

この長時間記録により、プラズマ電流を必要としないヘリカル型閉じ込め装置が、定常核融合炉へ高いポテンシャルを持つことを示すことが出来たといえる。また特筆すべきは、この実験は主にICRF加熱で実現したことである。イオンの閉じ込めに問題があると話題になり易いヘリオトロン配位で、磁場に垂直方向加速のマイノリティイオン加熱モードで、この記録を達成したことは特に意義深いものがある。

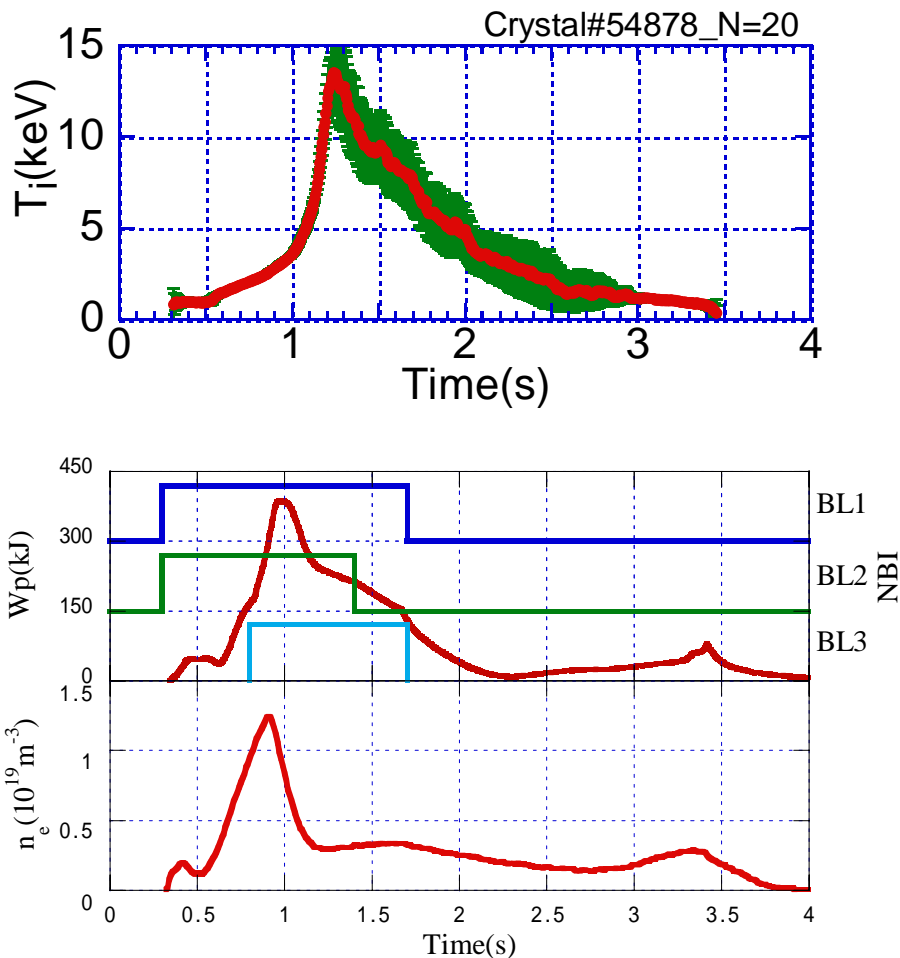


図 2.2-42 高 Z 放電による高イオン温度プラズマ生成の放電波形

2.2.6 高イオン温度

高イオン温度実験では、大電力中性粒子入射(NBI)加熱装置を用いた高イオン温度プラズマの生成、および高イオン温度プラズマの物理的特性を調べる研究を進めてきた。

高イオン温度プラズマの生成には中性粒子加熱入力パワーの増大ならびに閉じ込め性能の改善が重要になる。高エネルギービーム入射における入射ビームの透過成分を小さくし、プラズマへの加熱入力増加を狙って、アルゴン等を用いた高 Z 放電を行った。図 2.2-42 に代表的な放電波形を示す。閉じ込め磁場強度は 2.676T、磁気軸 3.7m であり、 $t=0.3\text{s}$ から NBI の入射によってプラズマを生成し $t=0.5\text{s}$ からアルゴンパフで密度を上昇させる。そして、密度の下降にともない急峻なイオン温度上昇が現れ、 $t=1.2 - 1.3\text{s}$ の間で最高イオン温度 $13.5\text{keV} \pm 2\text{keV}$ のイオン温度を達成した。また電子温度も 4keV を超えており、中心部で平

