

無電極強制対流液体金属ダイバータ Electrode-free actively convected liquid metal divertor

嶋田道也
Michiya SHIMADA

量研機構
QST

核融合炉開発において最重要で最も困難な課題は、ダイバータの熱除去を高効率で行う方式の開発である。ITER（熱出力0.5GW）のダイバータ・プレートは水冷のタングステン材料としている。しかしながら原型炉・商業炉（熱出力1.5-3GW程度）におけるダイバータ技術は未開発である。そこで液体金属中の電極を用いた「 $J \times B$ 方式強制対流型液体金属ダイバータ」を提案し原理検証実験を行なった[1]。本講演では、電極無しで液体金属を対流させることによって高効率の熱除去を行う、より核融合炉への適合性が高い方式「無電極強制対流型液体金属ダイバータ」を議論する。

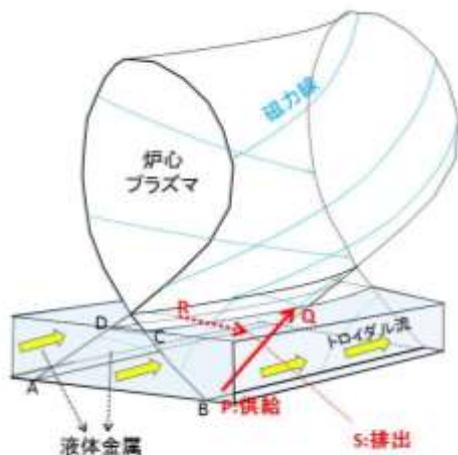


図1. 液体金属ダイバータと炉心プラズマの鳥瞰図

本提案では、ダイバータ・プレートの材料として、タングステンの代わりに、液体金属を用いる（図1の水色直方体の部分）。液体金属を強制的に対流させることにより熱・粒子の除去を容易にする。排出管・供給管はトロイダル周上に多数配備し、外部ポンプで駆動する。液体金属は磁力線方向に動きやすい性質を持っている。というのは、液体金属が磁場を横切って運動すると $v \times B$ 起電力が生じ、磁場を横切る電流 j が流れると、 $j \times B$ のローレンツ力は、運動 v を妨げる方向に働くからである(mhd drag)。容器の内壁を絶縁体で覆うと mhd drag は顕著

に低減できるが、液体金属がトーラス状の場合には、磁場に垂直な流速があるとトロイダル方向に流れる電流の磁場に垂直な成分により、mhd drag が生じるため液体金属は磁力線に沿って動きやすい。

供給口 P から液体金属を供給すると、供給された液体金属は磁力線に沿って流れ、液体金属表面 Q に達し、ダイバータ・プラズマとの接触によって熱せられ、燃料や不純物の粒子を吸収する(図2の ABCD、P,Q,R,S は、図1の ABCD、P,Q,R,S に対応)。外側ダイバータの熱負荷が 200MW の場合温度上昇は最高 700° 程度である。一方で排出口 S から液体金属を排出すれば、S を通る磁力線に沿った延長上でダイバータ・プラズマと接する点 R までの液体金属を排出

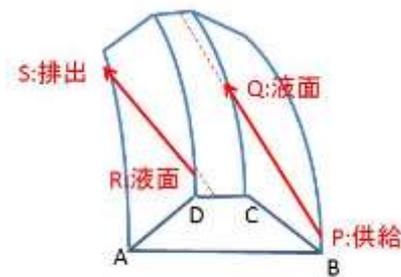


図2. 図1の液体金属の断面が ABCDの部分の鳥瞰図

口へ導き、外に排出できる(図1,2)。QとRとは直接磁力線上で繋がってはいませんが、磁場を横切る流れや自発的に生じるトロイダル方向の流れ、熱

伝導・粒子拡散などの機構で熱・粒子が QR 間で輸送される。ダイバータでは磁力線の傾きが小さいので mhd drag は小さくできる。液体金属は、ほぼ磁力線に沿って流れるので、粘性によって、トロイダル方向に自発的な流れが生じる(図1黄色の矢印)。トロイダル方向の流れによって液体金属の温度や燃料粒子濃度が一様化されれば、供給口や排出口が有限個しか設置できなくても熱・粒子除去が首尾よく行われることが期待できる。QUEST 装置における実験の予備検討結果についても議論する。

[1] M. Shimada and Y. Hirooka, "Actively convected liquid metal divertor", Nucl. Fusion 54 (2014) 122002