

シンポジウム 2

プラズマによる生体荷電制御科学の進展

“趣旨説明、及び生体への荷電の効果について”

Progress of Plasma Science to Modulate the Electric Charge on the Biomolecules and Biomaterials

” Introduction, and the effects of electric charges on the biomolecules and biomaterials”

榎田 創

Hajime SAKAKITA

産総研・電子光基礎技術研究部門

Research Institute for Advanced Electronics and Photonics, AIST

生体に備わる荷電の意味を理解していくために、プラズマ（荷電等）を作用点とした生体への効果について、物理的・化学的・生物学的・医学的視点で理解を深化させることを目的として、当学会において「プラズマによる生体電荷制御の科学」専門委員会が2019年4月に立ち上がった。そして、新しい学術分野としてのプラズマによる生体荷電制御の科学の確立、及び医療機器分野、医薬品分野における学術成果の実用化推進に資することを目指している。今回のシンポジウムは、令和2年度第3回専門委員会を兼ねている。

前年度の年会シンポジウム「プラズマによる生体荷電制御科学の夜明け」においては、生体に備わる荷電の意味の理解、荷電等を作用点とした生体への効果などについて、現状の把握と今後の展開が議論された。講演では、千葉大学大学院医学研究院の池原譲先生から「プラズマによる帯電調整による血清タンパク質の分散安定性制御」、東京大学大学院新領域創成化学研究科の山本一夫先生から「糖鎖機能を標的とする創薬デザイン」、産業技術総合研究所の菊永和也先生から「物質の表面電位イメージング」、首都大学東京の内田諭先生から「分子科学計算から探る！プラズマ-生体電荷相互作用モデルの構築」とそれぞれ題してご講演頂き、九州大学大学院システム情報科学研究院の白谷正治先生の総括により夜明けを迎えた。

今年度のシンポジウム「プラズマによる生体荷電制御科学の進展」においては、愛媛大学大学院の神野雅文先生から「プラズマによる遺伝子・分子導入現象の機序を電気の立場で考える」、東京都立大学の内田諭先生から「プラズ

マ-生体間の電荷・電界における直接制御の計算科学的探索」、産総研の清水鉄司先生から「低温大気圧プラズマ照射による液中物質の凝集と溶解の計測」と題してそれぞれご講演頂き、九州大学大学院の白谷正治先生により、現状と今後の課題について総括頂く。

生体への荷電の効果に関して、低温プラズマによる血液凝固現象を起点に、我々は研究を進めている。Table 1に、低温プラズマによる血液凝固に関する研究報告状況についてまとめる。

Table 1. 各deviceについて、使用したガス、及び実験条件の比較。

Type of plasma device	Operating gas	Experimental conditions (frequency, applied voltage to the electrode, current, averaged power)
Flat plate type DBD ^[1,2]	Air	1 kHz, 35 kV _{p-p} , ±0.02 A
Air plasma jet ^[3]	Air, 2.45 l/min	60 Hz, pulsed waveform, -2.5 kV – 1 kV, ~5 A, 350 W
900 MHz plasma jet ^[4]	Ar, 5 l/min	900 MHz, 2.5 W
Hollow-cathode type jet ^[5-8, 15]	He, 2 l/min	15 kHz in conjunction with a primary 50 Hz sinusoidal wave, 9 kV _{p-p} , 0.1 – 0.55 mA (r.m.s.), 0.1 – 0.5 W
DBD plasma jet ^[5-15]	He, Ar, 2 l/min	~60 kHz, 6~9 kV _{p-p} , 0.15 – 0.9 mA (r.m.s.), 0.3 – 1.5 W
Multi-gas plasma jet ^[16]	Air, CO ₂ , N ₂ , He, Ar, 5 l/min	16 kHz, 9 kV

