

原型炉における L-H 遷移に必要な加熱パワーの評価

Evaluation of heating power required for L-H transition in JA DEMO

杉山翔太¹, 相羽信行¹, 朝倉伸幸¹, 林伸彦¹, 坂本宜照¹, 原型炉設計合同特別チーム
SUGIYAMA Shota¹, AIBA Nobuyuki¹, ASAKURA Nobuyuki¹, HAYASHI Nobuhiko¹,
SAKAMOTO Yoshiteru¹, Joint Special Team for Fusion DEMO

量研¹
QST¹

原型炉では、トリチウム増殖や建屋内配置等の観点から、加熱電流駆動機器を少なくできることが好ましい。プラズマ運転の各段階における加熱電流駆動の役割を明確にし、定格運転に最低限必要な加熱パワーを評価することが重要である。L-H 遷移には高い加熱パワーが必要であり、セパトリクスを横切る正味の損失パワー P_{sep} と L-H 遷移が起こる閾パワー P_{TH} [1] を比較することで必要な加熱パワーが調べられる。遷移を完了できる P_{sep}/P_{TH} を維持するために必要な加熱パワーは、密度発展や逆遷移条件等により大幅に変わり得る [2]。本研究の目的は、原型炉における L-H 遷移に必要な加熱パワーの密度、密度上昇時間、及び逆遷移条件依存性を明らかにすることである。

統合輸送解析コード TOPICS [3] に L-H 遷移モデルを導入した。 P_{TH} は質量依存性を考慮して Martin の式 [1] の 0.8 倍とし、 $P_{sep} > P_{TH}$ で遷移を始める。密度分布発展は事前に与え、H モード温度分布はペDESTAL 高さとの比例則からペDESTAL 分布を決定してコア領域を解く [4]。遷移開始後、所定のペDESTAL 密度成長時間 Δt_{ped} の間に、遷移前後の分布が滑らかに接続するようにペDESTAL 温度分布を発展させる。

図 1 に、L-H 遷移中（時刻 70.7 s から 80.7 s）の P_{sep} の時間発展の解析例を示す。プラズマ電流が時刻 65 s からフラットトップになり、66 s から 80 MW の NB を 1.5 MeV で入射し、遷移に伴い線平均密度が 4 から $5.7 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ に上昇する場合を想定した。遷移直後、密度上昇によりプラズマ蓄積エネルギー変化率 dW/dt が増加し、 P_{sep} が減少している。H-L 逆遷移の閾パワーが L-H 遷移のパワーと同じである場合、図 1 の例では L-H 遷移後即座に逆遷移してしまう。蓄積エネルギーの急上昇を抑えるには、 Δt_{ped} を長くするか、加熱パワーを高くする必要がある。図 2 に、遷移後の P_{sep}/P_{TH} の最小値の Δt_{ped} 、L モード密度分布及び NBI パワー依存性を示す。L モード密度分布は

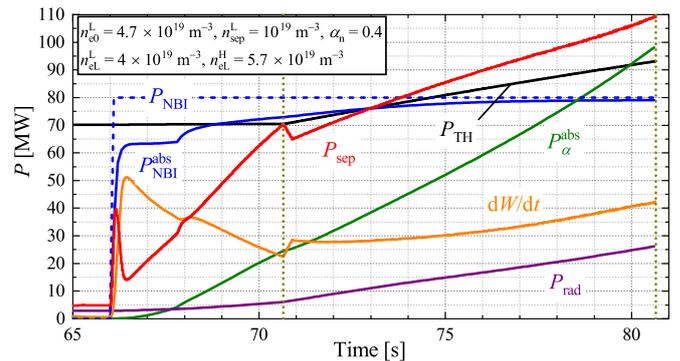


図 1: L-H 遷移中の P_{sep} の時間発展例

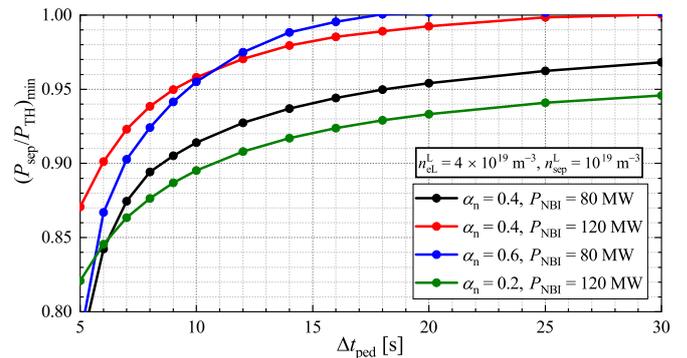


図 2: 遷移後の P_{sep}/P_{TH} の最小値と Δt_{ped} の関係

$n_e(\rho) = (n_{e0} - n_{sep})(1 - \rho^2)^{\alpha_n} + n_{sep}$ とした。 α_n が大きい程ピーク度が大きい。加熱パワーが高く Δt_{ped} が長い程、 P_{sep}/P_{TH} の最小値は大きくなり、逆遷移条件が遷移条件と同じ場合でも L-H 遷移が成立するようになる。線平均密度が同じ場合でも、L モード密度ピーク度が大きい程、アルファ加熱パワーが大きく dW/dt が小さくなるため、 P_{sep}/P_{TH} は減少しにくい。必要な加熱パワーを低減するためには、L モード密度分布の制御が重要となる。発表では、ECH の場合の必要な加熱パワー、及び不純物ガス入射による遷移中の P_{sep} の制御についても議論する。

- [1] Y. R. Martin, et al., J. Phys.: Conf. Ser. **123** (2008) 012033.
- [2] C. E. Kessel, et al., Nucl. Fusion **55** (2015) 063038.
- [3] N. Hayashi, et al., Phys. Plasmas **17** (2010) 056112.
- [4] J. Garcia et al., Nucl. Fusion **54** 093010.