

要 旨

1 背景と目的

プラズマは、宇宙の普遍的な物質状態であるとともに、現代文明を支える色々な基幹技術に応用されている。ラングミュアにより命名されて以来、プラズマが持つ新奇な特性は、様々な目的から熱心に研究されてきた。プラズマに現れる多様な現象は、自然の深い原理に気付く鍵となり、それらの探求から一般物理学の概念や方法が数多く開発されてきた。また、プラズマ現象を記述する方程式の研究から多くの数学理論が発見されたことは、プラズマが知の泉であることを証明している。

一言でプラズマと言っても、その状態を特徴付ける温度や密度などのパラメタが取り得る値は 10 桁以上にも及ぶ膨大な広がりを持つ。私たちは、パラメタの値の領域に応じて特徴的な研究目的を見出し、革新技术の開発で世界と切磋琢磨してきた。例えば、超高温プラズマの領域では、核融合炉開発という目的の下で、磁場閉じ込めプラズマや、高強度レーザーによる高エネルギー密度プラズマの研究が展開され、日本は欧米と並んで最先端を切り開いてきた。低温プラズマの領域では、非平衡場において起こる多様な化学反応が関心の的である。半導体製造の鍵となるイオンエッチングは、日本で生み出された技術である。宇宙には、銀河、天体、磁気圏、電離層など様々な領域に幅広いパラメタのプラズマがあり、これらに生起する現象は、時には核融合プラズマあるいは反応性プラズマと共通性を持つ。

今後さらにプラズマサイエンスを大きく発展させ、私たちが世界をリードする成果を生み出すためには、その広大な分野全体を俯瞰する視点と、最先端研究を連携させる知の循環が必要な時代となっている。

本見解の目的は、プラズマサイエンスの多様な進化を幅広い学術の観点から俯瞰し、創発的なイノベーションに繋がる研究テーマを提示することで、この分野の将来像を具体化するとともに、一般物理学としての学際的な展開を促進する施策を提案することである。また、国際的な頭脳循環を生む学際連携のプラットフォームとなり得る学術研究基盤を我が国に構築することの重要性を指摘する。

2 見解の内容

本見解では、はじめにプラズマサイエンス研究の歴史と現状を簡潔にまとめた。プラズマの研究により、一般物理学の視点からはどのような自然の原理が解明されるのか、また、宇宙及び実験室でのプラズマ研究の具体的なテーマは何かについて整理した。実験室プラズマについては、核融合炉の実現を目指した高温プラズマ研究、ハイパワーレーザーによって生成された高エネルギー密度プラズマ、また極限的な機能を目指す反応性プラズマについて記述した。

プラズマサイエンスの各分野では、パラメタ（密度や温度）において 10 桁以上も異なる対象を扱っている。しかし、パラメタの違いを超えて、プラズマサイエンス全体に共通の研究テーマが見出される。本見解では、それら共通の研究テーマを 10 の具体的な課題

(八つの学術課題と技術革新としての二つの課題) としてまとめ、プラズマサイエンスが10年以内での解決を目指して今取り組むべき短期的課題と、今後30年程度の長期的な目標となる課題を提案した。課題のキーワードを列記すれば、遠非平衡系^{*1}、階層性、乱流と揺らぎ、突発性と崩壊現象、自律性とリズム、速度空間に展開する現象、反応場、界面と構造、核融合炉の実現、非平衡プラズマ技術^{*8}である。これらのキーワードには、プラズマに留まらない広い学際性が認められる。実際、プラズマサイエンスは多岐にわたる分野と関わり、波及効果を与えてきた総合科学である。本見解では、数学、複雑系科学、素粒子物理学、天体物理学、地球惑星科学、生物物理学、量子ビーム科学、材料科学・デバイス科学、触媒化学、計算・データ科学、医療科学、植物科学を代表的分野として、これらとプラズマサイエンスの学際的關係を論じた。

次に、本見解ではプラズマサイエンスの今後の発展について論じた。プラズマサイエンスの発展と幅広い学際化に向けて、分野全体を俯瞰する視点から課題を共有し、分野を横断する頭脳循環が起こる強力な学際連携ネットワークの構築が重要であることを提案した。特に、核融合分野においては、開発研究と学術研究の関係を正しく整理し、開発研究と互恵的な学術研究の在り方を明示することが重要である。開発の前線からのニーズと学術の多様な挑戦から生み出されるシーズが会う、より開かれた人と知の循環を実現するための拠点を構築する必要がある。

より良い社会の実現に向けて、プラズマサイエンスが果たすべき役割を述べた。プラズマサイエンスは、現代文明の基幹としての役割を果たしてきた。今後も、エネルギー、環境、パンデミックなど広く社会問題に寄与することが可能である。カーボンニュートラルの鍵を握る革新的技術として、核融合エネルギーの早期実用化への期待が世界的に高まっている。プラズマによる次世代半導体デバイスの加工技術の革新は、情報機器の性能向上に必須であることからDX^{*10}の鍵を握る。反応場としての様々な応用は、環境浄化をはじめパンデミックの抑制などにも貢献できるであろう。

最後に、基本的な学理として、多数の要素が結合した系の集団現象を理解し、制御可能性を探るというプラズマサイエンスの問題認識は、複雑さと多様性が増大する現実世界に向き合おうとする現代の諸科学と方向性をともにする。複雑さと多様性が増大する社会の未来を担う学問として、学際的かつ長期的なビジョンに基づいた多面的な展開がプラズマサイエンスの喫緊の課題である。