

放電プラズマを用いるたばこ煙の浄化装置の開発

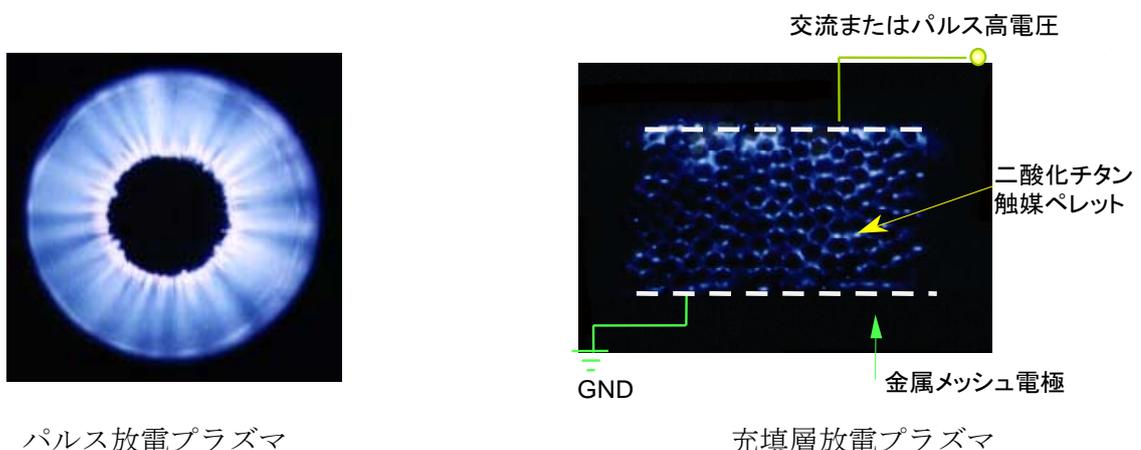
水野 彰*

はじめに

プラズマはガス分子が電子の衝突などで電離した状態のことで、私たちの身近にも存在している。太陽は超高温プラズマで、地球が受けるエネルギーの源である。オーロラは太陽から飛来する荷電粒子が地球磁場に捉えられて発光するプラズマで、たいへん神秘的である。日本では雷は稲妻とも言うが、これは雷がくると稲が良く育つことによるためである。雨で水分が供給されることだけでなく、雷の大電流により土中の菌や虫が破壊され、窒素が二酸化窒素になり固定される。このため、経験的に雷の落ちた後は稲がよく育つことから、平安時代頃より、稲妻と言われるようになったようである。また雷のあとは空気がすがすがしく感じられる。雨で空気中のダストが洗い流されることもあるが、雲ができる際にダストを核にして核凝縮がおき、雨滴や氷となり、これが地上に落ちてくるので、微小な浮遊ダストも浄化される。また、最近プラズマという言葉は、電気製品の宣伝でもよく

使われている。大形で薄い画面のテレビや空気浄化装置などにプラズマが利用されている。蛍光灯やネオン、建築現場などでのアーク溶接、あるいは太陽電池などの半導体薄膜作成にもプラズマは広く用いられている。さらに、将来のエネルギー源を目指し、超高温のプラズマ核融合の研究も行われている。

喫煙科学研究財団の助成により、受動喫煙対策のため、雷を模擬しようと試み、プラズマによる空気浄化装置の基礎研究を進めてきた。このなかで得られた知見をもちいて、家電メーカーがプラズマ空気清浄装置を販売し、世の中で多く使われるようになった。図-1は空気浄化に使うことのできる代表的な放電プラズマである。早い立ち上がりのパルス高電圧を用いたり、触媒充填層に交流電圧を印加することで、ガス浄化用のプラズマを発生できる。まだまだ、雷の模擬は完全にはできていないが、以下に空気を清浄化する観点から大気圧放電プラズマの利用を紹介する¹⁾²⁾。



