

プラズマ誘起バイオマテリアルの表面反応とプラズマ医療への展開

Extended Abstract of the Japan Society of Applied Physics

名大工 ○石川 健治, 竹田圭吾, 橋爪博司, 田中宏昌, 近藤博基, 関根誠, 堀勝

Nagoya Univ. ○Kenji Ishikawa, Keigo Takeda, Hiroshi Hashizume, Hiromasa Tanaka,

Hiroki Kondo, Makoto Sekine, and Masaru Hori

E-mail: ishikawa.kenji@nagoya-u.jp

プラズマプロセスは、放電によって生成する多様な中性原子・分子、電子、イオン、光といった粒子がシースを介して表面に照射される状況で化学反応が進行し、非熱平衡な反応場が材料表面に構成されている。この特長は熱プロセスに因らないことにあるだろう。半導体プロセスでは低圧 (~10Pa) 下でプラズマを利用して、熱プロセスでは為しえない低温下の材料表面上で、化学気相堆積 (CVD) による良質な膜形成やエッチングによる垂直に微細加工が実現されている。一方、これまで大気圧下でのプラズマは熱平衡状態になりやすかったが、近年、低温非平衡大気圧プラズマの理解が進み、その生成が安定になされるようになった。このような状況で、これまで熱に弱かったポリマーやバイオマテリアル、生体などがプラズマプロセスの対象となっている。

しかしながらプラズマを利用した非平衡反応場における化学反応は複雑であり、その完全な理解はなかなか進んでいない。そのため、プラズマの粒子がシースを介して入射して、反応生成物に至るまで、反応場の初期状態から時間を追って変化する経時変化を解明する必要がある。すなわち、プラズマ生成する反応活性粒子の表面フラックス、該粒子との相互作用によって生じる材料上のダングリングボンド (欠陥)、そして反応した結果に生じる表面変性や脱離化学種の形成に至る一連のプロセスを実時間その場観測する要求がある。そこで、我々独自のアプローチとしてダングリングボンドに着目し、プラズマ誘起表面反応過程の解析を進める上で、プラズマとの相互作用によって表面に生じるダングリングボンドの電子スピン共鳴 (ESR) 装置による実時間その場観察していく方法を開発した[1]。

ESR では、ダングリングボンドに隣接する核スピンとの超微細相互作用により原子レベルの分子構造を解析でき、一例として、テトラフルオロエチレンポリマー (PTFE, $-(CF_2)-$) の側鎖のフッ素の遊離と、主鎖の C-C が切断とを区別して観察できる。このポリマーから $\equiv C-F$ を切断し、F を遊離するのは困難なプロセスであるが、プラズマによって真空紫外光と水素原子が共存した場合に、光照射のみの場合以上に相乗的な効果で F の遊離が引き起こされる [1]。これは光化学だけでもラジカル重合といった既存の科学で説明されず、新しいプラズマナノ科学の範疇である。

生体では様々なフリーラジカルが存在し、カビ胞子の ESR 観察ではキノン様のラジカルが検出された。プラズマ殺菌が胞子の不活化を誘導する時、このキノンラジカルの消失がみられる。このように、生体上表面で生じる複雑なプラズマとの相互作用を分子レベルで解析した [2]。これは食品衛生上のプラズマ殺菌処理の理解への応用であるが、食肉の殺菌でもプラズマがどのような変性をもたらすのか、その解明に有効な手法となっている。低温プラズマ照射が特徴的な血液凝固を生じさせ、プラズマ医療分野での止血装置への展開も注目に値する[3]。このため、食肉成分である血液中たんぱく質 (ヘモグロビンやアルブミンなど) とプラズマとの相互作用の解明にも研究を展開している。プラズマの照射下で生じる材料表面の分子レベルな挙動の解析結果に関する研究について紹介する。

謝辞 ポリマーの解析について堀邊英夫 (大阪市立大学) に感謝いたします。研究の一部は科研費 24108002 「プラズマ医療科学の創成」によって支援された。

参考文献 [1] K. Ishikawa et al., J. Phys. Chem. Lett. 2, 1278 (2011); [2] K. Ishikawa et al., Appl. Phys. Lett. 101, 033704 (2012); [3] Y. Ikehara et al., J. Photopolym. Sci. Technol. 26, 555 (2013).