

# HIST球状トラス装置における 静電・磁気複合プローブを用いた運動量輸送計測

## Measurements of momentum transport using an electrostatic-magnetic hybrid probe in the HIST spherical torus device

廣納秀年, 花尾隆史, 沖伸晴, 中山貴史, 兵部貴弘, 伊藤兼吾, 松本圭祐, 菊池祐介, 福本直之, 永田正義  
H.Hirono, T.Hanao, N.Oki, T.Nakayama, T.Hyobu K.Ito, K.Matsumoto, Y.Kikuchi, N.Fukumoto, M.Nagata  
兵庫県立大学・院工

Graduate School of Engineering, University of Hyogo

### 1. はじめに

HIST 球状トラス (ST) 装置では, 同軸ヘリシティ入射 (CHI) 方式を用いて ST プラズマの立ち上げおよび電流駆動の研究を行っている。

HIST プラズマにおいて, マッハダイナモプローブによるプラズマのフロー・磁場・電子密度および MHD ダイナモ項の計測と, ホールダイナモプローブによる電流密度・磁場および Hall ダイナモ項の計測を行い, 二流体のダイナモ効果をはじめとする自己組織化現象の探求を行っている。本研究では, 一般化されたオームの式中の共通項を介してダイナモ項と結合する運動量輸送の観点から, 揺動により生じる応力とプラズマフローや電流の駆動の関係について検証を行う。

### 2. 実験結果

揺動により誘起されるプラズマの磁場に平行な運動量のバランスは(1)式で表され, 右辺第一項はレイノルズ応力, 第二項はマクスウェル応力と呼ばれる。ただし, 粘性項や圧力項などは無視し,  $\langle \rangle$  は磁気面に沿ったの平均を意味する。

$$\rho \frac{\partial v_{\parallel}}{\partial t} = -\rho \langle (\tilde{\mathbf{v}} \cdot \nabla) \tilde{\mathbf{v}} \rangle_{\parallel} + \langle \mathbf{j} \times \tilde{\mathbf{B}} \rangle_{\parallel} \quad (1)$$

平衡磁場をトロイダル方向とし ( $B_{\theta} \gg B_z$ ), プラズマの非圧縮性  $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$  および軸対称を仮定しレイノルズ応力項を展開すると(2)式となる。

$$-\rho \langle (\tilde{\mathbf{v}} \cdot \nabla) \tilde{\mathbf{v}} \rangle_{\parallel} = -\rho \left\{ \left( \frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r} \right) \langle \tilde{v}_r \tilde{v}_{\theta} \rangle + \frac{\partial}{\partial z} \langle \tilde{v}_{\theta} \tilde{v}_z \rangle \right\} \quad (2)$$

同様に軸対称を仮定し,  $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  よりマクスウェル応力項は(3)式のように展開できる。

$$\langle \mathbf{j} \times \tilde{\mathbf{B}} \rangle_{\parallel} = \frac{1}{\mu_0} \left\{ \left( \frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r} \right) \langle \tilde{B}_r \tilde{B}_{\theta} \rangle + \frac{\partial}{\partial z} \langle \tilde{B}_{\theta} \tilde{B}_z \rangle \right\} \quad (3)$$

レイノルズ応力は, マッハダイナモプローブを用いて(2)式の微分項以外の  $-\frac{2}{r} \rho \langle \tilde{v}_r \tilde{v}_{\theta} \rangle$  のみ同時計測可能である。また, マクスウェル応力はホールダイナモプローブで  $\langle \mathbf{j} \times \tilde{\mathbf{B}} \rangle_{\parallel}$  を直接計測可能であり, 両プローブによる運動量輸送項の計測結果を図 1(c) に示す ((1)式両辺を  $\rho$  で割り加速度の単位で比較)。図 1(c) より, トロイダルフローが負の加速度を持つとき, 両応力の和も負の値を示し

ており, 両応力がトロイダルフローを変化させる一因であると考えられる。

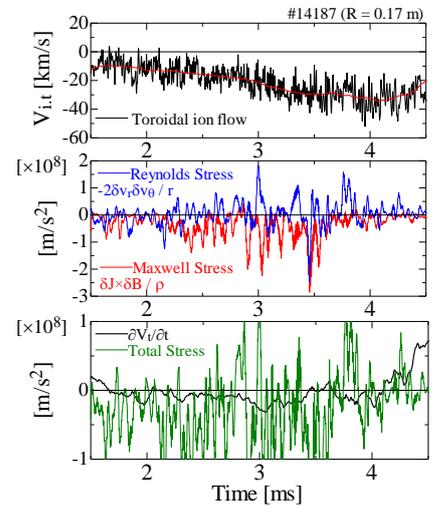
今回の実験では, (1)式の全項を同時に計測できるプローブを製作し, 従来のプローブでの未計測分も考慮して運動量輸送を評価する。軸対称を仮定し, ミッドプレーン ( $Z = 0$ ) のトロイダル断面の同径円周上に図 2 の 2 本のプローブを挿入し, 図 2(a) のように径方向に 3 箇所配置した 3 軸方向のマッハプローブを用い  $\langle \tilde{v}_r \tilde{v}_{\theta} \rangle$  に関する項の計測と, 図 2(b) のように  $z$  方向に 3 箇所配置した 2 軸方向 ( $\theta, z$ ) のマッハプローブを用い  $\langle \tilde{v}_{\theta} \tilde{v}_z \rangle$  に関する項の計測を行い, (2)式のレイノルズ応力項を算出する。また, 2 本のプローブそれぞれに内蔵する磁気プローブを用いて各項を計測し, (3)式の演算を行うことマクスウェル応力項を得る。講演ではこれら 2 本のプローブによる計測・解析結果について詳細を報告する。



(a) Mach  
Dynamo Probe



(b) Hall  
Dynamo Probe



(c) 磁場に平行な運動量バランス

図1 運動量バランスの計測



(a) Radial Mach Dynamo  
Probe Array



(b) Poloidal Mach Dynamo  
Probe Array

図2 運動量輸送計測用プローブ