

# LHDにおける高速イオン損失による壁への熱負荷の定量的評価

## Quantitative Evaluation of Wall Heat Loads by Lost Fast Ions in the Large Helical Device

森本 純毅<sup>1</sup>、鈴木 康浩<sup>1,2</sup>、關 良輔<sup>1,2</sup>  
 Junki Morimoto<sup>1</sup>, Yasuhiro Suzuki<sup>1,2</sup> and Ryosuke Seki<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>総研大、<sup>2</sup>核融合研  
<sup>1</sup>SOKENDAI、<sup>2</sup>NIFS

### 1. 背景・目的

核融合プラズマでは、NBI入射・核融合反応などにより、高速イオンが生成される。これらの高速イオンは、様々なドリフトや不安定性などによりプラズマ中から損失し、壁への熱負荷や炉内機器の損傷へとつながる。特に、ドリフトによって磁力線を横切る運動をする高速イオンは、磁力線と異なる位置に損失するため、将来の核融合炉設計を行う上で、粒子軌道追跡による詳細な熱負荷の検討が必要である。さらに、プラズマ圧力(ベータ値)によって磁場構造が変化することが知られており、核融合炉ではベータの上昇によって磁場構造が変化し、熱負荷の分布が変化することが考えられる。そこで、三次元実空間平衡磁場中の案内中心軌道追跡に基づく熱負荷を計算するためのシミュレーションコードの開発を行い、大型ヘリカル装置(LHD)において、真空磁場と有限ベータ平衡磁場での高速イオンによる壁熱負荷の違いを調べた。

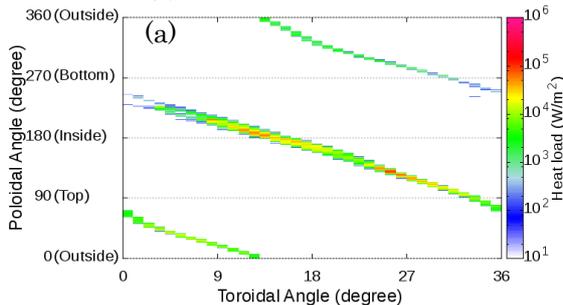
### 2. 計算方法

損失する高速イオンの軌道追跡には、真空容器壁及び炉内機器を導入しやすい、実空間上での案内中心軌道コードGCR(Guiding Center on Real coordinates)[Y. Suzuki, Nucl. Fusion, **46** 123 (2006)]を用いた。損失するイオンの熱流束の計算では、真空容器を複数のポリゴンで表現し、多数の高速イオンを背景プラズマとの衝突を考慮して追跡し、高速イオンが損失したポリゴンの位置とそのエネルギーを計算する。例えば、NBIによる高速イオンの場合、損失するイオンの熱流束 $Q_{loss}$ は、各ポリゴン上に与えられた総エネルギー $W_{polygon}$ と、NBIの入射パワー $P_{nbi}$ と高速イオンの初期エネルギー $E_0$ 、追跡に使用した粒子数 $N$ から、

$$Q_{loss} = \frac{W_{polygon} P_{nbi}}{S_{polygon} E_0 N} \quad (S_{polygon} \text{はポリゴンの面積})$$

として求まる。

トーラス上の位置



### 3. 計算条件

LHDでのNBI入射により生成された $E_0 = 180$  keVの高速軽水素イオンによる真空容器への損失熱流束の計算を行った。平衡磁場は、磁気軸上磁場強度 $B_{ax} = 3$  T、標準配位の真空磁場( $R_{ax} = 3.6$  m)とHINTコード[Y. Suzuki, et al., Nucl. Fusion, **46** L19 (2006)]で計算された $\langle \beta \rangle = 3\%$ の平衡磁場 ( $R_{ax} = 3.9$  m)を用い、粒子の初期位置・初期速度はFIT3Dコード[S. Murakami et al., Trans. Fusion Technol. **27** 256 (1995)]で計算した。背景プラズマは、軽水素、電子密度 $2.0 \times 10^{19}/m^3$ 、電子温度・イオン温度は500 eVの様な分布を仮定した。この条件の下、粒子を30 ms( $> \tau_s$ )まで追跡し、その時の熱流束を評価した。

### 4. 結果・考察

ここでは、5 MWのパワーで磁場逆方向に接線入射されたNBI(ctr-NBI)について、大半径3.9 m、小半径1.4 mの単純トーラス形状の第1壁へ損失した熱量束を図1((a)真空磁場、(b)有限ベータ)に示す。図から、真空磁場ではトーラス内側上下に熱流束が大きくなっており、有限ベータの場合はトーラス内側下部が大きくなっている。これらの熱流束の分布の大部分は、磁場ベクトルに対して逆方向に追跡した磁力線の損失位置の近傍に現れた。また、磁場順方向に接線入射したNBIにおいても、熱流束は負方向の磁力線に沿う結果が得られており、これらはトーラス外側から出発した磁場逆方向速度を持つ高速イオンがプラズマの外側に広がる軌道を持っているためである。また、5 MW入射の場合、真空磁場、有限ベータ共に、逆方向入射での最大熱流束は約100 kW/m<sup>2</sup>となり、順方向入射の場合は約10 kW/m<sup>2</sup>となり、10倍の差が現れた。より詳細な検討を行うため、LHDの実際の真空容器の形状を用いた計算を行い、その結果について発表する予定である。

トーラス上の位置

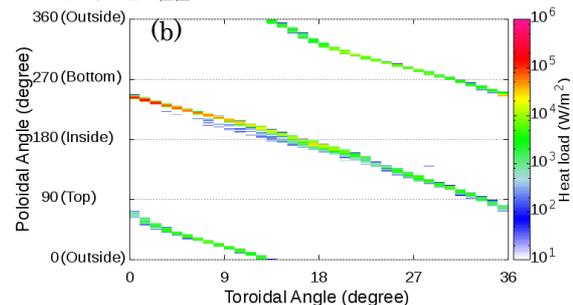


図1:ctr-NBIでの熱流束の分布((a)真空磁場, (b)有限ベータ平衡磁場)