

水素原子の輻射輸送を考慮した
水素原子・分子中性粒子輸送コードの構築

Construction of neutral particle transport code of hydrogen species
by considering the radiation trapping of atomic hydrogen

出井諒¹, 澤田圭司¹, 星野一生², 朝倉伸幸²

Ryo Idei¹, Keiji Sawada¹, Kazuo Hoshino², Nobuyuki Asakura²

¹信州大学大学院理工学系研究科 〒380-8553 長野市若里4-17-1

²原子力機構青森研究開発センター 〒039-3212 六ヶ所村大字尾駸字表館2-166

¹Graduate school of Sci. and Tec., Shinshu University 4-17-1 Wakasato, Nagano, 380-8533, Japan

²Aomori Research and Development Center, JAEA 2-166 Omotedate, Obuchi, Rokkasho, 039-3212, Japan

我々は、核融合プラズマの粒子・エネルギーバランスの理解を深めるため、水素原子・分子の衝突輻射モデル、および3次元中性粒子輸送コードの開発を進めている。衝突輻射モデルは励起状態のポピュレーション分布や励起状態を経由する電離・再結合の速度係数を与え、中性粒子輸送コードではこの速度係数が用いられる。

輻射輸送は、プラズマ中の原子・分子が放出した光を他の原子・分子が吸収し、再度光を放出する現象であり、光吸収による励起は、それを考慮しない場合に比べ、電離を増大させるはずである。非接触プラズマの電離・再結合を理解するためには、その定量的な評価が必要である。しかしながら、これまで、大型装置での中性粒子輸送コードの計算においては、一部Reiterらの試み[1]を除き、輻射輸送の効果が考慮されていない。本研究では、中性粒子輸送コードに、水素原子のライマン系列発光線の輻射輸送を組み込んだ。

輻射輸送では、光の放出・吸収により、プラズマ中の各場所の原子がお互いに影響を及ぼし合うため、光強度とポピュレーション分布を同時に決定する必要がある。我々は、電子温度 T_e 、電子密度 n_e 、水素原子密度 n_H 、水素原子温度 T_H の空間分布が与えられた場合に、これらを収束計算で求める手法を開発しており[2]、今回、完全非接触プラズマとなる原型炉 SlimCS[3]のダイバータ条件に適用した。ダイバータコード SONIC[4]の計算結果は、輻射輸送が考慮されていないが、そのプラズマ分布結果 (T_e , n_e , n_H , T_H) を使用して、輻射輸送の影響を調べた。

ライマン α の減衰長は、スペクトル中心で数ミリ程度である。空間メッシュは、これより十分小さいものが理想的であるが、計算時間の観点からこれを実現するのは困難である。今回の計算ではメッシュを SONIC のメッシュと同じとし、各メッシュの中心点での上記の量を計算した。1つのメッシュの中では、諸量は一樣としている。あるメッシュでの光の吸収を考える場合、自分自身のメッシュの中から発せられた光の吸収は厳密に

計算し、他のメッシュから届く光は、各メッシュの中心点から発せられたものとして計算した。

Fig.1-4 は式(1)の右辺の各項、および合計を表している。計算の結果、輻射輸送を考慮しないとき再結合プラズマとされていた場所が、輻射輸送を考慮すると電離プラズマになることがわかった。

$$\frac{dn_{H^+}}{dt} = -\frac{dn(1)}{dt} = \underbrace{S_{CR} n(1) n_e}_{\text{Ionizing}} - \underbrace{\alpha_{CR} n_H n_e}_{\text{Recombining}} + \underbrace{L \cdot n(1)}_{\text{Photon absorption}} \quad (1)$$

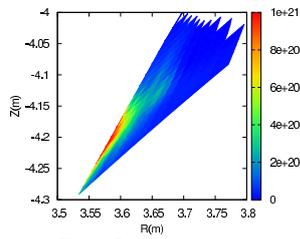


Fig.1 Ionization rate

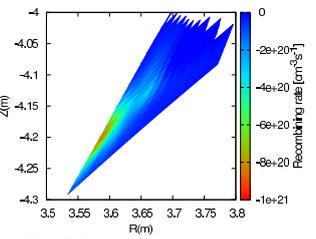


Fig.2 Recombination rate

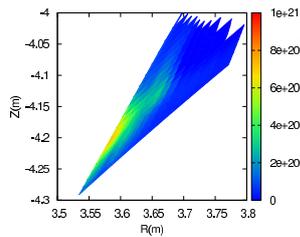


Fig.3 Ionization rate
by photon absorption

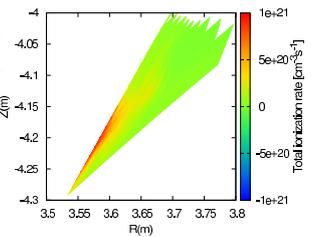


Fig.4 Total ionization rate

今後、輻射輸送を考慮した電離・再結合速度係数を組み込んだ中性粒子輸送コードの開発を進めていく。

- [1] V.Kotov, D.Reiter, Plasma Phys. **46**, No. 7-9, 635 – 642 (2006).
- [2] K.Sawada, J.Plasma Phys. **72**, part 6, 1025-1029, (2006).
- [3] K.Tobita, et al., Nucl. Fusion **47**, 892 (2007).
- [4] K.Shimizu, et al., Nucl. Fusion **49**, 065028 (2009).