

LHD に於ける NBI 単独プラズマ立上げのモデリング

Modeling of Plasma Startup by NBI in LHD

金子修、竹入康彦、岡良秀、津守克嘉、長壁正樹、池田勝則、LHD実験グループ

核融合科学研究所

ヘリカル装置では従来初期プラズマ生成法としてECHを用いてきたが、この方法では共鳴磁場条件が制約となり高ベータ実験等、任意の磁場強度での実験を行うことが難しい。そこで磁場依存性の少ないプラズマ生成法が望まれていた。LHDでは一昨年の実験に於いてNBIを真空磁場の存在下で薄い水素ガス中に入射し続けることによりプラズマが生成されることを見だし、昨年はこれを低磁場での標準プラズマ生成法として確立させた。プラズマが生成される原理は、NBIが自身で持ち込む水素ガスとの衝突によりわずかではあるが電離して出来た高速イオンが真空磁場内に閉じ込められ、水素ガスの電離・加熱のエネルギー源となっている為と考えられる。実験的にはNBIの入射のみで薄いプラズマが観測され始めた後ある程度時間が経ってから(入射開始後0.3秒程度)ガスパフを行うと高密度プラズマが立ち上がり、これより早いタイミングにガスパフを行ってもプラズマは立ち上がらない。これはガスパフされた大量のガス粒子を電離させるためには、NBIのみで作られるプラズマの温度がある程度高くなっている必要がある為と思われる。

これらのことを確認するために、ガスターゲットでのNBIによるプラズマ生成過程をワンポイントモデルで解析した。考慮した過程としては、(1)高速イオンの生成と荷電交換による損失、(2)高速イオンによる電離及び出来たプラズマの加熱、(3)中性ガスの電離による電子密度の時間発展、(4)電子温度及びイオン温度の時間発展、である。電子密度に関しては関心のある時間帯で密度は低く大きな損失は無いとしている。電子温度に関しては、加熱源は高速イオン、エネルギー損失過程としては放射とイオンとの衝突のみを考え拡散等は考慮していない。イオン温度に関しては、加熱源は高速イオンと電子、損失は中性ガスとの荷電交換のみを考えている。その結果、電離が進み中性粒子密度が小さくなると電子・イオン温度が上昇を始め最終的には完全電離した高温プラズマが出来る。この段階でガスパフをすると高温プラズマ自身が電離を促進し冷却に耐えてプラズマ密度が上昇しNBIのターゲットプラズマに成長する。この間に要する時間は実験条件の値の下で約0.3秒となり実験結果をよく説明する。又、電子温度変化を反映していると思われる実験的に観測される炭素や酸素の放射レベルの時間変化も良く説明され、上記モデルの妥当性が示された。

29aB05

LHDにおけるICRFの波動伝搬と輸送解析

Theoretical Studies of ICRF Heating Process of LHD

渡辺 二太,^A永浦辰彦,^A松本 裕,^A及川 俊一核融合科研,^A北大院工

トロイダル磁場コイルの存在しないLHDではピッチ角の立っている粒子(磁力線に垂直方向速度の大きい粒子)の方が閉じこめやすい(無衝突軌道)。ひとたび加熱された高エネルギーイオンは有限ラーモア半径効果で右回り円偏波であった磁気音波からも有効に高周波エネルギーを吸収できるので加熱が一層加速される。少数高エネルギーイオンの役割を波動伝搬と輸送解析の観点から解析した。解析には次の理論モデルを用いた。①LHDの真空容器を巨大な空洞共振器(Cavity Resonator)と見なす。高周波電磁場は真空容器内での多重反射を繰り返しながら高エネルギーイオンに吸収される(サイクロトロン共鳴加熱)。②ICRF電力の、真空容器に取り付けられた多数の観測孔からの漏洩、および真空容器壁での抵抗損失等は、プラズマの外周と真空容器壁間の領域の平均的電磁場強度で決定されていると仮定する。この両者を結びつける係数はプラズマが存在しないときの真空容器のQ値(=Q₀)で与える。③高エネルギーイオンは炉心プラズマの電子、イオンとクーロン衝突することで減速する。その結果次のような結果を得た。

- LHDのICRF加熱に少数イオンの添加は不要である。少量の高エネルギーイオン(遁走イオン)が自動的に生成されICRF電力を効率的に吸収する。加熱効率はほぼ1に近い。
- LHDプラズマを維持するICRF加熱電力には閾値(下限)が存在する。この閾値はプラズマ密度で定まる(図参照)。
- ICRFで生成される高エネルギーイオン(遁走イオン)の温度はICRF

のスペクトルと電子温度で決定され、プラズマ密度、ICRF電力にはほとんど依存しない。

図の説明: プラズマ密度を $10^{19}m^{-3}$ に維持したときのアンテナから投入された電力とプラズマパラメータの関係。 η_H は加熱効率を示す。

