	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 Chawarambwa Fadzai Lesley, Putri Tika Erna, Hwang Sung-Hwa, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Nakamura Daisuke, Shiratani Masaharu	4. 巻 123
2. 論文標題 Improved luminescence performance of Yb3+-Er3+-Zn2+: Y2O3 phosphor and its application to solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 111928 ~ 111928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2021.111928	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 Putri Tika E., Chawarambwa Fadzai L., Son Min-Kyu, Attri Pankaj, Kamataki Kunihiro, Itagaki Naho, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu	4. 巻 4
2. 論文標題 Performance Characteristics of Bifacial Dye-Sensitized Solar Cells with a V-Shaped Low-Concentrating Light System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 13410 ~ 13414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c02774	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 Attri Pankaj, Okumura Takamasa, Koga Kazunori, Shiratani Masaharu, Wang Douyan, Takahashi Katsuyuki, Takaki Koichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Outcomes of Pulsed Electric Fields and Nonthermal Plasma Treatments on Seed Germination and Protein Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agronomy	6. 最初と最後の頁 482 ~ 482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agronomy12020482	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 Pankaj Attri*, J.-H. Park, J. D. Backer, M. Kim, J.-H. Yun, Y. Heo, S. Dewilde, M. Shiratani, E. H. Choi, W. Lee, A. Bogaerts	4. 巻 163
2. 論文標題 Structural modification of NADPH oxidase activator (Noxa 1) by oxidative stress: An experimental and computational study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 2405-2414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.120	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 Pankaj Attri*, K. Koga, and M. Shiratani	4. 巻 14
2. 論文標題 Possible impact of plasma oxidation on the structure of C-terminal Domain of SARS-CoV-2 spike protein: A computational study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 27002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abd717	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 Pankaj Attri*, K. Ishikawa, T. Okumura, K. Koga, M. Shiratani, and V. Mildaziene	4. 巻 11
2. 論文標題 Impact of seed color and storage time on the radish seed germination and sprout growth in plasma agriculture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-81175-x	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 Pankaj Attri, K. Koga, T. Okumura and M. Shiratani	4. 巻 60
2. 論文標題 Impact of atmospheric pressure plasma treated seeds on germination, morphology, gene expression and biochemical responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 40502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe47d	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 Pankaj Attri*, K. Ishikawa, T. Okumura, K. Koga and M. Shiratani	4. 巻 8
2. 論文標題 Plasma Agriculture from Laboratory to Farm: A Review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Processes	6. 最初と最後の頁 1002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/pr8081002	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 B. Arora and Pankaj Attri*	4. 巻 4
2. 論文標題 Carbon Nanotubes (CNTs): A Potential Nanomaterial for Water Purification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs4030135	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, R. Kanojia and Pankaj Attri	4. 巻 5
2. 論文標題 Transition Metal Oxides and Their Composites for Photocatalytic Dye Degradation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs5030082	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 C.-H. Song (co-first author), Pankaj Attri (co-first author), S.-K. Ku, I. Han, A. Bogaerts and E. H. Choi	4. 巻 54
2. 論文標題 Cocktail of reactive species generated by cold atmospheric plasma: oral administration induces non-small cell lung cancer cell death	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 185202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/abdf2	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 Pankaj Attri*, J. Razzokov, M. Yusupov, K. Koga, M. Shiratani, A. Bogaerts	4. 巻 148
2. 論文標題 Influence of osmolytes and ionic liquids on the Bacteriorhodopsin structure in the absence and presence of oxidative stress: A combined experimental and computational study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2020.01.179	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 Pankaj Attri*, S. Choi, M. Kim, M. Shiratani, A. E. Cho, W. Lee	4. 巻 155
2. 論文標題 Influence of alkyl chain substitution of ammonium ionic liquids on the activity and stability of tobacco etch virus protease	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Biological Macromolecules	6. 最初と最後の頁 439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.175	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

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Green Route for the Production of Nitrogen Fertilizer: A Step Towards Decentralization of Fertilizer Production
3. 学会等名 14th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides and Nanomaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Advanced Application of Non-thermal Atmospheric Plasma in Medicine and Agriculture
3. 学会等名 International Conference on Advanced Materials for Next Generation Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Cold Plasma induced structural modification of NADPH oxidase activator (Noxa 1) by oxidative stress
3. 学会等名 82nd JSAP Autumn Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Comparative study on the decontamination of water using non-thermal atmospheric pressure plasma and gamma irradiation
3. 学会等名 APA Bioforum International e-Conference on Polymeric Biomaterials & Bioengineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Influence of Cold Atmospheric Plasma on NADPH Oxidase 1 (NOX1) Enzyme and Membrane Protein Structures: A Combined Experimental and Computational Study
3. 学会等名 8th International Conference on Plasma Medicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Impact of seed coat color on germination and seedling growth in plasma agriculture
3. 学会等名 1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Cold plasma induced modification of the paramagnetic species of the radish and barley seeds
3. 学会等名 69th JSAP Spring Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Green route for ammonium nitrate synthesis: Fertilizer for plant growth enhancement
3. 学会等名 MRM2021 Materials Research Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Plasma treatment causes structural modifications in proteins, result in increased cytotoxicity towards cancer cells
3. 学会等名 31st Annual Meetings of MRS-J
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Can plasma treatment solve the germination and growth problem in older seeds?
3. 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Impact of plasma oxidation on the binding of MDM2-p53 and its possible effects in cancer treatment
3. 学会等名 ISPlasma2021/IC-PLANTS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Impact of Plasma Treatment on the binding of C-terminal Domain of SARS-CoV-2 Spike Protein with Human Angiotensin-Converting Enzyme 2 (hACE2)
3. 学会等名 30th Annual Meeting of the MRS-Japan (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pankaj Attri
2. 発表標題 Role of molecular dynamic simulation to predict the plasma oxidation effect on the binding energy of SARS-COV2-CTD and Human ACE2
3. 学会等名 Future Perspectives of Research in Chemical Science and Technology (An International eSTC) (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 R. Bhatia, S. Garg, and Pankaj Attri	4. 発行年 2020年
2. 出版社 De Gruyter, Germany	5. 総ページ数 50
3. 書名 Nanomaterials for Water Remediation	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 CO2 conversion using ionic liquid and plasma	発明者 Pankaj Attri	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、QP210106	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 Nitrogen rich biofertilizer	発明者 P. Attri, K. Koga, M. Shiratani	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、Application No. QP190146	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

Kyushu University
<https://kyushu-u.pure.elsevier.com/en/persons/pankaj-attri>
Google Scholar
<https://scholar.google.com/citations?user=LXH51ksAAAAJ&hl=en>
Loop
<https://loop.frontiersin.org/people/266263/overview>
Kyushu University
<https://kyushu-u.pure.elsevier.com/en/persons/pankaj-attri>
Loop Frontier
<https://loop.frontiersin.org/people/266263/overview>
Research Map
<https://researchmap.jp/pankaj-attri?lang=en>

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
---------	---------