

水素分子の振動・回転状態を考慮した
衝突輻射モデルおよび中性粒子輸送コードの構築

Rovibrationally resolved collisional-radiative model and neutral transport code for molecular hydrogen

澤田 圭司¹, 右田龍星¹, 羽下健太¹, 中村 浩章^{2,3}, 斎藤 誠紀⁴
Keiji Sawada¹, Kenta Haga¹, Ryusei Migita¹, Hiroaki Nakamura^{2,3}, Seiki Saito⁴
¹信大工, ²核融合研, ³名大院工, ⁴山形大工
¹Shinshu Univ., ²NIFS, ³Nagoya Univ., ⁴Yamagata Univ.

分子活性化再結合(MAR)など、プラズマ中の水素分子の各種反応の速度係数は、分子の振動・回転状態に大きく依存する。このため、我々は水素分子の電子・振動・回転状態の計4133準位を区別した水素分子衝突輻射モデルを構築した [1]。電子基底状態については、MAR (P1-P3,P4-P7) を含む表 1 の反応が考慮されている。

我々は、DEMO非接触ダイバータプラズマを想定し、 $T_e = T_{H^+} = T_H = 2 \text{ eV}$, $T_{H_2} = 1 \text{ eV}$, $n_e = n_{H_2} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_H = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ をモデルに与え、このプラズマに水素分子が入射した場合について電子・振動・回転状態のポピュレーションの時間変化を計算して、各種反応の実効的速度係数を計算した[1]。今回さらに、プラズマ中の各種粒子の、水素分子との衝突によるエネルギー損失を計算した。

図 1 は振動・回転ポピュレーションの時間変化から計算された、表 1 中の各種反応のエネルギー損失速度係数を表す。電子の分子の振動・回転励起が支配的であることがわかる。

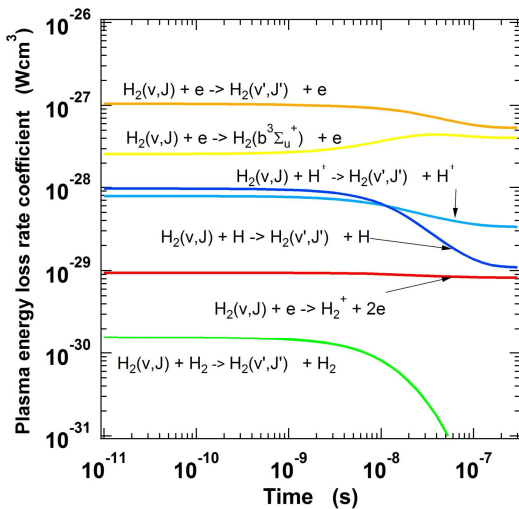


図 1 各種エネルギー損失速度係数

表 1

Label	Process
(P1)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \rightarrow H_2^- \rightarrow H(p = 1 \text{ or } 2) + H^-$
(P2)	$H^+ + H^+ \rightarrow H(1) + H(p = 2 \text{ or } 3)$
(P3)	$H(p = 2 \text{ or } 3) \rightarrow H^+ \rightarrow H(1)$
(P4)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v) + H^+ \rightarrow H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') \rightarrow H(1)$
(P5)	$H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') + e \rightarrow H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v'') + e$
(P6)	$H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v'') + e \rightarrow H(1) + H(p \geq 2)$
(P7)	$H(p \geq 2) \rightarrow H^+ \rightarrow H(1)$
(P8)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v) + e \rightarrow H_2(b^3\Sigma_u^-) + e \rightarrow H(1) + H(1)$
(P9)	$H_2^*(\text{singlet}, v, J) \rightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+) + hv \rightarrow H(1) + H(1)$
(P10)	$H_2^*(\text{triplet}, v, J) \rightarrow H_2(b^3\Sigma_u^-) + hv \rightarrow H(1) + H(1)$
(P11)	$H_2(X^1\Sigma_g^+) + e \rightarrow H(1) + H(p \geq 2)$
(P12)	$H(p \geq 2) \rightarrow H^+ \rightarrow H(1)$
(P13)	$H_2(X^1\Sigma_g^+) + H \rightarrow H + H + H$
(P14)	$H^+ + e \rightarrow H(1)$
(P15)	$H^+ + e \rightarrow H^+ \rightarrow H(1)$

我々は水素分子衝突輻射モデルを組み込んだ中性粒子輸送コードの開発も進めている。図 2 および図 3 は、LHD の中性粒子輸送コードでの計算例である。学会では水素分子衝突輻射モデルおよび中性粒子輸送コードの詳細について報告する。

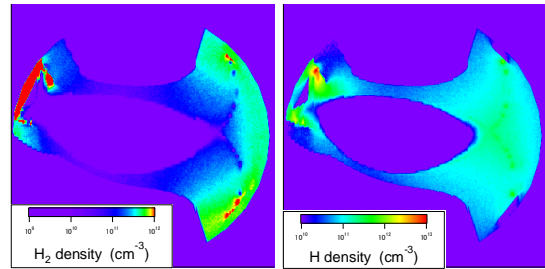


図 2 LHD 中性粒子輸送コードでの計算例

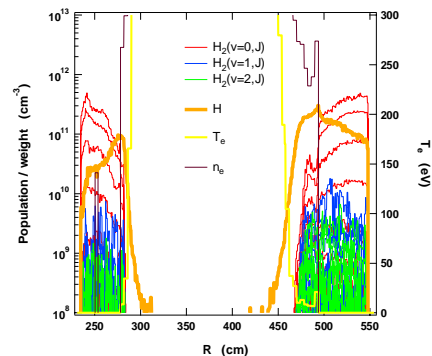


図 3 図 2 の中央の水平線上の各種密度分布

[1] K. Sawada and M. Goto, Atoms, 4, 29 (2016).