

工学研究科・電子情報エネルギー工学専攻 電磁流体工学講座



研究室紹介

堀池 寛*

Electromagnetic Fluid Engineering Laboratory, Department of Electronic,
Information Systems and Energy Engineering, Graduate School of Engineering

Key Words : magnetohydrodynamics, plasma, liquid metal, fusion, energy

1. はじめに

本専攻電磁エネルギー工学コースは大学院重点化により平成8年度に発足し、核融合工学講座¹⁾と電磁流体工学講座の二講座が新設された。電磁流体工学講座では、核融合プラズマのシミュレーション、イオン源プラズマやビーム輸送、液体金属の磁場中の流動挙動と云う電磁流体の振舞いの基礎的な研究を通して、エネルギー研究に資することをめざしている。

2. 核融合用大電流イオン源

1980年代に世界で大型のトカマク(磁場閉じこめ核融合装置)が建設されていた頃、これらの大型の核融合プラズマを加熱する有力な方法として中性粒子ビーム入射が注目され、イオン源の大型化、高出力化の研究開発競争が行われた。その以前には大型といえども高々100mA程度しか得られなかったものが、短期間に50A級のイオン源が実用化された。それは従来は中央に1つあるだけであったビームの加速孔が、一枚の電極上に多数の孔をあける様に改良した隠れた発明のおかげであると考えている。これにより大型イオン源の研究とは静かで大面積のソースプラズマを生成することと、多数の加速孔から取

束性の良いビームを引き出すという2点に集約され開発が一気に進んだ。当時はソニーのウォークマンなど小型オーディオ用に高性能の希土類磁石が普及してきた時期でもあり、日本製の強力永久磁石によってプラズマを閉じこめようという発想が生まれ、磁気多極型イオン源が誕生した。このイオン源はその名の通り、ソースプラズマの生成室の周りを永久磁石で隈無く覆ったものである。従来はプラズマが壁に自由に接触して損失し、また逆に不純物が自由にプラズマに混入していたが、壁を磁場という毛布で覆うことによりプラズマや電離電子の損失を防ぎ、不純物レベルも低く、従来はできなかったような静かで安定なプラズマを非常に低いガス圧力で得ることができるようになった。またプラズマの損失を最小に抑えるには陰極の構造が問題で、従来のデュオプラズマトロンのヘッド部を取り付けたイオン源も考案された。

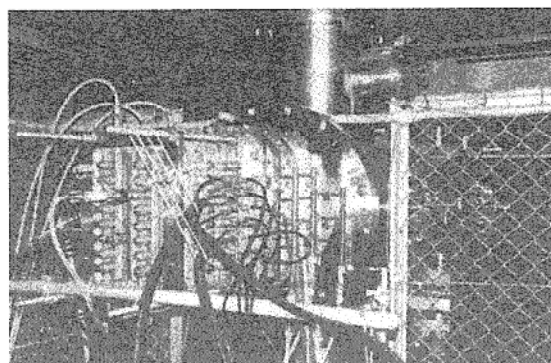


図1 磁気多極型イオン源



* Hiroshi HORIIKE
1949年12月27日生
昭和50年大阪大学大学院工学研究科
修士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科、
教授、工学博士、核融合工学・原子力
工学
TEL 06-6879-7884
FAX 06-6879-7363
E-Mail horiike@nucl.eng.osaka-u.
ac.jp

磁気多極型イオン源の難点は、永久磁石を多数配列するため装置の完成後に調整が殆ど出来ないの、新規なものの製作が非常に難しいことである。この

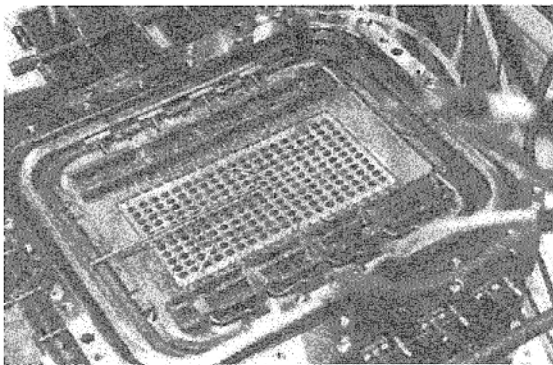


図2 多孔型加速電極

ため優秀なイオン源であるにもかかわらず一般産業への普及が遅い。これを克服するためソースプラズマの生成特性の研究をすすめ、設計データを蓄積して行くことが非常に重要である。

例えばソースガスに水素を使うと分子イオンが生成し、加速されたイオンビームは H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ の混合ビームとなる。ここでソースプラズマの電子温度や放電電子の放電室内での分布を変化させると、分子イオンの成分比を調整することができる。水素ガスを電離した直後は分子イオンが多く、少し時間が経過すると分子イオンが複数のプロトンに解離するので、加速電極の近くで電離が進むような配位にすると分子イオンが多くなる。加速電極の近くで電離が進まない配位にするとプロトンが多くなり、プロトンの割合が95%を越えるような水素ビームを得ることもできる。

水素の負イオンビームも生成できる。水素の最外殻電子の付着電位は 0.75eV と非常に小さいが、放電領域内で電子温度に勾配のあるプラズマを作ることにより水素の負イオンビームが得られる。負イオンビームはその特性上、中性ビームへの変換効率が高いので、これからの核融合プラズマ用の中性ビーム入射装置になくてはならないものである。負イオンの効率良い生成の鍵は、ソースプラズマ生成部を横切る磁場によって高温の電離電子を抑制し、加速電極に向けて静かで低温のプラズマを拡散させることにある。負イオンはプラズマの中で生成しているものの同時に高速度で解離している。従って負イオンの解離の進まない条件、即ち電子温度が 1eV 以下の高密度プラズマの生成が重要である。

