

報告番号	※ 乙 第 7075 号
------	--------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 中・高気圧放電の基礎と応用機器の性能向上に関する研究

氏 名 林 和夫

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、動作点が Paschen minimum の左側（高圧力側）にある放電を利用した機器である銅蒸気レーザ、VOC（Volatile Organic Compounds；揮発性有機化合物）処理装置、気流誘起装置の開発の過程で、あたりに発見された事象を、放電機構の基礎的な部分に立ち返って究明し、その結果をもとに機器の性能向上を果たした。

ガスに高電界を印加して生成される放電からは、光、熱、高エネルギー粒子、化学的に活性な粒子等、さまざまな形態のエネルギーを取り出すことができる。これらは、投入された電気エネルギーが変換されたものであり、放電装置は、投入された電気エネルギーを他の形態のエネルギーに変換するエネルギー変換機とみなすことができる。レーザやオゾナイザなど、高密度、或いは、大量のエネルギーを放出する放電は、ガス密度が高い傾向がある。負圧で動作する銅蒸気レーザの放電を中気圧放電、後者2つは大気圧放電なので高気圧放電と呼ぶことにした。

銅蒸気レーザは、ネオン中に金属銅を蒸発させ生成される円柱状の Cu-Ne 放電において、銅原子の反転分布をつくり、レーザ発振させるものであり、緑色（510.6 nm）と黄色（578.2 nm）の2波長を放出する。発振管1本で数100 Wの大出力が得られるので、原子法レーザ・ウラン濃縮システムにおいて、色素レーザの励起光源として開発が行われた。出力向上のため放電体積の増大を図ったが、断面積が大きくなると、中心部の出力が低下するという問題点に直面した。ネオンに水素を添加するという新しい手法でこの課題を解決した。レーザ吸収法による銅蒸気密度やレーザ発振に関わる励起準位密度の測定、また、励起準位密度の時間変化の数値シミュレーションによって、そのメカニズムを解明した。銅蒸気密度の測定法は、特に高密度原子用に、新たに開発した手法である。

コロナ放電や誘電体バリア放電が発生する空間に、VOC等を含む空気を流して、有害成分を分解することができる。装置規模の大きい燃焼分解方式に比べて、小型の有害物処理装置としての実用化が期待された。性能向上策のひとつが、放電によって生成されるオゾンの利用である。放電で発するオゾンを処理装置内にとどめ、かつ、有害物質と効率良く反応する場を与えるため、放電の後にオゾン分解触媒を置いた。触媒の表面には被処理物質

やオゾンが吸着される。オゾンは触媒によって分解され、活性な酸素原子が生成される。その寄与によって、常温での分解効率が、放電だけに比べて改善された。さらに、酸化触媒を直列に配置して、200℃までの温度領域で分解効率向上を達成した。

コロナ放電に伴い電界の方向に気流が発生する現象は、イオン風、或いは、コロナ風として知られている。高周波誘電体バリア放電によっても気流が発生し、翼面に構成した電極間の誘電体バリア放電によって誘起される表層気流で、気流の剥離が抑制されることが知られている。この放電誘起風を、自由空間に噴出する気流とする電極配置を考案し、発生する気流の性質を調べ、適用案を示した。

第1章では、本研究の対象である銅蒸気レーザ、VOC処理装置、気流誘起装置の放電応用機器としての位置づけを確認し、各装置の開発課題をまとめた。また、放電をエネルギー変換機と見なしたとき、上記3つの装置の動作を考察した。

放電によって、物質を構成する原子はばらばらになり、特別なエネルギー状態（プラズマ）になる。つまり、電離して、イオンと電子が作られ、エネルギーを持った電子によって、原子やまだ結合している分子やイオンは励起状態になる。励起状態からの逆過程で、電磁波（光）を放出する。ガスとしては高い熱エネルギーを持つ。励起された原子や分子は、励起エネルギーを蓄えており、オゾンのような化学的に活性な分子となることもできる。荷電粒子は、引き出して、電磁的にエネルギーを与えると、指向性の良い高速ビームとなる。生成のために投入した電気エネルギーが、いろいろな形態に変換されて放出されるのが放電である。

放電を作る気体の圧力と利用目的を対応させると、本論文で取り上げるレーザやオゾナイザなど、まとまったエネルギーやパワーを取り出したいときや何かの大規模処理に使いたいときは高い圧力にし、半導体プロセスのように微妙に調整したエネルギーの取り出し方をしたいときは低気圧にする傾向にある。