坦な分布を形成した。加熱入射電力値は 10MW 程度である。高 Z 放電の実験週における継続したネオン・アルゴングロー放電洗浄やチタンゲッターなどの壁コンディショニングが、リサイクリングによる水素の混入を抑制し、その結果、高イオン温度が達成されたと推測される。

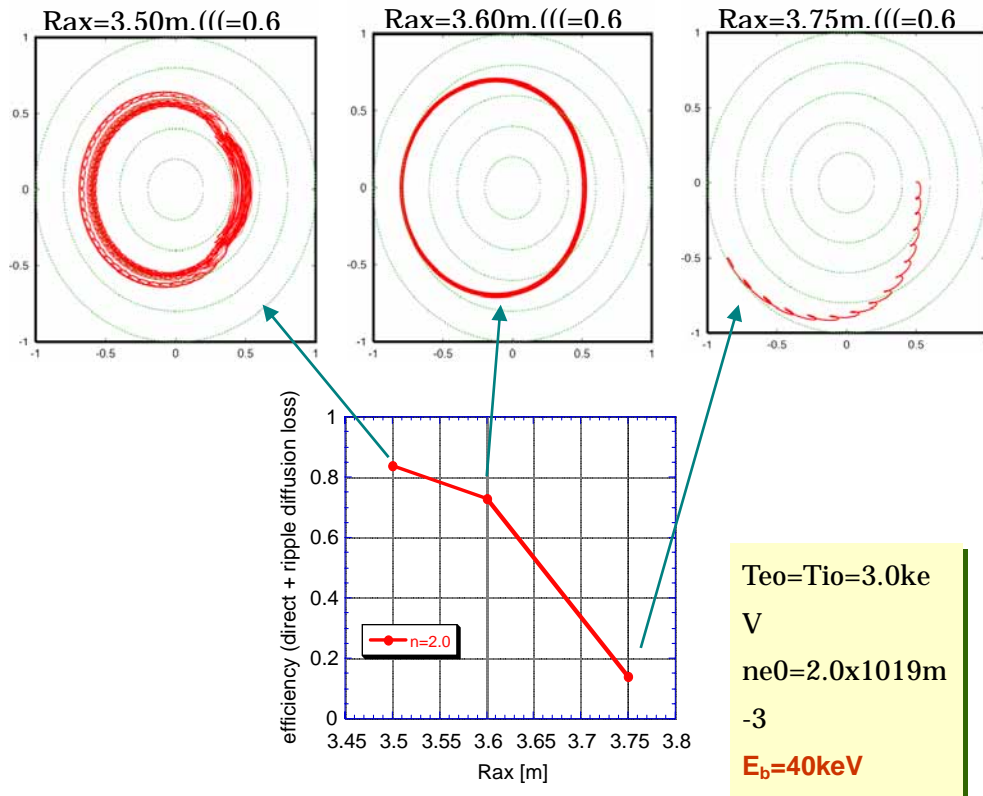


図 2.2-43 垂直入射されたビームイオンの軌道と加熱効率の磁気軸位置依存性

LHD では設計当初、磁場に垂直方向の高エネルギー粒子の閉じ込め性能が懸念されたため、接線入射の高エネルギーNBI によるプラズマ加熱実験が計画され、実施されてきた。接線NBIは、これまで見てきたように、LHDにおける高性能プラズマ実験を可能としてきたが、入射エネルギーが 180keV と高いため、主としてプラズマ電子を加熱し、イオンを十分に加熱することができない。そこで高 Z 放電を利用して等価的にイオンの加熱電力を増加させることにより、上述したように 13.5keV のイオン温度を得ることができた。一方、LHD 実験における ICRF 加熱を主体とした高温プラズマの長時間保持は、磁場に垂直方向に加速されたイオンを十分に閉じ込めることが可能であることを示している。また、高エネルギー粒子閉じ込めの理論研究の進展を受け、垂直入射された粒子の軌道をシミュレーションにより解析し、その閉じ込め性能を調べたところ、図 2.2-43 に示すように、 $R_{ax}=3.6\text{m}$ 近辺より内側の磁気軸を内寄せにした磁場配位では、40keV 程度のビームイオンは十分閉じ込められることが判明した。そこで、イオンを主に加熱することのできる低エネルギーの垂直入射 NBI を平成 17 年度に設置し、水素プラズマにおける高イオン温度の達成を目指した。平成 18 年度には、