パルス放電プラズマ

充填層放電プラズマ

図-1 空気浄化に使用する代表的な放電プラズマ

* 豊橋技術科学大学エコロジー工学系

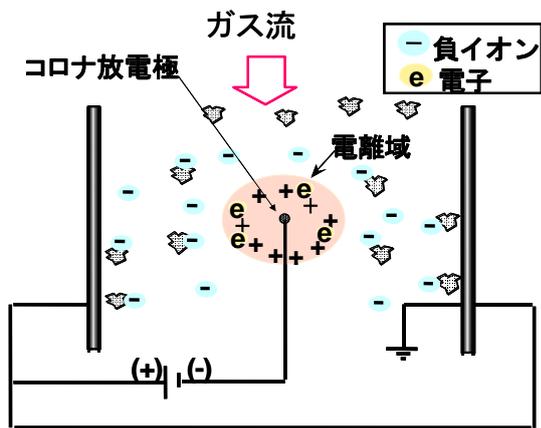


図-2 電気集じんの原理

浮遊ダストを除去するプラズマ

コロナ放電を使う電気集じんは排ガス中のダストの除去に極めて有効で、公害防止にも役立っている¹⁾。図-2 は電気集じんの原理である。この装置は、図の中央に示す線状のコロナ放電極と、両側に示す平板状のなめらかな集じん電極とで構成されている。放電極に直流高電圧を印加する。放電極の近くでは電子が高電界で加速され、窒素や酸素などの分子に衝突し、分子から電子をたたき出して、正電荷を持つ正イオンと多くの電子を作る。これを電離と言う。この電離の結果、正電荷と負電荷の粒子が存在し、全体として中性の状態をプラズマという。

コロナ放電では、放電極周囲の高電界領域のみがプラズマとなり、その発光が冠のように放電極を取り巻く。これがコロナ放電の名前の由来である。

来である。この局所的なプラズマから集じん電極に向かって正または負のイオンが流れ、電極間に浮遊している微粒子を帯電する。その結果、帯電した微粒子はクーロン力を受け集じん電極方向に移動し、微粒子を集めることができる。電気集じんは、このように構造が単純で、信頼性も高いため、発電所や製鉄所など、微粒子を除去すべきところで、広く用いられている。

ガス状汚染物質を分解するプラズマ化学反応

プラズマ中の電離により高いエネルギーの電子が生成され、イオンやラジカル、準安定粒子などが生成され、これらにより種々の化学反応が引き起こされる。特に空気中では、まず多量に含まれる窒素、酸素、水分子などから、反応性の高いOH、O、Nなどのラジカルが生成され、これらがガス状汚染物質の除去反応を起こす。ラジカルとは、酸素原子などのように最外殻電子軌道に不対電子をもち、他の分子との間で電子のやり取りをしやすい、反応性の高い分子や原子である。このためプラズマ化学反応は室温でも化学反応を起しうる利点があるが、最大の課題はエネルギー効率および反応選択性の向上である。このためには放電プラズマと触媒の組み合わせが有効である。触媒表面にガス状汚染物質を吸着するので、プラズマ中での実効的な処理時間を大きくでき、反応効率を高くできることが期待できる。

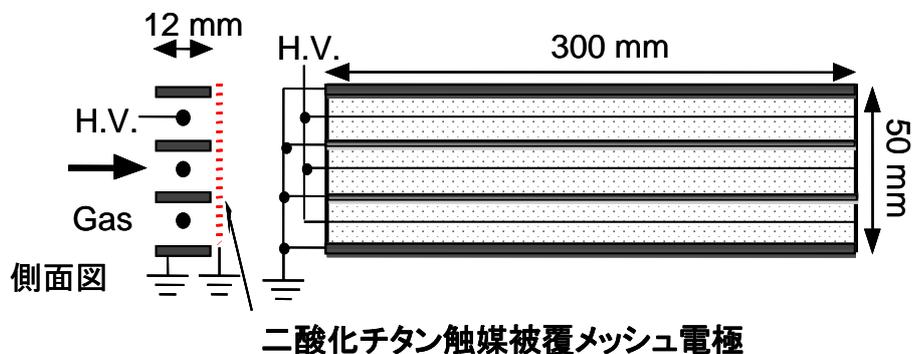


図-3 パルス放電プラズマと触媒を組み合わせた室内空気用脱臭・集じん装置

表-1 放電プラズマ化学反応による中間副生成物 (+は副生成物として検出)

臭気物質	副生成物			
	酢酸	エタノール	メタノール	ギ酸
酢酸				+
トリメチルアミン		+	+	
メルカプトエタノール	+	+	+	
アセトアルデヒド	+	+	+	+

図-3 は室内空気浄化用の、酸化チタンを用いた触媒プラズマ装置である³⁾。線状の放電極と平行平板の集じん電極とから構成されており、放電極に正極性直流電圧とパルス電圧を同時に加えてパルス放電プラズマを発生させる。金属網電極の表面に二酸化チタンを塗布した触媒が放電極の後段に設置してあり、ガス状汚染物質の酸化分解を促進している。

二酸化チタンは光触媒（活性化エネルギー 3.2 eV）として知られている。放電プラズマと組み合わせたとき、プラズマでエネルギーの大きい励起状態の粒子が生成される。これが酸化チタンにそのエネルギーを与えることで活性化していることが最近判ってきた⁴⁾。まだ詳細なメカニズムは解明されていない。イオン化したオゾン分子が触媒表面で解離する際に、その解離エネルギーにより触媒表面を活性化しているとの実験的考察もなされている。

