

核融合とプラズマ制御

水野保則*

1999年2月5日(金)

Abstract

次世代の主流発電方式になるであろう核融合発電の研究は、全世界規模で行われている。そのトップレベルを走っているのが、米国、欧州連合、日本である。日本では原子力研究所のJT-60装置が $Q=1.25$ (核融合エネルギー増倍率)を記録して世界の注目を集めている。さらに、文部省核融合科学研究所は昨年3月に日本初の大型ヘリカル装置LHDでファーストプラズマを点火している。講演では、「核融合とは何か」「プラズマ制御とはどういうことか」の基本から出発して「制御熱核融合研究の現状」までを図面を多用して詳述し、アイディアと発見の積み重ねを示す。なお、以下の文章はページ制約から講演の骨格を記すに留める。

1. エネルギー資源 現在、発電量の85～90%を化石燃料発電が、10～15%を水力・原子力発電が、残りの1%を風力その他の発電がそれぞれ占めている。これら発電の残りのエネルギー資源量を現在の使用量で計算すると石油が50年、石炭が200年、天然ガスが60年、ウランが70年となる。いずれにしても資源の枯渇は避けられない。

2. 核融合のアイディア もし、水からエネルギーを取り出すことが出来るならば、海水があるかぎりエネルギーの枯渇は避けられる。すなわち、地球上に小型の太陽を作ることができるなら、人類はほぼ永遠のエネルギーを手にすることができる(?)。核融合反応エネルギーは、D-T燃料1gで約タンクローリー1台分である。これは、ウラン燃料1gの発生エネルギーの約4倍となる。

3. 核融合反応 原子核同士が融合するとき、その質量欠損分が反応エネルギーとして出力される。核融合反応は猛烈なクーロン反発に対抗し、原子核同士を核力の働く範囲まで近づけなければならない。核融合実験初期にはコライダを使っての反応を考えたが、反応量が少なすぎて全く問題にならなかった。その後ローソンらの核融合条件が整備され、プラズマを利用して実験を行うようになる。

* 静岡大学技術官 プラズマ理工学

4. プラズマって何? ラングミュアは、1928年物質の第四状態である放電管内の発光物質にプラズマと名付けた。プラズマとは粒子の運動エネルギーの最も高い状態であり、宇宙の99%はプラズマに満たされているといわれる。ある領域内のH原子が完全電離プラズマならば、その領域内は原子核と電子のみとなり、核融合反応に一步近づく。プラズマ現象には雷、蛍光灯の発光、オーロラ、アーク放電などがある。

5. プラズマの加熱 プラズマ状態のHを H_e にするには、よりエネルギーを与えてやる必要がある。これは加熱によって実現される。プラズマ加熱方式にはジュール加熱、波動加熱、中性粒子ビーム加熱がある。ジュール加熱は電熱器に、波動加熱は電子レンジの加熱方法に似ている。これら加熱を組み合わせると現在ほぼ1億度まで加熱することができる。

6. 閉じ込め 地球上で1千万度～1億度もの高温プラズマを保持するためには、特別な容器が必要となる。この容器を「閉じ込め」と呼べば、慣性閉じ込めと磁場閉じ込めに大別される。磁場閉じ込め方式はオープン系とクローズド系に別れ、さらにそれぞれミラー形、カスプ形、トーラス形、ヘリカル形に分類される。それぞれの閉じ込め方式にはそれぞれの特徴があるが、現在のチャンピオンデータはトーラス形のトカマクから出ている。

7. 研究の現状 世界の核融合研究の現状は、徐々に核融合炉条件に近づいている。昨年JT-60が臨界プラズマ条件をすれすれ越える、核融合エネルギー増倍率 $Q=1.25$ (換算)という世界一のデータを出した。JT-60のアイデアある高プラズマ圧力Hモード、負磁気シア、完全電流駆動実験等を紹介する。さらに、次世代の実証炉として米国、欧州連合、ロシア、日本が設計を進めてきたITER建設計画から米国が手を引くことになり、この計画が暗礁に乗り上げている。

8. 研究室のねらい 実験で観測されるエネルギー閉じ込め時間は、通常Lモードと呼ばれる比例則に従っている。当研究室のプラズマ実験装置はJT-60を小型化したトカマク装置であり、HAMANA-TIIと命名されている。この装置では、主にプラズマの生成、制御、分光の実験を行っている。私は設計者染谷教授とこの装置を初期から組み立てると共に垂直磁場印加タイミング制御装置、低電圧用低気圧トリガギャップスイッチ、プラズマの位置制御装置、制御ドライブ回路、2段ジュール加熱等の報告を行っている。