本論文で取り上げる銅蒸気レーザ、VOC処理装置、気流誘起装置は、中・高気圧放電を使って、放電からの大きな、或いは、高密度のエネルギー・アウトプットを期待する装置である。

第2章では、銅蒸気レーザの開発研究について述べる。

大口径銅蒸気レーザにおいて中心部のレーザ出力が低下するのは、口径が大きくなるにつれて中心部のガス温度が高くなり、準安定準位であるレーザ遷移の下準位の密度が高くなるのが原因と予想された。そこで、ネオンに水素を添加して放電の熱伝導率を大きくして、中心部の冷却を試みた。ネオン（圧力 3.33 kPa）への水素の添加割合が1.1～1.5%のとき、もっとも大きな改善が見られた。レーザ吸収法による高密度の銅蒸気密度測定法を新たに開発して銅蒸気密度を測定し、そこからガス温度分布を算出し、中心部のガス温度が低下したことを確認した。同じく、レーザ吸収法による下準位密度の空間分布測定を実施し、水素を添加して、中心部の下準位密度が低下することを確認した。また、0次元シミュレーション・コードを開発し、水素添加時の下準位の緩和について調べた。水素添加によって下準位密度の減少が速くなるが、これは、水素分子の回転と振動準位の励起に電子のエネルギーが食われ、電子温度の低下が速くなることに起因するということが分かった。

第3章では、VOC処理装置の開発研究について述べる。

常温から200℃までの比較的低温領域でVOCを処理する時、放電の適用が有望である。放電空間で生成される励起酸素原子を利用するとともに、オゾンも利用すると、効率的なシステムが構築できる。オゾンとVOC分子間の反応断面積は小さいので、両者が反応するための十分な時間が稼げる場を提供しなければならない。そこで、オゾン分解触媒を放電部の下流に置き、反応の場として触媒表面を提供し、且つ、触媒によってオゾンが分解して生成される励起酸素原子をVOCの酸化分解処理に用いる複合リアクタを試作して性能を評価した。トルエンをおよそ100 ppm含む模擬ガスを流量2.5 SLMで流し、72 J/Lという低電力で処理した。常温では70%の処理率が得られたが、温度上昇に伴って処理率が低下する傾向が見られた。そこで、100℃以上で、酸化分解作用を持つ低温動作酸化触媒を加えて、100～200℃での処理性能向上を図った。その結果、常温から200℃の比較的低温領域で、およそ100 ppmのトルエンに対して、70%以上の処理率を有するリアクタとなった。特に、常温では90%、200℃では95%の処理率が得られた。

第4章では、気流誘起装置の開発研究について述べる。

2本の棒状電極のうち一方の電極をガラス等の絶縁材で覆い、平行にほとんど隙間がないように並べる。2本の電極に高周波を印加し誘電体バリア放電を点ける。すると棒の表面から、放電空間に向かうシート状の気流が発生することを発見した。単位長さあたり3.3 W/cmの放電入力で、電極から15 mmの位置で0.3 m/sの気流発生があり、5 mmの位置の推力は0.3 mNだった。推力は、放電入力とともに増加するが、大入力では飽和の傾向が見られる。噴出の方向は、2本の電極中心軸を通る直線上となる。この電極対を何組か平面上に並べて、ボリュームのある流れを誘起することが可能である。誘電体バリア放電は、直流コロナ放電に比べ、安定で外乱に強い放電である。機械式ファンが使えない微小空間や応答性が求められる分野への展開が期待できる。

第5章では、まとめの章として、本論文を総括する。

中気圧放電として、銅蒸気レーザー発振媒質となる数kPaのNe-Cu放電の研究を行い、また、大気圧放電を応用したVOC分解技術の開発、気流発生技術の開発を手がけた。銅蒸気レーザーの開発では、レーザー発振にかかわる銅原子密度の測定技術の開発を行い、これをもとに、レーザー発振と励起銅原子の関係を明らかにした。VOC分解技術の開発では、トルエンの分解過程で生成される中間生成物を調べ、トルエンの分解過程を明らかにすると同時に、リアクタの性能評価を行った。

本論文は、中・高気圧放電に関する学術的な基盤を構築するとともに、中・高気圧放電応用における重要な課題（大出力レーザー、有害物質分解・除去の高性能化技術、新たな放電誘起気流の発生法の提案）を解決した。