

# 高速粒子の荷電分離による トルク生成のシミュレーション

Simulation of torque generation by charge separation  
due to fast particles

本多充<sup>1</sup>, 滝塚知典<sup>1</sup>, 福山淳<sup>2</sup>, 吉田麻衣子<sup>1</sup>, 小関隆久<sup>1</sup>  
原子力機構<sup>1</sup>, 京大工<sup>2</sup>

Mitsuru HONDA<sup>1</sup>, Tomonori TAKIZUKA<sup>1</sup>, Atsushi FUKUYAMA<sup>2</sup>,  
Maiko YOSHIDA<sup>1</sup>, Takahisa OZEKI<sup>1</sup>  
JAEA<sup>1</sup>, Kyoto Univ.<sup>2</sup>

トロイダル回転やそのシアは乱流による微視的揺動や抵抗性壁モードの抑制に重要な役割を果たしていることから、現在の装置におけるプラズマのみならず、核燃焼プラズマにおいても大きな注目を集めている。現在の装置では、高速中性粒子ビーム (NB) の接線入射によって生じる高速通過イオンの衝突減衰によって、熱イオンへの運動量移送が起き、速いトロイダル回転を得ることができる。しかし、核燃焼プラズマでは、NB のビームエネルギーが大きくなることと、高密度のためビーム粒子の平均自由行程が短くなりコア部で通過イオンの供給が減少することから、衝突減衰によってコア部で駆動されるトロイダル回転はさほど期待できない。捕捉イオンの衝突減衰トルクはバウンス平均してゼロであるが、高速捕捉イオンの軌道幅は電子に比べてかなり大きいので、径方向におけるイオンの平均的な存在位置と電子の位置の差 (荷電分離) が定常的な径方向の高速イオン電流を生み、それを打ち消すためにバルクプラズマに流れる逆方向の径方向電流によって  $j_{\text{bulk}} \times B$  トルクが生じ、トロイダル回転を駆動すると考えられる。準垂直 NB が捕捉イオンを多く作り出すことから、本研究では軌道追跡モンテカルロコード OFMC と 1 次元多流体輸送コード TASK/TX[1] を組み合わせてシミュレーションを行い、 $j_{\text{bulk}} \times B$  トルクによるトロイダル回転を再現し、その性質を調べる。

OFMC は NB で供給された高速中性粒子が電離した時点での各磁気面ごとにおける高速イオンの生成分布を捕捉・通過粒子別に計算することができる。今回はさらに有限軌道幅の効果を検討した粒子源分布を計算できるように改造した。OFMC で計算された粒子源分布を引き渡された TASK/TX は準中性条件を陽に課さずシミュレーションを行えることから、径方向電流やトロイダル回転の時間発展を計算することができる。JT-60U に類似したプラズマパラメータを使用し、図 1 のように順方向の準垂直 NB を 3 種類のポロイダル角度から入射し、いずれの角度がトロイダル回転を最も駆動するか調べた。その結果が図 2 であり、(1) は衝突減衰トルクも含めた全トルクによる定常状態におけるトロイダル回転分布、(2) は衝突減衰トルクを人為的に無視したときの回転分布である。どちらの場合でも水平面から入射した場合が最も回転を駆動している事がわかった。イオンの軌道幅が最大となる (c) で軌道幅に比例する  $j_{\text{bulk}} \times B$  トルクが最大になると予想していたが、図 2(2)(3) は水平入射の場合が最大となることを示している。 $j_{\text{bulk}} \times B$  トルクを正しく評価するためには、軌道幅だけでなく、捕捉粒子比率と電離した場所での磁場の強さを考慮しなければならないことを突き止めた。

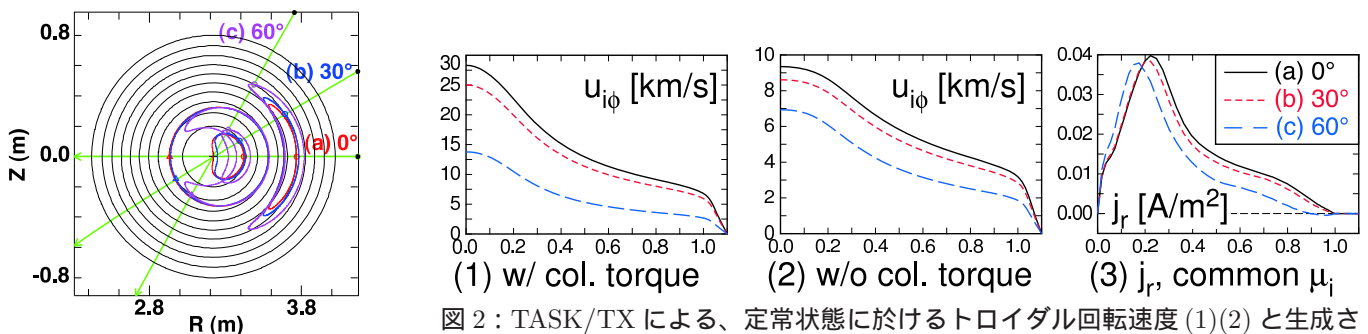


図 1: 三種類のポロイダル角度を持った順方向準垂直 NB が作るイオンの軌道を描いたポロイダル断面。

図 2: TASK/TX による、定常状態に於けるトロイダル回転速度 (1)(2) と生成された径方向電流 (3) の計算結果。(1) は衝突減衰トルクと  $j_{\text{bulk}} \times B$  トルクの両方を考慮したもので、(2) は後者のみを考慮したもの。