

# プラズマ技術の総論

田代 真一 (たしろ しんいち) 大阪大学 接合科学研究所 助教  
田中 学 (たなか まなぶ) 大阪大学 接合科学研究所 教授

プラズマとは、中性粒子（原子や分子）とその一部が分かれる事で生じるイオンおよび電子が自由に飛び交う状態を指す。超高温が発生する、エネルギー密度が高い、加熱雰囲気に影響されにくい、排ガスが少ない、運転管理がしやすい、クリーンな加熱であるなどの特徴を持つので、様々な分野や製品に活用されている。本連載では、プラズマ技術の総論からプラズマ技術を活用した各種製品まで、全6回の講座でプラズマ技術に関する包括的な解説を行う。

## 1. はじめに

大気圧プラズマは最高数万度にも及ぶ超高温気体であり、加熱源として種々の極めて優れた性質を有していることから、材料加工プロセスや表面処理プロセス、廃棄粒処理、ナノ粒子合成プロセス等の様々な用途で用いられている。

大気圧プラズマは、分子や原子等の中性粒子ならびにイオンから成る重粒子の温度が電子温度に匹敵するレベルにまで上昇する熱プラズマと、電子温度は高温となるが重粒子温度は最高でも数百℃程度である低温プラズマに大別される。

例えば、大気圧プラズマを熱プラズマとして材料加工プロセスに対して適用する場合、プラズマのもつ高いエネルギー密度により被加熱材料の微小面積に対して大きな入熱を施すことが可能となることに加え、プラズマを生成するための作動ガスの適切な選択により、不活性雰囲気や酸化雰囲気、還元雰囲気等を任意に選択することもできる。また、電氣的に迅速なプラズマ制御を行える点も長所として挙げられる。

一方、低温プラズマとして表面処理プロセスに適用する場合、プラズマ中には高密度の重粒子と高温となった電子が存在するため、低圧プラズマと比較して非常に高密度のラジカルを生成することができる。

本連載講座では大気圧プラズマに関する技術の基礎について解説するとともに、プラズマ技術を導入した各種製品の詳細について説明し、実際の導入事例等についても併せて紹介していく予定である。ここで紹介されるプラズマ技術に関する知見が、今後の技術開発の一助となることを期待する。

連載講座第一回目となる本稿では、プラズマの基本的性質や生成方法等について述べるとともに、作動ガスが熱プラズマによる加熱に及ぼす影響についても考察し、最後にプラズマ技術の適用分野の一例についても簡単に紹介していきたい。

## 2. プラズマの基本的性質

### 2.1 プラズマの定義

物質はその温度が上昇していく過程で固体状態、液体状態、気体状態と次々に遷移していく。最も身近な水を例として考えると、大気圧下では沸点である100℃にて水から水蒸気、すなわち液体状態から気体状態へと遷移する。

図1は水蒸気プラズマが熱プラズマであり、後述の様に電子と重粒子が熱的及び化学的に平衡状態であることを仮定した局所熱平衡近似<sup>1)</sup>を満足するものとして計算された、粒子組成の温度依存性である<sup>2)</sup>。

この水蒸気を加熱していくと、2,000 K程度までは水分子の熱速度が増加するだけであるが、これ以上の温度となると水分子間の衝突時の運動エネルギーが分子内の結合エネルギーを上回り、水分子はより小さい構成分子や原子へと解離していく。

さらに温度が上昇すると、約8,000 K以上において衝突時の運動エネルギーが電離エネルギーを上回り、電離により水素原子や酸素原子のイオンならびに電子のペアが生成され、温度とともにこれが顕著に増加していくことがわかる。

この様に、気体状態からのさらなる温度上昇により得られることに加え、イオンと電子から成る荷電粒子