

小特集

超臨界流体中プラズマの基礎と応用

Plasmas in Supercritical Fluids — Fundamentals and Applications —

1. はじめに

寺嶋 和 夫

東京大学大学院新領域創成科学研究科

(原稿受付：2010年4月30日)

気体と液体の中間的な状態である“超臨界流体 (Supercritical Fluid; SCF)”は、高い輸送特性と高い溶解度特性を兼ね備えている上に、環境融和性にも優れているため、従来の毒性・燃性を有する有機溶媒に取って代わるグリーンケミストリーを推進する反応溶媒などとして注目を集めている。とりわけ、環境分野・エネルギー分野・生命科学分野・農業分野・エレクトロニクス分野・ナノテクノロジー分野などにおいては盛んに研究が行われており、実用化への取り組みが進められている。

さて、この材料プロセスツールなどとして優位な高反応性・非平衡性を有する超臨界流体をプラズマ化した、超臨界流体プラズマといった新たな物質状態の生成は可能であろうか？また、この特異な高密度雰囲気である超臨界流体中でのプラズマは、現在までに、どのような基礎科学（物理・化学）研究と応用研究が進められているのか？そして、この超臨界流体プラズマには、どのような新たな基礎科学分野の創製、あるいは、応用展開が期待されるであろうか？

本章では、以下の章にて披露される Up to Date の具体的な研究例の紹介の露払いとして、本小特集“超臨界流体中プラズマの基礎と応用”を企画した趣旨を簡単に述べる。

超臨界流体とは、物質固有の臨界点以上の温度（臨界温度）・圧力（臨界圧力）状態にある物質状態であり、巨視的には液相と気相の中間状態を示し、高密度、高拡散性、高溶解度を有することから、前述したように、抽出、廃棄物処理、ナノ物質・構造作製など、多岐に渡る分野において、その応用研究・実用化が進められてきた。これらの優れた反応プロセス特性は、超臨界流体中の微視的な流体構造、分子クラスタリングに起因しており、さらに臨界点付近においては、分子間力と熱運動の拮抗により、ピコ秒のタイムスケールで分子同士が集合・離散を繰り返すことで、密

度揺らぎが生じるため、プロセス反応速度や反応選択率の増大といったプロセス反応の特異性が現れることが知られている。

この超臨界流体中での放電、プラズマの研究は、100年以上も前に遡り、19世紀末から20世紀初頭にかけての高圧放電ランプの研究にその源流を有する。高圧放電ランプの研究者達の認識の中には通常気体ではなく、超臨界流体という新たな物質の状態を媒体として用いているということを明確には念頭に置いてない研究が大半であったものの、高温高圧状態でのそれらの放電プラズマの発生は、まさに超臨界流体中での放電プラズマの先駆けの研究であった。さらに、20世紀の中頃からは、超臨界流体との科学的な認識の下で、各種の超臨界流体中での放電となる研究が進められた。例えば、1970年代に行われた、超電導ケーブルの開発における冷媒かつ絶縁体としてのHeの超臨界状態（臨界温度 5.2 K, 臨界圧力 0.23 MPa）における絶縁特性などに関する研究などが挙げられる。

このような歴史的な背景の下、21世紀の初頭からは、従来の100年以上にもわたる放電工学の立場からの研究ではなく、物質科学、材料科学の立場といった別の視点からの新領域の超臨界流体中のプラズマの研究が開始された。単なる、“超臨界流体中のプラズマ”にとどまることなく、“超臨界流体プラズマ”という新しい物質状態（物質相）の創製をめざした物質科学・材料科学の基礎的な研究とともに、その物質合成や材料デバイスプロセス開発など新たな応用研究が、我が国の研究者を中心に進められている。

その結果、基礎研究においては、超臨界流体中のプラズマ中においても、超臨界流体の特異物性を発現するミクロ構造の源であり特徴といえる、①分子のクラスタリング、および、②密度揺らぎ、が見いだされ、“超臨界流体プラズマ”というべき新しい物質状態の創製の可能性が示され

た。さらに、この特異な物質・材料反応場（分子クラスターリング、密度揺らぎなど）を積極的に利用した、新しい物質・材料プロセスの創製のフロンティア研究が進められ、すでに、数々の成功例が報告されている。

このように、微視的には、液相的なクラスター構造と気相的な単分子構造とが局所的に共存する、“ナノ空間での気液混合相”ともいえる超臨界流体中でのプラズマは、まさに、熊本大学の秋山秀典先生をはじめとして、近年、東北大学の畠山力三先生、名古屋大学の高井治先生、愛媛大学（京都大学名誉教授）の橘邦英先生らが精力的に研究を進められている液中プラズマ（ソリューションプラズマ）の空間的な極限状態であり、21世紀ナノテク時代にふさわしい“新規の液中プラズマ”とも位置づけられている。また、上智大学の岡崎幸子先生、小駒益弘先生が世界に先駆けて新しい道を切り開かれた我が国が誇る大気圧非平衡プラズマを端緒にして発展を続ける、高密度媒質プラズマの新たな局面を開くものとしても、プラズマ科学技術の立場から多くの研究者・技術者の方々から大きな期待を持って迎えられている。