この装置はエアコン用で、ガス処理時間 10 msec、圧力損失 0.5 mmH₂O において、1 ppm のアセトアルデヒドの除去効率 27%、0.5 μm の微粒子除去効率 70% 程度の性能である。放電プラズマに伴ってオゾンも発生するが、それを 0.01 ppm 以下にするよう、放電条件を決めてある。

表-1 にパルス放電プラズマ中における化学反応による中間副生成物の例を示す。触媒表面上でも、より効率が高くなるが、同様の反応が

起こるものと考えられる。これらのガス状汚染物質は最後まで酸化されると二酸化炭素や水、酸などになる。たばこ煙に含まれる多種類の悪臭ガス成分の酸化分解が可能で、分煙装置用にも製品化が進みつつある。

ガス状汚染物質の除去には図-4 に示すような水膜式プラズマ装置も有効である。プラズマ装置の電極面に液体を流し、液膜を作るものである。プラズマ化学反応により、可溶性の中間副生成物に変換される場合が多く、これらを水やアルカリ液で吸収するものである。プラズマ反応場に吸収液を置くことで反応生成物を直ちに除去するため、逆反応が抑制され反応のエネルギー効率が向上する。上記の触媒との組み合わせや液膜式プラズマ装置は、電気集じん作用も持っている。放電プラズマによりオゾンが発生するが、オゾン分子は電子親和力が高く、マイナスイオンになりやすいため電極面に運ばれ、そこに集じんしたバクテリアなどの有機物があれば酸化する。このため殺菌もできる。脱臭と集じん機能を持っているので、空気浄化に有効で、病院や老人ホーム、喫煙所など、多くの場所で使われるものと期待される。

おわりに

今までの工学は、エネルギーや資源を投入し、目的のものを生産し、不要となった廃棄物を外

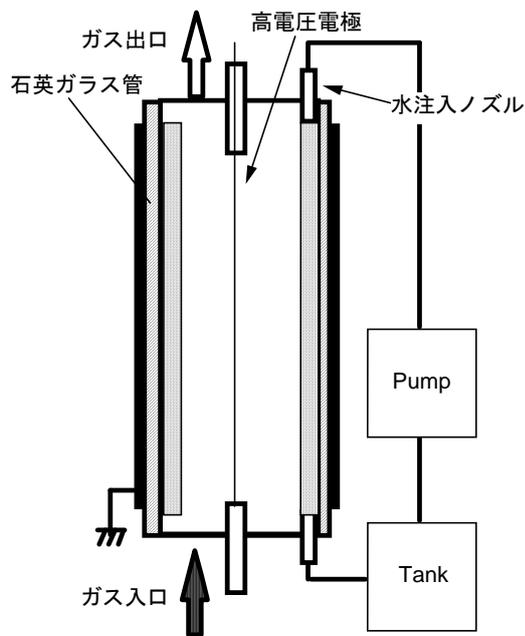


図-4 液膜式プラズマ反応装置

部に放出するというものであった。しかし、今後の技術開発は私たちの生活の質を向上させ、人々の幸せに役立たせることが重要である。ここで紹介したように、プラズマは環境対策技術としてもすでに大きな役割を果たしており、たばこ煙の除去や空気感染防止など、我々の健康を守るための重要な基礎技術である。有用資源の回収や選別など、リサイクルにも今後大きな役割を果たすと期待できる。また微粒子を動かす電気力は、遺伝情報の解析による病気診断など、一見全く異なる分野にも応用され始めている⁵⁾。専門分野の枠を超えた連係、例えば生物と工学との複合領域などに、新しい技術開発の大きな可能性が残されていると思われる。

文 献

- 1) 水野 彰. 低温プラズマによる燃焼排ガス処理. 新版 静電気ハンドブック、静電気学会編、オーム社、東京、pp76-90, 1998.
- 2) 水野 彰. 大気圧放電プラズマと触媒の組み合わせによるガス浄化. 真空 2004; 47: 775-81.
- 3) Mizuno A, Kisanuki Y, Noguchi M, Lee SH, Hong YK, Shin SY, Kang JH. Indoor air cleaning using a pulsed discharge plasma. IEEE Ind Appl 1999; 35: 1284-8.
- 4) 金 賢夏、永長 久寛、尾形 敦. 触媒を利用した低温プラズマ法による VOC 分解技術の研究・開発動向. 環境管理 2004; 40: 1109.

- 5) Mizuno A. Manipulation of single DNA molecules. In *Micromachines as Tools for Nanotechnology*, H Fujita, Ed, Springer-Verlag, Berlin, pp45-82, 2003.