

液中プラズマ — ナノ粒子合成, 水処理, 水素燃料生成への応用 —

堀越 智^{*,**,†}・佐藤 進^{***}

* 上智大学理工学部物質生命理工学科 東京都千代田区紀尾井町7-1 (〒102-8554)

** 上智大学マイクロ波サイエンス研究センター 東京都千代田区紀尾井町7-1 (〒102-8554)

*** 埼玉工業大学工学部情報システム学科 埼玉県深谷市普濟寺1690 (〒369-0293)

† Corresponding Author, E-mail: horikosi@sophia.ac.jp

(2017年3月15日受付, 2017年5月16日受理)

要 旨

多くの読者は、プラズマと聞くと半導体などの製造プロセスや空気清浄機をイメージするかもしれない。しかし、このプラズマを溶液中で制御しながら使用できることがわかり、ナノ材料の液相合成、水処理、水素燃料生成、材料表面改質などに応用すべく基礎研究が盛んに行われている。たとえば、処理の困難な水質汚染物質を容易に分解できることや、ナノ粒子の短時間大量合成を液相で行うことができることから、既存法では困難な状況を改善する技術として期待されている。さらに、化学物質や高温高压容器などを利用しなくても、電気だけで簡便に極限反応場を作り出すことができるため、高い効率と操作性を有する化学反応、環境浄化、材料加工などをデザインすることができる。本総説では、水中プラズマの原理や現象に加え応用応例についても解説を行う。

キーワード：液中プラズマ, 放電, ナノ粒子合成, 水処理, 水素燃料

1. プラズマ

1.1 身近なプラズマ

驚くべきことであるが、宇宙に存在する物質の99%以上がプラズマ状態であり、私たちがよく知る「気体・固体・液体」は非常に希な物質の状態と言える。人類は有史以前から、太陽や炎などのプラズマをエネルギーとして利用してきており、身近なエネルギーの一つと言える。第二次大戦以降の時代からは、人工的に物質をプラズマ状態に変え、それを制御しながらエネルギーを利用する科学が積極的に行われてきた。現在では、さまざまな工学的応用が進んでおり、金属の溶接、材料や電子部品の表面処理や加工、ナノ材料の製作、廃棄物処理など、さまざまな分野で必須の技術として発展した。すでに、自然界および人工におけるプラズマの学問的体系化が電子温度と電子密度によって分類されている(図-1)。

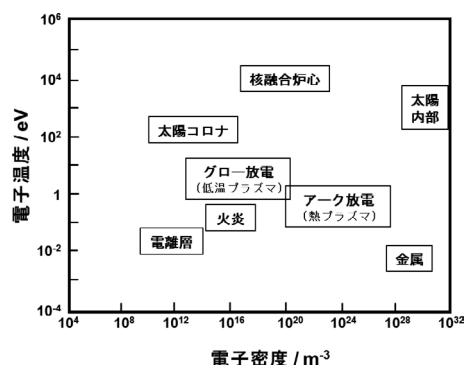


図-1 プラズマの分類¹⁾

GoldstonおよびRutherfordが出版した「Introduction to plasma physics」の第1章には、プラズマとはイオン化されたガスを指し、固体・液体・気体に続く第四の物質の状態であることが明記されている²⁾。実際に、プラズマの実態は正負の荷電粒子を含みながら全体としては電氣的に中性を保つ粒子の集団とされ、図-2のようなモデルが提唱されている。プラズマは中性のガス粒子(原子あるいは分子)のごく一部が電離して電子と正イオンが生成する。さらに中性ガス粒子への電子の付加による負イオンや中性で活性な励起種、ラジカル、光子も生成する。プラズマを分類する呼び名として、高温プラズマ(熱平衡プラズマ)と低温プラズマ(非熱平衡プラズマ)がある。熱平衡プラズマはガス圧力が5 kPa以上の条件で電力を長時間印加しながら発生させるプラズマで、電子温度とガス温度がほぼ等しい状態となっている。原子・分子の電離エネルギーは数eV(数

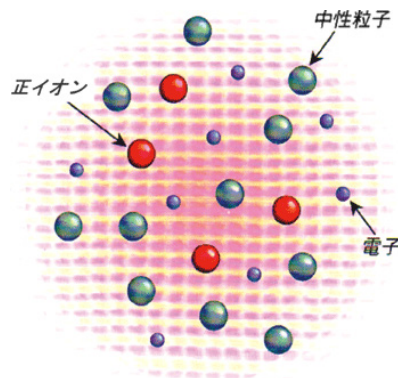


図-2 プラズマのモデル³⁾