

論文の内容の要旨

論文題目：ヘリウムプラズマジェットの活性種レーザー分光計測及び活性種供給量に基づく細胞反応の評価

(Measurement of reactive species in a helium plasma jet and assessment of cell reaction based on reactive species dose)

氏名 米森 星矢

大気圧ヘリウムプラズマジェットは熱負荷の小さいプラズマであり、人体などに照射しプラズマプロセスを行うことが可能である。近年ではこのプラズマによるがん治療や殺菌・創傷治療など、新しいプラズマ応用であるプラズマ医療が世界的に注目を集めている。本研究ではプラズマを用いる付加価値の大きいプラズマ医療応用の中でも主にごん治療に注目した。プラズマ医療プロセスでは、イオンやラジカルなどの活性種が重要な役割を果たすと考えられており、活性種の計測による生成量・生成機構の解明や生物実験を通じた有効活性種の同定・生物応答が研究されている。一方で、プラズマ医療の実現に必要な不可欠な「プロセスの安全性」や「プロセスの制御」が確立されておらず、臨床応用への大きな課題である。

本研究ではそれらの問題点を解決するため、様々な活性種の供給量(dose)の計測を行った。また、細胞実験を行い活性種の投入量とがん細胞の挙動の関係を評価した。計測実験では、がん治療に特に重要であると考えられているOH, O原子, NOなどをレーザー計測及び発光分光法を用いて計測した。計測の結果、OHラジカルの生成密度は $10^{12} \sim 10^{13} [\text{cm}^{-3}]$ 程度であり、O原子、NOの密度はそれぞれ $10^{14} \sim 10^{15}$, $10^{13} \sim 10^{14} [\text{cm}^{-3}]$ であることが明らかになった。今までプラズマジェットの計測実験は実用とは異なる条件での報告が多かったことに対して、本計測結果は医療に近い条件での計測結果であり対象への供給量を求めるにあたり不可欠な知見である。また、計測実験によりOHラジカルの生成には照射対象表面の H_2O と周囲の空気の巻き込みが、O原子、NOの生成には周囲から混入する空気が大きく影響していることが明らかになった。活性種の生成機構はプロセスの制御に向けて必要な知見であり、有効な活性種の同定に向けても重要な知見である。この計測結果に基づき、各活性種の供給フラックスを算出したところ、OH, NO, Oでは異なる分布を持つことが明らかになった。

また、活性種の供給量による医療プロセスの制御に向け、細胞実験を行った。これは主に、「各種活性種供給量の変化と細胞応答の変化」の計測を目的としたものである。プラズマジェットはその照射条件によって活性種の供給量を変化させることができる。プラズマ照射とがん細胞数の減少から、活性種による細胞死誘導を評価した。その結果、放電ガスを加湿した場合、すなわちOHラジカルの生成量が増えた場合には、細胞死が効率的に誘導されることが明らかになった。活性種の投入量と細胞死の関係を評価したところ、OHラジカルのように H_2O に由来する活性種が高い医療効果を持つことが示唆される結果となった。

プラズマ医療分野では、物理、化学、工学、生物学、医学など多くの研究者が学際的な研究を行っている。しかし、それぞれの研究成果を評価する同一の尺度が存在しなかった。本研究は医療効果を評価/制御する尺度としての活性種の供給量を計測した重要な事例であり、今後の当該分野の発展に大きく貢献するものと考えられる。