

# 論文審査の結果の要旨

氏名 糟谷 直宏

核融合のためには高温プラズマを十分な時間閉じ込めることが必要であるが、これを行うための有望な手段の一つに、磁気閉じ込めにもとづくトカマクがある。トカマクにおける高温プラズマの閉じ込めを飛躍的に向上させ、核融合研究にブレイクスルーをもたらした方式として、ASDEXにおけるHモード (high-confinement modesの略) がある。プラズマが高温状態で閉じ込められると、プラズマ中心部から周辺部にかけて温度、粒子 (イオン、電子) 密度の急峻な勾配が発生する。通常の状態では温度、粒子がそれらの負勾配方向に輸送される勾配拡散が生じ、閉じ込めが阻害される。とくに、プラズマが乱れた状態にあるときは負勾配方向への輸送が増幅される、いわゆる乱流ないし異常輸送が発生する。

Hモードではプラズマ端において温度、粒子輸送が押さえられ、それらの急峻な勾配が持続する。この勾配をもつ領域はプラズマ端輸送障壁と呼ばれるが、径電場と密接するとする理論的予想が伊藤らによってなされ、観測的にも確認されている。電場と温度および粒子フラックスとの直接的関係については現在もなお活発に研究されているが、次の物理的過程が有力と考えられている：

- (1) イオンの軌道損失、電子の乱流駆動損失等による電流がプラズマ端において発生し、これが径電場を誘起する。
- (2) 径電場は  $E \times B$  効果によって局所的なポロイダル流れを発生させ、この流れのもつ急峻な空間勾配によって輸送を引き起こす乱れの切断が行われ、温度や粒子の異常輸送が抑制される。

Hモードは、入力パワーの増加によって輸送障壁のないLモード (low-confinement modesの略) から自発的に遷移させることによって当初実現された。その後、プラズマ中に挿入された電極とリミッター間に電圧を外的に印加し、径電場を誘起させることによっても、Hモードが実現できることが確認された (バイアス遷移という)。バイアス遷移は、外的に制御可能な、有望なHモード実現方式と言える。

論文提出者は、プラズマ端での輸送障壁と電場との関係を明確にし、Hモードの外的制御法を探索する目的のもとに、以下の方針で電場発生機構を研究した：

- (1) バイアス実験における径電場発生機構を考察するための数学モデルを構成する。
- (2) 同数学モデルを用いて径電場構造を解析する。
- (3) 解析結果を用いて重要なバイアス実験結果を説明し、今後のバイアス実験に対する提案を行う。

論文提出者は径電場を発生させる電流効果として、シア粘性電流、新古典輸送効果による局所電流、軌道損失電流、電極バイアスによる流入電流を取り入れたモデル方程式

を採用した。はじめに、局所電流の非線形性、シア粘性電流、流入電流に注目して同モデル方程式の定常解を吟味し、同一境界条件のもとで空間的に一様な径電場状態と複数の局所的ピークをもつ径電場状態が存在することを示した。この複数の径電場状態の理論的予測は、本研究において初めて得られた成果である。論文提出者はさらに軌道損失電流効果を加えたモデル方程式の数値解析を行い、上に得られた解析計算結果の妥当性を確認した。

論文提出者は次に電極間電圧と電極電流の関係を求め、これらの定常状態を安定状態と不安定状態に分類し、バイアス実験による  $L-H$  遷移を径電場の構造分岐と関連づけ、臨界点近傍での安定性解析とモードの時間進展解析より定常状態間の遷移選択則を求めた。また、自発的に発生する両極性径電場は圧力勾配に依存することから、これを制御パラメータとして扱うことによって、バイアス実験における正負バイアスの非対称性を説明できることを示した。とくに、正バイアスにおいては新古典輸送効果による局所電流の効果が顕著となり、多くの孤立解が存在し得ること、また負バイアスにおいては径電流の複雑な非線形応答が生じ、圧力勾配が増加するにつれて遷移は発生しないことが示された。この理論的結果は、TEXTOR トカマクにおける正負バイアスの非対称性を説明するものであり、本研究の重要な知見と言える。

径電場は  $E \times B$  効果によって局所的に大きなシアを有するポロイダル流れを発生させ、これが輸送を担う乱れを破壊し、輸送障壁を発生させるとする概念が広く受け入れられている。この概念のもとに、論文提出者は輸送障壁効果を上げるためには複数個の電極をプラズマ中に挿入し、径電場の複数山構造を形成することを提案した。

以上に見るように、論文提出者は径電場の定常状態間の遷移機構を考察し、径電場の構造分岐の視点よりトカマクプラズマにおける輸送障壁の発生過程に関して興味深い知見を得た。径電場構造と熱および粒子フラックスとの直接的関連は本研究の対象外となっており、今後の研究の進展に託されているが、輸送障壁発生における径電場の重要性は確立したものであり、径電場構造自体を研究した本学位請求論文は輸送障壁の研究において十分価値のあるものと言える。なお、本論文は高瀬雄一、伊藤公孝との共同研究であるが、論文提出者がモデル方程式の解析、遷移機構の考察を主に行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって、博士（理学）の学位を授与できると認める。