そして、物質・材料科学一般の立場からは、

- ① イオン性の固体の物質・材料科学である“固体イオ

ニクス”，

- ② イオン性の液体，すなわち，液体電解質やイオン液体などの物質・材料科学である“液体イオニクス”，

- ③ イオン性の気体，すなわち，プラズマなどの物質・材料科学である“気体イオニクス”，

に続く，新領域のイオン性物質・材料の科学—“イオニクス”—，すなわち，

- ④ イオン性の超臨界流体の物質・材料科学である“超臨界流体イオニクス”，

の創成を進める研究としての期待も大きい。

第2章では，直流・交流の超臨界流体中のプラズマについて，第3章では，高周波の超臨界流体中のプラズマについて，第4章では，ナノパルス放電での超臨界流体中のプラズマについて，そして，第5章・第6章ではレーザーを用いた超臨界流体中のプラズマについて，各著者の先生方の研究を中心に，その発生，診断，そして，物質・材料プロセス研究などの応用研究が報告される。

この小特集を通じて，近年，我が国の研究者達を中心にして新たな展開が進められている超臨界流体中のプラズマの研究が，多くの研究者・技術者・学生の皆様の関心を引くことを心から願ってやまない。



てらしま かず お
寺嶋 和夫

1982年東京大学工学部卒。1984年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。現在 東京大学 教授(工学博士) 専門は、プラズマ材料科学。



みや ぞえ ひろ ゆき
宮 副 裕之

2009年東京大学大学院新領域創成科学研究科 博士課程修了。現在 東京大学 特任研究員 博士(科学) 専門は、プラズマ材料科学。趣味は、アメリカンフットボール(WARRIORSを応援しています)、サッカー、登山、ハイキング、サイクリング、BBQ。



シュタウス スヴェン
Stauss, Sven

2005年 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (スイス連邦工科大学ローザンヌ校)博士課程修了。現在 東京大学 助教 PhD(Science)専門は、材料科学。趣味は、旅行、プログラミング、水泳、写真。



まえ はら つね ひろ
前 原 常弘

愛媛大学理学部教授。1995年京都大学理学研究科博士後期課程単位取得退学。現在は水中や超臨界流体中でのプラズマの発生やその計測を行っている。愛媛大学ではオレンジプラズマプロジェクト(Orange Plasma = Original Antecedent Generation of Plasmas) というものが立ち上がっていて、そのメンバーとなっている。一方、学科の就職担当として日夜努力しているが、不況にくじけそうになっている。



かわ しま あや と
川嶋 文人

愛媛大学農学部環境産業科学准教授。京都大学大学院工学研究科合成・生物化学科博士後期課程修了(工学博士)。主な研究分野：超臨界プラズマの研究、バイオマス利活用技術開発。大気圧から高圧のプラズマに興味があり、周りの人に助けてもらいながら研究を進めています。趣味は音楽と釣りです。



き や ん つよし
喜屋 武 毅

2002年9月熊本大学大学院自然科学研究科博士課程修了(理学)。2003年1月：総合情報基盤センターにて事業研究員。2004年4月：21世紀COEプログラムにてパルスパワー工学に関する研究に従事。2007年10月より1年間：オールドドミニオン大学にて研究員に従事。現在、熊本大学 G-COE 研究員。研究分野は、高電圧パルスパワー工学、情報教育工学です。



いはら たけ し
猪原 武士

1986年10月25日熊本に生まれる。2009年琉球大学工学部電気電子工学科卒業。2010年熊本大学大学院自然科学研究科複合新領域科学専攻修士課程修了。現在、同大学院の博士後期課程に在籍。現在の研究テーマは、超臨界を含む高圧二酸化炭素中における放電プラズマ現象の観測および診断。趣味は、野球と山登り。熊本人でありながら、沖縄弁を話す沖縄人も好き。



あき やま ひで のり
秋 山 秀典

1979年3月名古屋大学大学院博士課程修了。同年4月同大学工学部助手。1985年4月熊本大学工学部助教授、1994年8月同大学教授、現在に至る。工学博士。2000年 IEEE Fellow, 2000年 IEEE Major Educational Innovation Award, 2003年 IEEE Peter Haas Award, 2008年 IEEE Germeshausen Award を受賞。



はら まさ のり
原 雅 則

2006年3月九州大学定年退職、同大学名誉教授。現在、熊本大学客員教授。九州工業大学客員教授、九州電力(株)総合研究所顧問。興味を持つ分野は、電力エネルギー、放電、高電圧パルスパワー、超電導、静電気工学です。



さ さ き こう いち
佐々木 浩一

1991年名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程電気工学・電気工学第2および電子工学専攻修了。名古屋大学工学部助手、名古屋大学大学院工学研究科助教授、名古屋大学大学院工学研究科附属プラズマナノ工学研究センター准教授を経て、現在、北海道大学大学院工学研究院教授。工学博士。プラズマ応用工学に関する研究に従事。JJAP 編集貢献賞、永井科学技術財団賞等を受賞。応用物理学会、電気学会、プラズマ・核融合学会、レーザー学会各会員。自転車によって札幌の街を探索中。じゃがポックルはたしかにうまいです。



さい とう けん いち
齋 藤 健一

広島大学自然科学研究支援開発センター准教授、大学院理学研究科准教授(併任)、物理化学・材料科学(ナノ構造体創製法の開発と機能創出)、総合研究大学院大学数物科学研究科修了 博士(理学)、趣味：スキー、マラソン、水泳、釣り、お酒、食べ歩き、学会参加。千葉→東京→岡崎→大阪→千葉(この間、カリフォルニア・スタンフォード)→広島と色々な場所で生活し、これからも楽しみです。