



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大気圧直流グロー放電における発光の自己組織化メカニズムに関する研究
Author(s)	宮崎, 俊明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16844号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16844
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99689
Type	doctoral thesis
File Information	Toshiaki_Miyazaki_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	氏名	宮崎 俊明
審査担当者 主 査 准教授	白井 直機		
副 査 教 授	佐々木 浩一		
副 査 教 授	富岡 智		
副 査 准教授	富田 健太郎		

学位論文題名

大気圧直流グロー放電における発光の自己組織化メカニズムに関する研究
(Studies on the self-organization mechanism of luminous patterns in atmospheric-pressure
DC glow discharges)

プラズマと液体の相互作用に関する研究の一つとして、直流放電プラズマを生成した際に、液体陽極表面において発光が自己組織化模様を形成する現象が知られている。本現象は約 20 年前に初めて報告されたが、発光が陽極表面で自己組織化に至るメカニズムについては、いまだ十分に解明されていない。このような背景のもと、本論文では、レーザーを用いたプラズマ診断計測により負イオン密度およびガス温度を計測するとともに、放電容器内のガス雰囲気制御系において、発光の自己組織化が生じる条件を系統的に調査した。さらに、得られた実験結果に基づき、自己組織化現象の反応モデルを構築した。その結果、陽極表面で観測される発光の自己組織化現象は、ガス圧 p と電極間距離 d の積である pd 積によって整理できることが明らかとなった。また、自己組織化模様が形成される条件では、換算電界 E/N が小さく、電子エネルギーが低いことが必要であることを示した。これらの知見に基づいて反応モデルを構築したところ、一般的な自己組織化現象の記述に用いられる反応拡散系の形を有する連立偏微分方程式が導出され、本現象が反応拡散系として理解可能であることを確認した。これらの結果は、直流放電プラズマにおける発光自己組織化現象のメカニズム解明に重要な知見を与えるものである。

第 1 章では、本研究の背景、目的および意義について述べている。

第 2 章では、放電生成装置および放電生成方法について述べるとともに、レーザー計測法および発光分光法の原理を説明している。

第 3 章では、空气中放電における負イオンに着目した診断結果とその考察を示す。自己組織化模様の有無による負イオン密度の差は数倍程度にとどまり、また、酸素以外の電気

的負性ガスである六フッ化硫黄や二酸化炭素を導入した条件では模様が形成されなかったことから、負イオンの存在と自己組織化形成との間に直接的な因果関係はないという結論を述べている。

第4章では、空气中放電においてガス温度に着目した診断結果と考察を述べている。自己組織化模様が形成される条件(電極間距離 $d \geq 5 - 6$ mm、放電電流 $I \geq 30$ mA)では、ガス温度が約 2500 – 3000 K に達する一方、模様が形成されない条件では約 1500 – 2000 Kであることを示し、ガス温度が模様形成を整理する重要なパラメータの一つであるという結論を述べている。

第5章では、ガス雰囲気制御した純 He 中放電の診断結果と考察を述べている。ガス圧および電極間距離が模様形成に影響を及ぼし、 pd 積により模様形成条件が整理できることを示している。また、 pd 積が大きい条件では換算電界 E/N が低下し、電子エネルギーが低くなることが自己組織化形成に重要であるという結論を述べている。

第6章では、電子および Rydberg 状態のヘリウム分子密度を、反応拡散系における二変数とみなしたモデルの構築と考察を行っている。ガス温度および準安定ヘリウム密度分布の計測結果を示すとともに、発光分光計測および粒子のレート方程式に基づく反応モデルを用いて粒子密度分布を計算している。その結果、反応拡散系の形を有する連立偏微分方程式が得られ、本モデルが直流グロー放電における自己組織化現象を再現可能であるという結論を述べている。さらに、空气中放電との共通点および空气中放電における自己組織化メカニズムについても考察している。

第7章では、本研究の成果を総括し、今後の展望を述べている。

これを要するに、著者は、大気圧直流グロー放電における液体陽極表面での発光自己組織化現象の生成メカニズムについて、自己組織化生成条件の精査および反応拡散系に基づくモデル化という観点からの新知見を得たものであり、低温プラズマ研究ならびにプラズマにおける自己組織化現象の基礎的理解とその学理構築に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。