垂直入射 NBI を 40keV-6MW に増強して、高イオン温度実験を行った。その結果、図 2.2-44 に示すように、接線 NBI と組み合わせることにより、水素プラズマにおいて 5.2keV の中心イオン温度が、比較的高い密度の $1.2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ で得られた。第 11 サイクルにおいては、さらに密度が $2.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の条件で、中心イオン温度は 6.8keV に達した。垂直 NBI は低エネルギービームを入射させるため、入射ビームを用いた CXRS によるイオン温度分布およびトロイダル・ポロイダル回転分布の測定を可能とした。図 2.2-44 は CXRS 測定による分布を示しているが、高イオン温度に関係して大きなトロイダル回転が観測されている。電場の影響も含めたイオンの輸送解析を今後進めていく必要がある。

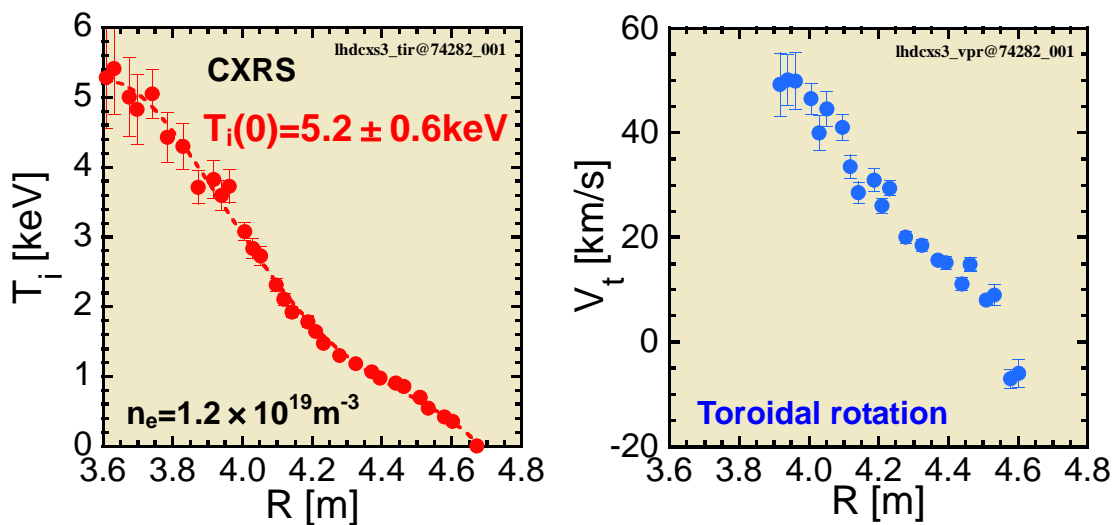


図 2.2-44 低エネルギー垂直入射 NBI を用いて加熱された水素プラズマにおけるイオン温度とトロイダル回転の径方向分布

2.2.7 高電子温度

高電子温度プラズマの、密度領域、磁場配位、NBI 駆動電流の方向、磁気島の有無による変化、また加熱や微小トレーサーをプラスチックでカプセル化した TESPEL (Tracer Encapsulated PELlet) を用いた過渡応答特性を組み合わせることで、高電子温度形成条件を明らかにし、さらには高電子温度プラズマの領域拡大を行う研究を進めている。

高電子温度プラズマの密度及び空間的領域拡大を目指して、電力吸収分布の異なる EC 加熱、ICRF 加熱及び TESPEL の非局所輸送による電子温度上昇と組み合わせを変え、密度領域を変えて高電子温度プラズマの実験を行った。TESPEL による非局所輸送によって引き起こされる局所的な電子温度上昇率は、 $\omega = 0.4$ 付近では EC によるそれを上回る場合がある。このように高電子温度を得るための手段として TESPEL の非局所輸送を利用できる可能性が示唆された。また、TESPEL のコールドパルス、EC 加熱の熱パルスの過渡応答解析を継続しておこなっており、高電子温度プラズマの詳細な輸送解析の手段として定着しつつある。

高電子温度プラズマの電子温度分布の NBI 入射方向による違いを系統的に調べている。磁場の正転、反転、入射 NB の選択を行い、異なる条件での NB ターゲットプラズマに対して