表中で示された各deviceの特徴として、Flat plate type DBDでは、clot formationとしてplatelet aggregation及びfibrin polymerizationであると述べられている。しかし、clots formationのfactorに関する記述はない。Air plasma jetでは、clot formationとしてplatelet aggregationであると述べられている。clots formationのfactorとしては、oxygen atomsが関与している可能性が述べられている。900 MHz plasma jetでは、clot formationについては述べられていない。一方で、clots formationのfactorとしてoxygen atomsが関与している可能性が述べられている。Hollow-cathode type jetでは、clot formationとしてserum protein aggregation、platelet aggregation、fibrin polymerizationであると述べられている。clots formationのfactorとしては、serum protein のaggregationに閾値電流があることが述べられている。DBD plasma jetでは、clot formationとしてhemolytic coagulation of red blood cell、serum protein aggregation、platelet aggregation、fibrin polymerizationであると述べられている。clots formationのfactorとしては、hemolytic coagulation of red blood cell及びserum protein のaggregationに閾値電流があることが述べられている。Multi-gas plasma jetでは、clot formationとしてfibrin polymerもしくはactivated platelet aggregationであろうと述べられている。clots formationのfactorとしては、reactive oxygen speciesが関与している可能性が述べられている。

そこで、前述の現象の中でserum protein のaggregationに閾値電流があることに着目し、凝集量と実験条件（ガス種；ヘリウムガス、アルゴンガス、その混合ガス、ガス流量、照射距離等）との相関関係について、電氣的計測及び分光計測の実験データの統計的な解析を行った。結果として荷電供給の効果が見出されたが、詳細はシンポジウムにて講演する予定である。近年、荷電に関わる研究結果が報告されつつある[17-22]。

謝辞：「プラズマによる生体電荷制御の科学」専門委員会の幹事、委員の先生方、ご発表を頂きます先生方、学会・プラズマ応用領域・渡邊隆行先生、及び学会事務局に、感謝申し上げます。

参考文献：

[1] Fridman G, et al., 2006 Plasma Chem. Plasma Process 26 425

- [2] Kalghatgi S U, et al., 2007 IEEE Trans. Plasma Sci. 35 1559
- [3] Chen C-Y, et al., 2009 IEEE Trans. Plasma Sci. 37 993
- [4] Choi J, et al., 2010 Plasma Processes Polymers 7 258
- [5] Ikehara S, et al., 2015 Plasma Process. Polym. 12 2015 1348
- [6] Miyamoto K, et al., 2017 J. Clin. Biochem. Nutr. 60 25
- [7] Miyamoto K, et al., 2016 Arch. Biochem. Biophys. 605 95
- [8] Miyamoto K, et al., Chapter 6.2 322, Plasma Medical Science (Editors: S. Toyokuni, Y. Ikehara, F Kikkawa, M. Hori) Academic Press (2018.7.24)
- [8] Sakakita H and Ikehara Y 2010 Plasma Fusion Res. 5 S2117
- [10] Ikehara Y, et al., 2013 J. Photopolym. Sci. Technol. 26 555
- [11] Ueda M, et al., 2015 Plasma Process. Polym. 12 1338
- [12] Akimoto Y, et al., 2016 Arch. Biochem. Biophys. 605 86
- [13] Yamada H, et al., 2016 J. Phys. D: Appl. Phys. 49 394001
- [14] Yamada H, et al., 2018 Plasma Sources Sci. Technol. 27 05LT02.
- [15] Takeda K, et al., 2019 J. Phys. D Appl. Phys. 52 165202
- [16] Nomura Y, et al., 2017 Journal of Surgical Research 219 302
- [17] Shimizu T, et al., 2019 Jpn. J. Appl. Phys. 58 090906
- [18] Shimizu et al., 2020 submitted to AIP advances
- [19] Martinez L, et al., 2019 Plasma Sources Sci. Technol. 28 115002
- [20] H. Sakakita, et al., 2020 submitted to J. Phys. D: Appl. Phys.
- [21] H. Sakakita, et al., submitted to Jpn. J. Appl. Phys.
- [22] H. Sakakita, et al., submitted to AIP Advances