

## 第2節 大気圧プラズマの基礎

東京工業大学 末永 祐磨、守屋 翔平、沖野 晃俊  
東京理科大学/国立がん研究センター 高松 利寛

### 1. はじめに

プラズマによる表面処理は、プラズマ中で生成される化学反応性の高いラジカルや原子、イオン、分子、電子などを固体表面と相互作用させて、固体表面の化学的・物理的性質を変える技術である。プラズマを用いた表面処理技術は、半導体製造プロセスや鉄鋼素材の表面硬化、ガラス表面の洗浄、高分子材料の接着性の改善など、幅広い産業で利用されている<sup>1,2)</sup>。しかし、産業分野で用いられているプラズマは真空設備を備えた低気圧プラズマが大部分を占める。これは、プラズマのガス温度や活性種生成の均一性が高いためであるが、プラズマの密度が低いことや、低圧環境にするプロセスが必要なことなどが対象物の種類やスループットの制限となっている。

そこで近年注目を集めている技術が、大気圧低温プラズマである<sup>3-5)</sup>。これは大気圧非平衡プラズマとも呼ばれ、真空設備を必要とせずに室温から100℃程度のプラズマを生成できるため、従来は不可能であった大型の器材や生体や液体などの様々な対象物に対して、高密度なプラズマ照射を行うことができる<sup>6,7)</sup>。この大気圧低温プラズマを用いた表面処理で最も利用されていると考えられるのは表面の親水化であり、フラットパネルディスプレイや樹脂製品の製造過程で利用されている。また、この大気圧低温プラズマ処理は産業のみならず、医療や農業分野においても殺菌や血液凝固、植物の成長促進など様々な効果が報告されており、応用範囲はさらなる広がりを見せている<sup>8-11)</sup>。

本節では大気圧プラズマの基礎として、大気圧プラズマの発生方法、近年の大気圧プラズマ装置の開発、プラズマ中の活性種測定、表面親水化効果などについて解説する。

### 2. 大気圧プラズマの発生法と利用法

現在、様々な大気圧プラズマ装置が開発されている。大気圧はプラズマ生成に適さない高気圧であるため、原理的に安定で均一なプラズマを生成する事が容易ではない。このため、電流密度を制限する、プラズマの生成を間欠的にする、プラズマガスの流路を適切に設計するなど、電源特性や電極構造に工夫が必要である。また、各種の応用に適した照射法がある。これは、放電が直接対象物に接触するダイレクト型のプラズマ処理法と、プラズマを生成したあとガス流により

## 第2章 プラズマ処理

プラズマガスを吹き出し、放電が接触しないリモート型のプラズマ処理法に大別できる。以下に、これまでに開発されている代表的な大気圧低温プラズマの発生法とその利用法について記述する。

### 2.1 バリヤ放電プラズマ

一対の放電電極の、一方あるいは両方の表面を誘電体で覆い、両電極間に高電圧を印加して放電を発生させる（図1）。電圧を印加すると、一か所に微小な放電が生成されるが、誘電体がコンデンサと同様の働きをするため、誘電体の表面に電荷が蓄積されるとその場所での放電は終了し、別の場所で放電が生成される<sup>12-14</sup>。一か所の放電はすぐに終了して電流密度の高いアーク放電に移行しないため、比較的低温なプラズマを生成することができる。また、放電の発生位置が高速に移動するため、目視では広い領域で一様に近い放電が形成されているように見える。このため、大面積の処理に適している。誘電体を被処理物としてダイレクト型で表面処理する場合が多い<sup>15</sup>。ただしこの場合、厚さなどが不均一な誘電体の処理は困難である。

### 2.2 コロナ放電

図2(a)のように接地した平板電極に対向して高電圧を針に印加すると、針の先端に高い電界が集中し、局所的にプラズマが生成される（グローコロナ）。さらに高い電圧を印加すると、図2(b)のように電極間に多岐に分かれた細い放電（ストリーマコロナ）が観測される。これらの放電現象は総称してコロナ放電と呼ばれている。グローコロナは正・負イオンを容易に生成できるため、集塵器や静電気除去装置、帯電した粒子や物体の除電、イオンドライヤーなどに利用され