また加速された負イオンの電子を剝離して中性ビームに変換するのに、低温のプラズマを利用すれば、電子が二個とも剝離され正イオンになってしまう過

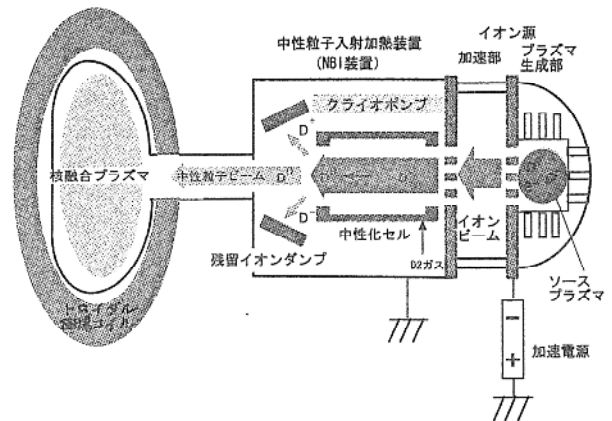


図3 プラズマ実験装置と中性粒子入射装置

程を防ぐことができ、変換効率を上げられるので、ソースプラズマ生成部の知見を応用して中性化プラズマの研究も行っている。この様に基礎的なプロセスを色々積み上げて新しいものを構築する楽しみの多い分野と考えている。

3. 核融合プラズマの解析

核融合プラズマの実験研究は大型のプラズマ閉じこめ装置に主力が注がれており、日本では茨城県の日本原子力研究所や岐阜県の核融合科学研究所に大型の装置が建設され実験が行われている。大学の講座レベルの研究としては、これらの研究所とネットワークで接続してデータを交換することにより、実験に合わせた数値解析を行いプラズマの研究に寄与することができる。特に最近のトカマク型プラズマ実験装置ではドーナツ型のプラズマの断面を単純な円形ではなく上下に長い楕円形状にしたり、あるいはD型断面にすると閉じこめ性能が向上することが知られている。これはドーナツの中心軸に近い方が磁場が強いため、より磁場の強い領域にプラズマを作れば性能が上がるということである。

この様なプラズマの性質をコンピューターを用いて解析する手法は大きく分けて2種類ある。一つは粒子シミュレーションと呼ばれるもので、運動論的效果を含み、プラズマの局所的性質を調べるのに適している。もう一つは流体シミュレーションと言われるもので、プラズマの大域的振舞を研究するのに用いられる。今までは、計算機の性能の限界からこの様な住み分けが行われてきたが、現在ではトカマクの全領域を含んだ粒子シミュレーションなども行われるようになってきている。その結果、輸送のよ

うな局所的現象を扱う場合でも、トカマクの幾何学的形状などの大域的な効果が大きな影響を与える事が認識されるようになった。

この様な系を数値的に解析する場合、外形形状によってコードの構成を変更するのが普通であるが、それではプラズマ形状を変える度にコードを組み直す必要があり、解析に膨大な手間がかかる。より一般の座表系で粒子シミュレーションを行うためには、基礎方程式が座標変換に対して不変な形になっている方が良い。これには微分形式と言う数学の概念が適しており、運動方程式やマクスウエルの方程式など基本式を微分形式で記述した解析方法を探求している。これを適用してトーラス系全体を自由に形状変換できるPIC(Particle in Cell)コードを作成し、プラズマの複雑な断面形状など幾何パラメータが容易に解析できるよう研究を進めている。

4. 液体金属リチウムの磁場中での伝熱流動

電磁流体力学の応用という点で液体金属の磁場中での流動挙動は基礎的な適用範囲の広いテーマである。液体金属は水やガスなどと比較して取り扱いが難しい点もあるが、原子炉や核融合炉の冷却、宇宙用エネルギー装置の熱媒体として、小型軽量で高密度な熱輸送系を構成できる利点を持っている。液体金属は一般に高温でも蒸気圧が低いので容器が簡単で済み、高い熱伝達係数、熱伝導度によってエネ

ルギー密度が高くとれる。なかでもリチウムは核融合燃料の1つである三重水素を生産するためになくしてはならない物質で、これをそのまま液体として流動させエネルギー輸送系に利用すれば核融合炉の構成が非常に単純化されるなど利点が多い。しかし磁場中を流動するために磁場と相互作用して流動熱伝達的なMHD効果を生ずるという課題がある。このテーマは古くから知られ実験と解析が行われてきたが、実際にリチウムを核融合級の強い磁場中を流動させた研究は無く、本研究室では原子力工学専攻と共同で実験と数値解析を行い、この課題に取り組んでいる。

5. おわりに

プラズマとイオンビームと液体金属という三つの電磁流体を組み合わせてエネルギーを指向した研究を行っているのであるが、他の研究室と比較したとき3Kの印象はまぬがれない。この様な研究がいつまで続けられるのか、これからの日本社会の1つのバロメーターであるかもしれない。

参考文献

- 1) 飯田敏行, 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻, 核融合工学講座, 本報第50巻第3号(1998) p58.

