

# プラズマ物理実験温故知新

Experiments on Plasma Physics: Experience is the Mother of Wisdom

( Received 27 October 2003 )

## 1. はじめに

プラズマの実験はその物性を調べた1920年代の Langmuir と Tonks のアーク放電の「電氣的に正と負の荷電粒子を含み全体としてほぼ中性である状態」の振動現象を発見した基礎実験から始まっている[1]. この振動はプラズマ振動とよばれ、プラズマとは

- 電氣的に正と負の荷電粒子を含み全体としてほぼ中性であること
- 荷電粒子の存在する広がり、荷電粒子間のクーロン力の及ぶ範囲( デバイ長) よりも大きいこと
- 個々の荷電粒子は不規則な熱運動をして、粒子間の二体衝突が頻繁でないこと

という3つの条件を満たす荷電粒子の集合体と定義された。

このプラズマ研究は、1950年代に太陽や星の中で生じている核融合反応をエネルギー源に利用することが考えられて注目されるようになった。今では国際熱核融合実験炉の設計が終わり建設の議論がなされているが、1960年代にかけているいろいろなプラズマの不安定性を調べ克服しながらソビエト連邦共和国(現ロシア)でトカマク装置が作り続けられ、米国でもトカマク装置(ST)が建設された結果、共通の認識の下でプラズマ閉じ込め物理が議論されるようになったという経緯がある。一方、このようなプラズマ研究の発展の契機に核融合がなったこと

からわかるように、プラズマ研究は宇宙・天体プラズマと深い関係をもっている。ちょうど同じ頃、1950年代から60年代にかけて衛星によって磁気圏や宇宙空間のプラズマを直接測定できるようになり、太陽活動の重要性が認識されようになった。もちろん、この過程で高緯度地方で見られる神秘的な発光現象であるオーロラの解明も進んできた。これらのさまざまなプラズマの物理現象の発見に対して、またプラズマ固有の基本的な性質について実際に実験室プラズマを工夫し、その現象を再現し機構の解明を行ってきた基礎実験の貢献は大きい(例えば、F.F. Chen の教科書[2])。

現在のプラズマの研究対象は、核融合プラズマや宇宙・天体プラズマに加えてさまざまな応用のためのプラズマがある。この応用のためのプラズマ中では、様々な衝突過程・反応があり明らかに先にあげたプラズマの3つ目の条件を満たしていない。また、近年盛んに研究されている「非中性プラズマ」は1つ目の条件を、「強結合プラズマ」は2つ目の条件を満たしていない。そこで、先のプラズマの定義は「協同現象または統計的性質を示す荷電粒子の集合体」に言い換えた方が適切なようである。今後もプラズマの研究対象は広がり、新しい問題が次々に提起されるに違いない。その解決には、新しい実験室プラズマが必要であり、そのためのプラズマの最適化が必要であろう。

Table 1 5つのプラズマの比較

プラズマの種類	特徴	応用のヒント
Q マシーン・プラズマ	完全電離、イオン音速の流れ	低い電子温度 ( ~ 0.2 eV )
ダブル・プラズマ	二つのプラズマの接触	イオン速度分布関数の制御
熱陰極放電プラズマ	高エネルギー電子成分の存在	電子速度分布関数の制御
非中性プラズマ	密度と静電位の関係	長い閉じ込め時間 ( > 1 hour )
小型トカマク・プラズマ	プラズマ電流・磁気流体現象	高い密度 ( > 10 <sup>19</sup> m <sup>-3</sup> )

TSUSHIMA Akira, Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama 240-8501, Japan e-mail:tsushima@ynu.ac.jp  
 TANAKA Hitoshi, Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan e-mail:h-tanaka@energy.kyoto-u.ac.jp

この集中講座は、これまで多くのプラズマ現象を実験的に調べるためにそれぞれ適した実験室プラズマを工夫してきた先人の努力を概観して、今後の私たちの参考にしたいという思いつきから企画したものである。紙面に限りがあるので、Qマシンのプラズマ、ダブル・プラズマ、熱陰極放電プラズマ、非中性プラズマに加えて小型トカマクのプラズマを取り上げることになった。それぞれの詳細については2章から6章に解説されているが、特徴をTable 1にまとめてみたので参考になれば幸

いである。

(横浜国立大学大学院工学研究院 津島 晴,  
京都大学大学院エネルギー科学研究科 田中 仁)

### 参考文献

- [ 1 ] G. Suits, *The Collected Works of Irving Langmuir* (Pergamon, 1961).
- [ 2 ] F. F. Chen, *Introduction to Plasma Physics* (Plenum Press, 1974) 内田岱二郎訳, プラズマ物理入門, 丸善.