

27pB15P

LHDにおける電子サイクロトロン高調波加熱実験

Electron Cycrotron Harmonic Heating Experiments in LHD

下妻 隆, 出射 浩, 久保 伸, 吉村 泰夫, 野竹 孝志¹⁾, 渡利 徹夫, 伊藤 哲,
水野 嘉識, 小林 策治, 多喜田 泰幸, 佐藤 元泰, 大久保 邦三, LHD 実験グループ
核融合研, 名大エネルギー理工¹⁾

SHIMOZUMA Takashi, IDEI Hiroshi, KUBO Shin, YOSHIMURA Yasuo, NOTAKE Takashi¹⁾, WATARI Tetsuo, ITO Satoshi,
MIZUNO Yoshinori, KOBAYASHI Sakuji, TAKITA Yasuyuki, SATO Motoyasu, OHKUBO Kunizo, LHD Experimental Group
NIFS, Nagoya University¹⁾

LHD 装置において、第3高調波による電子サイクロトロン共鳴加熱は、加熱可能なカットオフ密度を高くできるだけでなく、閉じ込め磁場 2T で中心加熱が可能となる利点を持つ。これまでの LHD 実験において、その加熱の実証と吸収効率の評価を行ってきた。

第4サイクル実験では、吸収効率に対する入射ビームの焦点位置の依存性を調べた。磁場配位は磁場強度 2T、磁気軸 3.75m とし、第3高調波 ECR を磁気軸上に設定した。ターゲットプラズマは以前と同様に NBI のみによって生成され、線平均電子密度 $1.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、中心電子温度 $< 1 \text{keV}$ であった。168GHz の入射ビームの焦点位置は、赤道面上で 3.6m から 3.8m にプラズマショットごとに变化させた。吸収パワーは、ECH パルス開始時前後および、終了時前後におけるプラズマの蓄積エネルギーの変化率の違いより算出した。このようにして得られたパワー吸収率の焦点位置依存性を図1中の白丸と黒丸で示す。吸収率の最大値は、ECR 層ではなくむしろ少し高磁場側で達成されている。これは、相対論的な効果によって高磁場側に吸収の領域が広がっているためと考えられる。

これらの振る舞いを調べるために、幾何光学近似に基づく軌道追跡計算によって吸収の様子を調べた。計算では、軌道の計算に冷たいプラズマ近似の分散式を、吸収の計算には相対論的な効果を含めた熱いプラズマでの吸収率を使用している。また、ビームは、アンテナを構成する最終ミラーからのガウシアン電磁波ビームを径方向に 10 点、周方向に 36 点に分割した軌道の集合体として追跡している。電子密度分布としては、 $n_e(\rho) = n_{e0} \times (1 - \rho^2)^2$ の比較的平坦な分布を、電子温度分布としては、 $T_e(\rho) = T_{e0} \times (1 - \rho^2)$ を仮定している。図の実線は吸収率のビーム焦点位置依存性を示している。実験と傾向は一致しているが、高磁場側に鋭いピークを持ち、値も全体的に大きめである。現在詳しい解析を継続中である。

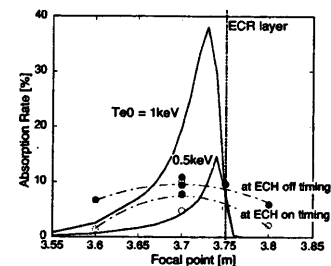


図1: 実験で得られたパワー吸収率を入射ビームの焦点位置に対してプロットしている。吸収パワーはECHパルスのオンまたはオフ時前後のプラズマ蓄積エネルギーの変化率の違いから算出している。白丸がオン時、黒丸がオフ時である。実線は軌道計算から得られた吸収率を示す。中心電子温度としては 0.5 と 1keV を、中心電子密度は $1.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ を仮定している。

27pB16P

LHDにおける大電力局所電子サイクロトロン加熱

High Power Local Electron Cyclotron Heating in LHD

久保 伸, 下妻 隆, 出射 浩, 吉村 泰夫, 野竹 孝志¹⁾, 多喜田 泰幸,
小林 策治, 伊藤 哲, 水野 嘉識, 佐藤 元泰, 大久保 邦三, LHD 実験グループ
核融合研, 名大エネルギー理工¹⁾

KUBO Shin, SHIMOZUMA Takashi, IDEI Hiroshi, YOSHIMURA Yasuo, NOTAKE Takashi¹⁾, TAKITA Yasuyuki,
KOBAYASHI Sakuji, ITO Satoshi, MIZUNO Yoshinori, SATO Motoyasu, OHKUBO Kunizo, LHD Experimental Group
NIFS, Nagoya University¹⁾

LHD の第5サイクル実験においては 84GHz 帯 4本と 168GHz 帯 3本のジャイロトロンを用いたプラズマ生成加熱をスタートした。今サイクルはこれまでの伝送系に加え、1.25 インチの真空導波管伝送系およびアンテナを 800kW 出力のジャイロトロンを接続してより大電入射化をはかるとともに、第4サイクル実験までのアンテナを改良して全てのアンテナ系において強収束ビームが直接 LHD 内側の共鳴層を加熱できるようにした。右図は磁気軸 3.6m 磁気軸上平均トロイダル磁場 2.883 テスラ配位に対して新設のアンテナの目標焦点位置を 3.4m から 3.65m まで 0.05m さぎみにスキャンした場合の加熱吸収分布の様子を示している。この例ではターゲットのプラズマパラメータを中心電子温度 $T_{e0} = 1 \text{keV}$ の急峻分布、電子密度 $n_{e0} = 1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の平坦分布を仮定した。このように規格化小半径 ρ で 0.1 の範囲にはほぼ全電力が吸収されることが予想される。この傾向は他のアンテナ系統、168GHz による第二高調波においても同様で、磁気軸 3.5m 中心磁場 2.98T にの配位においては磁気軸近傍 $\rho < 0.1$ に全入射電力を集中できることになる。実際にこれまでの実験において全入射電力 約 1.2 MW で $n_{e0} = 0.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ のプラズマに対してトムソン散乱で測定した中心電子温度として $T_{e0} \sim 7-8 \text{keV}$ がえられている。講演では off-axis 加熱の効果を含めたこれらの LHD における高電子温度プラズマの閉じ込め特性についても報告する予定である。

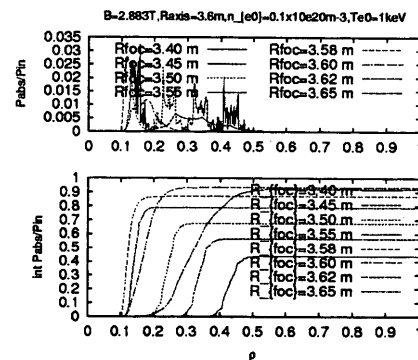


図1: ray tracing から予想される加熱吸収分布、磁気軸 3.6m、軸上平均トロイダル磁場 2.883T に対して上側アンテナの焦点位置をスキャンした場合