

過渡応答と輸送

稲垣 滋、田村 直樹、LHD 実験グループ

トロイダルプラズマの輸送は核融合研究の中心的課題であるばかりでなく、乱流に支配された系として物理的にも基礎的かつ興味深い課題である。トロイダルプラズマにおいて観測される様々な「構造」は「乱流」と密接な関わりを持っていることが多い。乱流が支配的な系では熱流束と温度勾配の関係は非線形となる。このような非線形な系の輸送を解明するには定常解析（熱流束は温度勾配に比例することを前提）のみでは不十分であり、プラズマに摂動を与え、その応答を利用する過渡応答解析が重要となる。

LHD ではトレーサ内蔵固体ペレット（Tracer-Encapsulated Solid PELlet:TESPEL）をプラズマに入射し、1）周辺冷却によって励起されるコールドパルスの伝播から電子熱輸送を、2）トレーサ不純物粒子の挙動から不純物（粒子）輸送を動的に解析している。電子熱輸送に関しては、低い加熱パワーでは熱伝導率は強い温度依存性（ $\chi \propto T^\alpha$, $\alpha=3/2-5/2$ ）を持つことが示唆されている。しかし、周辺冷却に対して中心が非常に早く反応する現象も観測されており、熱伝導率に強い温度依存性を導入してもこの早い応答は説明できていない。不純物輸送に関しては、金属トレーサイオンからの発光線強度(Ti K α)の減衰時定数は密度の増加に伴い長くなる傾向が得られている。さらに、典型的なNBI加熱プラズマ（ $n_e = 3.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, $T_{e0} \sim 1.9 \text{ keV}$ ）では、内向きの対流（プラズマ端において 0.76 m/s ）を考慮しなければならないことが分かっている。

近年スネーク構造の発見、新古典テアリングモード、電子ITBと有理面の関係などから磁気島の影響について議論が活発になっている。TESPELは不純物粒子源の制御性に対して高い自由度を持っているため、磁気島内部の電子輸送、不純物輸送を調べることが可能である。電子の過渡応答輸送解析から磁気島内部では熱伝導係数が一桁近く減少していることが明らかになった。また、磁気島内部に不純物を供給した場合としない場合とで放射パワー分布に特徴的な相違が得られており、熱の場合と同様に、粒子の輸送特性も磁気島内部では異なっていることが示唆されている。これら磁気島内部の輸送特性は温度勾配によって駆動される乱流と関わっていると考えている。最近、有理面近傍での径電場形成の理論も提唱されており、磁気島は様々な構造を形成する可能性があると考えている。詳細は講演にて。