

NIFS重水素負イオン源における電子輸送の数値解析 Numerical analysis of electron transport in NIFS deuterium negative ion source

加藤凌¹, 佐藤捷¹, 中野治久², 柴田崇統³, 宮本賢治⁴, 畑山明聖¹, 星野一生¹
KATO Ryo¹, SATO Jo¹, NAKANO Haruhisa², SHIBATA Takanori³, MIYAMOTO Kenji⁴,
HATAYAMA Akiyoshi¹, HOSHINO Kazuo¹

¹慶大理工, ²核融合研, ³高エネ研, ⁴鳴門教育大
¹Keio Univ., ²NIFS, ³KEK, ⁴Naruto Univ. of Education

1. 研究背景・目的

核融合科学研究所 (NIFS) では、大型ヘリカル装置LHDの重水素実験に伴い、中性粒子入射加熱装置 (NBI) の負イオン源の運転ガスも軽水素から重水素へ変更された。この変更により、負イオンと同時に引き出される電子 (電子電流) が増加した結果、引出電極の熱負荷が増加した。現在、この大きな引出電極熱負荷がビーム電力を制限しており、重水素運転時の電子電流の抑制が重要な課題となっている。電子電流増加の直接的な原因はビーム引出孔近傍の電子密度 (n_e) の増加であった[1]。一方で、なぜ n_e が増加するかは分かっていない。本研究の目的は、NBI用負イオン源の数値解析により電子密度増加をもたらす負イオン源の水素同位効果の物理機構を明らかにすることである。

2. 方法

電子密度 n_e の増加に着目した水素同位体効果を解析するためには、負イオン源プラズマ中の電子のエネルギー分布関数 (Electron Energy Distribution Function: EEDF) および n_e 空間分布が重要となる。EEDF および n_e の空間分布の数値解析には、運動論的粒子輸送モデルである、KEIO-MARC code[2,3]を用いる。本コードでは、3次元装置形状、3次元磁場配位を考慮し、運動方程式から電子軌道を直接追跡する。また、背景粒子との弾性・非弾性衝突、クーロン衝突過程が計算される。KEIO-MARC code はこれまで医療用イオン源の解析等に用いられてきた[4]。本研究では、NBI用負イオン源としてNIFS研究開発用負イオン源 (NIFS-RNIS) に KEIO-MARC code を適用することとした。NIFS-RNIS は様々なイオン源プラズマ計測器を備えるため、数値解析結果と実験結果を直接比較できる。Figure 1 に計算領域となる NIFS-RNIS のアーク

放電容器の寸法を示す。ビームと逆方向を Z 軸正方向とした。また、永久磁石で形成されるフィルタ磁場と平行な方向を X 軸方向とした。解析にあたって、まず、軽水素の計算を行う。その後、コード内の物理モデルを順次に重水素に対応させ、その影響を調べていく。今回、NIFS-RNIS に KEIO-MARC を適用するために、コードの修正、各種設定パラメータの妥当性検討及び最適化を行い、テスト解析を行った。

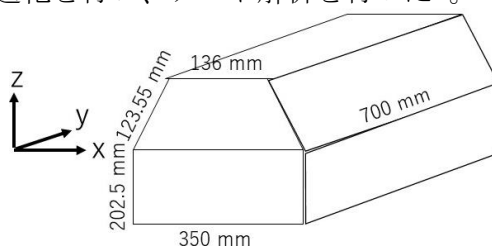


Figure 1 Arc chamber dimension of NIFS-RNIS

3. 結果

KEIO-MARC code を NIFS-RNIS に適応し、最適化を行うことで、計算体系を確立した。これにより、EEDF および電子密度の空間分布の計算が可能となり、磁場勾配ドリフトやカスプ磁場の効果等の装置特性について確認した。これらの結果の詳細についてはポスターに譲る。

今後は、コード内の物理モデルを順次に重水素に対応したものへ変更し、重水素化による影響の解析を進める。

参考文献

- [1] H. Nakano, et al., Jpn. J. Appl. Phys, 59 SHHC09 (2020).
- [2] T. Shibata, et al., J, Appl, Phys, 114 143301 (2013).
- [3] A. Hatayama, et al., New J. Phys., 20 065001 (2018).
- [4] 山田翔太、他、第35回プラズマ・核融合学会年会、大阪、2018年12月