

NAGDIS-IIヘリウムプラズマ統合コード構築をめざした中性粒子輸送コードの整備
Neutral transport code for coupling with LINDA code of NAGDIS-II

増田翔太¹, 右田龍星¹, 澤田圭司¹, 羽下健太¹, 夏目祥揮², 井戸太一², 田中宏彦², 大野哲靖²
 MASUDA Shota¹, MIGITA Ryusei¹, SAWADA Keiji¹, HAGA Kenta¹, NATSUME Hiroki², IDO Taichi²,
 TANAKA Hirohiko², OHNO Noriyasu²

¹信州大工, ²名大院工
¹Shinshu Univ., ²Grad. Sch. Eng., Nagoya Univ.

大型核融合装置の非接触プラズマにおけるダイバータ板への熱流束の理解と制御をめざして、直線型ダイバータプラズマ模擬試験装置 NAGDIS-II (図1)による基礎実験が行われている。本研究では NAGDIS-II プラズマ統合シミュレーションコードの構築を進めている。

統合シミュレーションコードは荷電粒子を扱うプラズマコードと中性粒子輸送コード、および中性粒子の励起原子密度と電離・再結合実効的速度係数を与える衝突輻射モデルから構成される。現在は手始めとして、分子がないため簡単なヘリウムプラズマのコード整備を進めている。

プラズマコードについては、慶応大学で開発されたプラズマ流体コード LINDA の精密化が名古屋大チームにおいて進められている。後藤ヘリウム衝突輻射モデル[1]の組込などがなされ、NAGDIS-II コードも一通り完成している。ヘリウム原子を空間的に一様に与えた場合の計算もすでに行われている[2]。

中性粒子輸送コードの整備は信州大チームを中心に進められている。信州大では以前より水素およびヘリウムの中性粒子輸送コードを開発している[3]。本研究では NAGDIS-II の形状をヘリウム中性粒子輸送コードに与え、装置内部を1辺5mmの正方形のセルに分割した。計算ではヘリウム基底原子(1^1S)および準安定原子(2^1S , 2^3S)を追跡する。他の励起状態を経由するこれらの追跡粒子間の状態変化や電離・再結合の実効的速度係数は後藤ヘリウム衝突輻射モデルを用いて計算されている。

統合シミュレーションコードでは、最初にヘリウム原子を空間的に与えて LINDA コードで電子とイオンの温度・密度・流速を計算し、つぎにこれを用いて中性粒子輸送コードで原子の温度・密度・速度分布を計算する。さらに続いて LINDA コードを用いた計算を行う。このような計算を諸量が収束するまで繰り返す。

現在は再結合プラズマに先立ち電離プラズマのコードを整備している。中性粒子輸送コードの計算では、ターゲットに衝突するイオンの中性化によりターゲットから放出された原子の追跡を行う。その際、電離等の非弾性散乱に加えて追跡粒子の背景となるイオンおよび中性原子との弾性散乱を考慮している。ターゲットから放出された一定数の粒子を追跡した時点でこれらの集計で得られた原子密度と速度分布を背景中性粒

子として与え、再度、一定数の中性粒子を追跡する。これらを収束まで繰り返す。

非接触プラズマの理解において、壁近傍の中性粒子との弾性散乱にともなうイオンの運動量損失の評価が重要であると思われる。輸送コードの計算ではこれが記録され、LINDA の計算にフィードバックされる。

各セルでは原子の3次元速度分布が記録されている。追跡原子と背景中性原子の弾性散乱では、計算時間の短縮のため、背景原子の速度分布をターゲットから放出されて非弾性散乱と弾性散乱を経験していない粒子群とそれらを経験した粒子群に分け、後者をシフトドマクスウェル分布で近似した。

図2は中性粒子輸送コードの計算例である。学会では計算の詳細について説明する予定である。

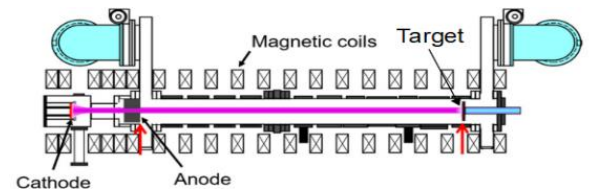


図1 NAGDIS-II の装置図：文献[2]より引用

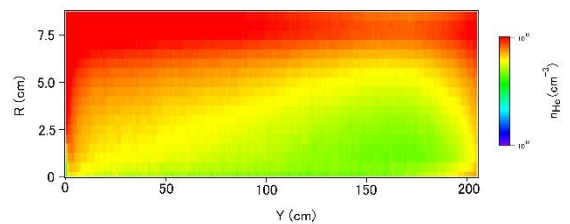


図2 陽極からターゲットまでの領域のヘリウム基底原子の密度分布

- [1] M. Goto, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 76, 331–344 (2003).
 [2] H. Tanaka, I. Saeki, N. Ohno, S. Kajita, T. Ido, H. Natsume, A. Hatayama, K. Hoshino, K. Sawada, and M. Goto, *Physics of Plasmas* 27, 102505 (2020).
 [3] K. Sawada, H. Nakamura, S. Saito, G. Kawamura, M. Kobayashi, K. Haga, R. Migita, T. Sawada, and M. Hasuo, *Contrib. Plasma Phys.* 60, e201900153 (2020).