

審査の結果の要旨

氏 名 中川 雄介

プラズマ反応機構の重要なパラメータである OH ラジカルの挙動をレーザ誘起蛍光 (LIF) 計測によって検討した結果をまとめたものであり、「大気中に存在する低濃度有害ガスの放電プラズマによる分解反応機構の解明を目的とする OH ラジカルのレーザ誘起蛍光計測」と題し、全体で 6 章から構成されている。

第 1 章は序文で、大気圧非熱平衡放電プラズマが低濃度揮発性有機物分解に必要と考えられているか、また、その解析にラジカル計測が必要と考えられるかといった本論文の研究背景と本論文全体の構成を示している。

第 2 章は、「レーザ誘起蛍光法による OH 計測」と題し、本研究で最も重要なキー技術である OH ラジカル計測にかかわるレーザ誘起蛍光法の原理、本研究で中核として使用する Optical Parametric Oscillator (OPO) レーザの特性、実際の光学系の測定装置、分解能等に対する検討、結果の解釈等に使用した基本式などを示してある。

第 3 章は、「針-平板パルスコロナ放電における OH 計測」のタイトルで、針対平板電極構造 (放電ギャップ長 13mm) でのパルス放電における OH ラジカルの密度分布を 282nm レーザ励起誘起蛍光法で計測した結果についてまとめたものである。水分蒸気分圧 2.3%、ピークパルス電圧 29kV、放電後 3 μ s での OH 密度が、針直下で $1 \sim 2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ であることを確認している。また、空間分布から、殆どの OH ラジカルが、2 次ストリーマ中で形成されていること、特に、窒素ガス中では 1 次ストリーマ中での OH 生成は極めて少ないこと、低湿度で水分濃度を増加させると OH 生成量は比例して増加するが、相対湿度が 30% を越すと OH の増加に飽和傾向が見られることを明らかにしている。LIF 信号の励起レーザ波長依存性から OH ラジカルの回転温度の時間変化計測に成功している。放電終了後、回転温度が上昇し、数十 μ s 後に 100 度ほど増加すること、湿度が高いほど温度上昇が早いことを実測し、振動緩和現象は、水分濃度によって増加するとの予測を実証できたと主張している。湿度が高いと、一部の分解反応が促進される報告を裏付けた結果である。また、放電直後 (20 μ s) は、放電張り電極直下で温度上昇が大きいこと、100 μ s 程度経過すると OH ラジカル回転温度が場所によらず一定になっていくことが実測されている。

第 4 章は、「同軸円筒リアクタ中のバリア放電における OH 計測」と題し、中心に外周に沿ってシャープなエッジを有するボルト型電極を中心に据えた実用的な同軸形状の円筒型プラズマリアクターを試作し、その内部にレーザ光を導入し、実用形状装置での LIF 計測を行った結果について報告している。パルスバリア放電駆動時、OH ラジカル密度は、水分濃度 2.3%、励起ピークパルス電圧 28kV、放電後 3 μ s 後の OH ラジカル密度 $5 \sim 10 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ の実測例を紹介している。電極からの距離依存性などからこの場合にも OH ラジカルは主に 2 次ストリーマ中で形成されることを明らかにしている。針対平板の場合と同様に、放電後に回転温度が上昇する現象が観測さ

れている。以上は、正極性パルスでの結果であったが、負極性パルスでもほぼ同様の結果が得られており、極性の影響はほとんどないことを明らかにしている。実用化装置では交流で駆動する必要があるが、動作上問題ないことを確認している。

第 5 章は、「有害ガス処理における OH ラジカルの影響」で、第 4 章の研究で使用した内部を LIF 観測可能なプラズマリアクタを用いて、実際に低濃度トリクロロエチレン (TCE) を含むガスで反応実験を行った結果について紹介している。実験では、TCE が含まれた空気では、湿度が上がると現実の TCE 分解率も悪くなることから、水分は反応を邪魔すると予測されていたが、TCE の存在で OH ラジカルの減衰が加速されることが認められ、TCE と OH との反応が存在することも明らかになったとしている。

第 6 章は、「まとめと今後の展望」で、これまでの研究結果のまとめと今後必要と考えられる研究テーマについての考察結果が述べられている。

以上これを要するに、本論文は、大気中低濃度で存在する有害ガスの分解除去に有効な大気圧非熱平衡プラズマの反応機構を解明する目的で、OPO レーザ励起による OH ラジカルの誘起蛍光計測技術を用いて、針対平板電極におけるコロナ放電下での OH ラジカル分布の時間変化を正確に測定し、OH は主に、二次ストリーマで形成されること、OH ラジカルの回転温度は、放電後、数十マイクロ秒後に数百度に達し、分解反応を促進させることなどを明らかにすると共に、ボルト型電極を用いた実用型非平衡プラズマ装置内部での OH ラジカル計測に成功し、OH ラジカルと有害ガス分解反応の関係も世界で初めて明らかにしたもので電気工学上貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。