

論文審査の結果の要旨

氏名 米森 星矢

本論文は「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」と題し、6章から成っている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。近年注目を集めているプラズマ医療の実用化には、治療原理の解明が必須である。プラズマ医療では、プラズマで生成される O、OH、NO などの活性種が治療に寄与していると考えられているが、どの活性種をどの程度照射すれば治療効果が得られるかという、治療原理解明に必要なデータはほとんど得られていない。本論文はこの点に着目し、患部に模した固体表面や液面にプラズマを照射したときの活性種密度と投入量をレーザー計測で求め、活性種に関する定量的な値を得るとともに、それら活性種の生成機構を明らかにする。また、実際に癌細胞にプラズマを照射し、活性種投入量と細胞の不活化率との関係の定量化を試みる。

第2章は、実験原理と実験装置の説明である。本研究では、プラズマ医療で広く用いられる大気圧ヘリウムプラズマジェットを使用する。石英管から空気中にヘリウムを流し、このヘリウム中でプラズマを発生させる手法である。活性種計測にはレーザー誘起蛍光法 (LIF) を用いる。

第3章は、活性種密度の LIF 計測である。患部を模した固体表面と液面にプラズマを照射し、癌治療に効果があると考えられている OH、O、NO の3つの活性種を計測している。また、プラズマジェット中に拡散した周辺空気の混合比が活性種密度に強く影響するため、これも LIF 計測している。活性種密度と空気混合比の二次元分布計測結果から、周辺空気中の O₂ や N₂ から生成される O と NO の密度が、空気濃度の比較的高いプラズマジェット周縁部で高くなることを示している。一方、OH はプラズマの中心部で密度が高くなっており、配管内でヘリウムに混入した微量水蒸気から OH が生成されていることを示している。また、拡散空気に含まれる水蒸気も OH 生成にとって無視できないことも示している。プラズマ医療では患部に活性種がどの程度到達するかが重要なため、照射表面への OH、O、NO のフラックスも見積もっている。また、医療では湿潤表面にプラズマを照射するため、表面からの蒸散水蒸気が活性種密度に与える影響を無視できないことを指摘し、この蒸散水蒸気が活性種密度に与える影響も計測している。この他、ヘリウム中に O₂、N₂、H₂O を微量混入したり、ヘリウム流量や患部とプラズマ装置の距離を変えた時の活性種密度も測定している。このようにヘリウムプラズマジェットの活性種密度やフラックスを定量的に測定したり、照射表面の湿り気やその他様々なパラメータが活性種密度に与える影響を計測した例はほとんどなく、プラズマ医療の活性種を定量的に評価するうえで重要な結果が得られている。

第4章は、放電電圧の極性および大きさを変えた時の活性種計測である。OH密度は極性や放電電圧にほとんど依存せず、一方O密度は負極性のみ電圧とともに著しく増加することを計測している。また、NO密度は負極性のみ、電圧とともにわずかに増加している。放電の進展をカメラで計測した結果と合わせ、O原子は放電パルス立ち下がりに発生する放電で生成されることを示している。このように、電圧の極性や大きさを調整して活性種の密度比を変えられることから、治療に応じて必要な活性種を増やし、有害な活性種を減らすといった選択的な活性種生成が可能であることも示している。

第5章は、癌細胞へのプラズマ照射実験である。ここまで得られた活性種の測定値を実際のプラズマ医療にどのように適用するかの実例として、培養液中の癌細胞にプラズマを照射し、細胞の不活化率と活性種投入量の関係を示す指標を提案してOH、O、NOについて値を求め、OHと不活化率に相関がありそうなことを示している。将来、治療に効果的な活性種が判明すれば、このように求めた指標を用いて治療効果と活性種投入量の関係を定量的に評価できると述べている。

第6章は総括で、本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに、本研究はプラズマ医療に用いられるヘリウムプラズマジェットのOH、O、NOの密度および照射対象への供給量を計測し、各活性種の生成機構および放電条件が各活性種密度に与える影響を明らかにするとともに、癌細胞への照射実験で得られたデータを用いて活性種供給量と治療効果の関係の定量化を試みるなど、プラズマ医療における活性種の定量化を行った点で、先端エネルギー工学、特にプラズマ応用工学に貢献するところが大きい。

なお、本論文第5章は、片岡一則氏、三浦裕氏、水野和恵氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1,966 字