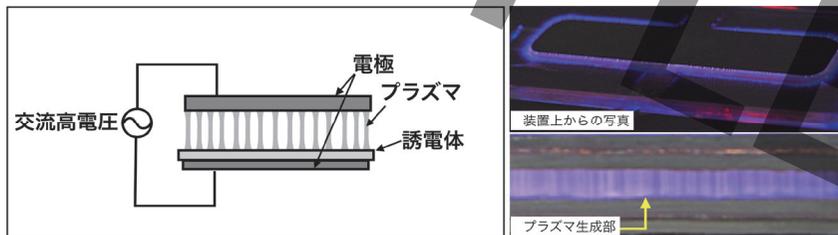


図1 バリヤ放電プラズマ

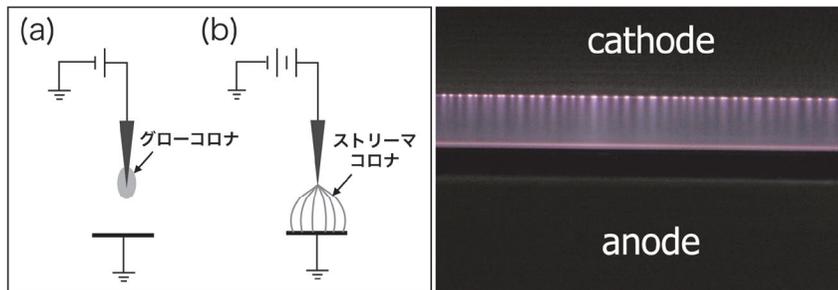


図2 コロナ放電

ている<sup>2)</sup>。

### 2.3 グライディングアーク

一対の対向電極にパルス的な短時間の高電圧を印加すると火花状の放電が生成される。この放電と垂直にガスを流すと、放電で生成された電子とイオンがガス流で移動するため、次のパルスの放電はガスの移動分だけガスの下流に生成される。そして、順次、下流側に放電が移動していく(図3)。ある程度の距離になったところで、放電は最初の位置に戻り、再び同様の動きを繰り返す。様々なガス種で比較的高密度なプラズマを生成できるため、高分子材料等の接着性改善などに広く利用されている<sup>16)</sup>。ただし、放電が被処理物に接触するため、表面に放電損傷が生じる。このため、接着等の前処理工程で利用されている。この放電を、コロナ放電と呼んでいる場合もある。

### 2.4 リモート型プラズマ処理

リモート型の大気圧プラズマ処理は、図4に示すように、生成したプラズマを後方からガスの流れで処理対象に照射する方式である<sup>17,18)</sup>。プラズマ生成部(放電部)と表面処理部が離れている。

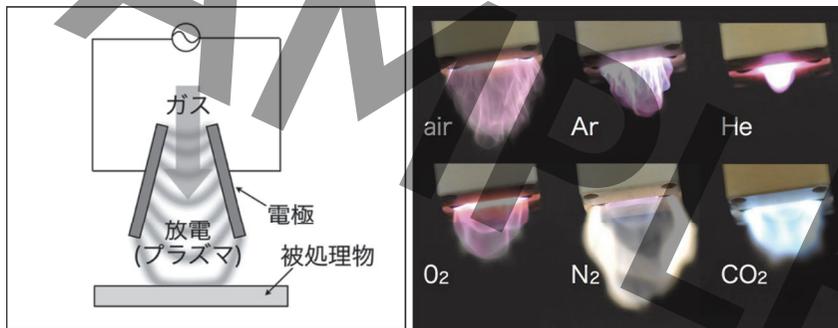


図3 グライディングアーク

写真はプラズマコンセプト東京の許可を得て掲載

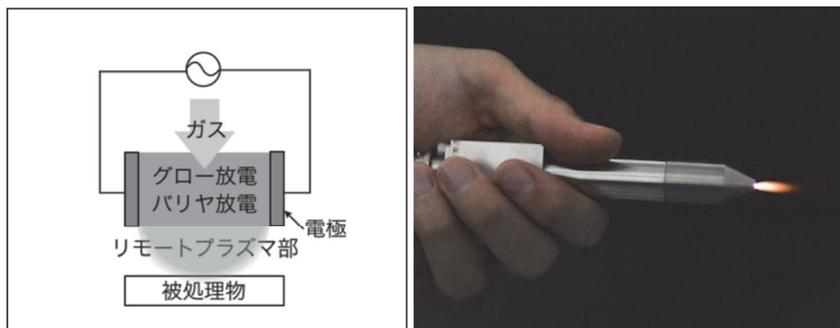


図4 リモート型プラズマ処理

写真はプラズマコンセプト東京の許可を得て掲載