

クレスト研究を終えて

研究課題：「ソリューションプラズマ反応場の自律制御化とナノ合成・加工への応用」

(平成 18 年度－平成 23 年度)

名古屋大学エコトピア科学研究所 所長・教授 高井 治

最初に、我々の研究プロジェクトが無事終了し、多大な御指導を賜りました研究総括・堀池靖浩先生に心より御礼申し上げます。中間段階で当初計画通りに研究が進んでいない折り、チームメンバーの変更を含めいろいろ御相談いただき、また常に叱咤激励を賜り、予定通りに研究成果をあげることができましたのは、ひとえに堀池先生のおかげと感謝いたしております。

プラズマは、中性の原子・分子の気体の一部あるいは全部が電離し、プラスの正イオンとマイナスの電子とに別れ、全体として電氣的に中性な、各種粒子の集団です。このプラズマを材料開発に用いる『プラズマ材料科学』は、第二次世界大戦後から現在に至るまで、溶接、溶解、薄膜作製、表面改質、エッチングなどの技術を通し、日本の基幹産業を一貫して支えてきており、今日の日本産業の発展の礎となっています。その実用化してきた技術は、主として真空および大気圧下の気相中で生成したプラズマを利用しています。気相に対し固相である金属中の自由電子と金属正イオンの状態はプラズマとみなせ、固相中のプラズマといえます。このプラズマは表面プラズモン共鳴と呼ばれる現象を示し、この現象を利用した『プラズモニクス』は、近年、表面分析、表面加工、医療などへの応用が進んでいます。

これに対し、液相中で生成するプラズマには、プラズマ科学の観点からは注目が集まっていませんでした。古くから、放電加工、水中溶接、放電電解、放電浸炭、液体絶縁などの技術において、液中の放電現象を扱ってきており、技術の分野では、その有用性が理解されてきました。ところが、その物理・化学的な基礎についてはほとんど研究がなされていませんでした。最近、液中で生成するプラズマ（『ソリューションプラズマ』と名付けました）を、21 世紀の基幹技術として研究を進めていく動向が世界的に起きようとしております。ここでソリューションプラズマとあえて名付けましたのは、溶質と溶媒の組み合わせにより、さまざまなプラズマを生じさせることができ、溶液（ソリューション）の重要性を強調するためです。

ソリューションプラズマは液相中で発生させたプラズマですが、プラズマとして従来のアーク放電、ストリーマ放電、コロナ放電ではなく、主としてグロー放電を用いています。これにより、冷たい液中に冷たいプラズマを作ること

ができます。

私は、今から 37 年ほどまえにプラズマ応用研究を始めた際、シリコンカーバイドの作製に、有機溶媒中でのアーク放電を用い、シリコンを直接炭化させる方法を提案し、科研費を得ることができました。商用電源からスライダックを用いる簡単なプラズマ発生法を用い、安価な方法でのシリコンカーバイドの作製をめざしました。この方法により、シリコンから直接の炭化によりシリコンカーバイドの合成を行うことができました。この明るく年の科研費で、高周波電源を購入することができ、液相のプラズマから気相のプラズマに研究対象を移しました。しかし、この後も液相中のプラズマには興味を持ち続けておりました。このような訳で、ちょうど今から 10 年ほど前に、気相中のプラズマ以外に液相中のプラズマを応用する研究を再開いたしました。液相中のプラズマは、水が重要な生物に関係した研究ともなじみがよろしいかとも考えました。一方、気相プラズマの分野では大気圧グロー放電の研究も進み、さらに新しいパルス電源の開発も進展しました。これにより、37 年前とは異なり、グロー放電を液中で生成させる可能性がでてきました。『冷たいプラズマを冷たい液中で生成する』ことができれば、新たなプラズマ応用が展開できるわけです。幸い、民間企業とともに新規なパルス電源が開発でき、液中でのグロー放電の生成に成功し、CREST のプロジェクト提案につながりました。

我々の研究プロジェクトでは、はじめにソリューションプラズマの物理・化学の基礎を解明し、ソリューションプラズマ場を新たな反応場として「ナノ製造技術」の基盤として役立てることをめざしました。プラズマ診断技術が定まっている気相プラズマとは違い、液相中のプラズマを診断する技術の確立からはじめなければなりません。これに時間がかかりましたが、最終的には、この方法を確立することができました。今後、この方法をより高度化するとともに、新たな診断法の探求を行うことが重要と考えています。ナノ材料の製造に関しては、金属、合金、炭素、酸化物、窒化物などのナノ粒子合成、金属のナノクラスター合成、炭素系ナノ材料への金属ナノ粒子あるいは金属ナノクラスターの担持、メソポーラスシリカのカルシネーション、炭素系ナノ粒子の表面改質、巨大分子の低分子化などの成果をあげることができました。また、工業応用をめざした反応場の大容量化、高速化なども達成できました。ソリューションプラズマでなければできない「キラアプケーション」としては、炭素系ナノ粒子の合成とその上への触媒となる金属ナノ粒子・ナノクラスター担持とを単段階プロセスで行う、金属ナノ触媒担持炭素系ナノ粒子の大量合成があげられるかと考えています。この材料を電極に用いることにより、世界最高水準のリチウム-空気電池の作製を行うことができました。今後、本方法の工

業的な確立と実用化をめざします。

ソリューションプラズマは、気相プラズマとは異なった物理と化学を有しています。また、溶液がプラズマ容器になり、大気圧下での操作により、高速な物質移動が行えるという特長があります。反応化学の面からは、プラズマと溶液間のやりとり、またパルス放電による振動現象のため、さらにプラズマ中とプラズマを囲む溶液との大きな温度差から『新しい反応場』を実現させることができます。溶液化学、電気化学、プラズマ化学にまたがるユニークな反応場に基づく化学の誕生となり、高速反応、新合成・分解反応、非平衡物質合成など、ナノ製造に大いに貢献できます。ソリューションプラズマの物理・化学・応用は、プラズマ研究分野において未踏領域として存在しています。今世紀を支える新しいプラズマ材料技術としてソリューションプラズマを利用できるよう、その基礎科学の解明と、高度に制御する技術開発を引き続き行って参ります。

最後に、本研究プロジェクトを支えて下さいました皆様に心より御礼申し上げます。