

QUEST のオーミック放電におけるダイバータプラズマの垂直位置フィード  
バック制御の検討

Analysis of Vertical Position Feedback Control of Divertor Plasma  
in Ohmic Discharge of QUEST

王 靖霆<sup>1</sup>, 筒井 広明<sup>1</sup>, 中村 一男<sup>2</sup>, 恩地 拓己<sup>2</sup>, 長谷川 真<sup>2</sup>, 御手洗 修<sup>3</sup>  
WANG Jingting<sup>1</sup>, TSUTSUI Hiroaki<sup>1</sup>, NAKAMURA Kazuo<sup>2</sup>, ONCHI Takumi<sup>2</sup>,  
HASEGAWA Makoto<sup>2</sup>, MITARAI Osamu<sup>3</sup>

東工大<sup>1</sup>, 九大応力研<sup>2</sup>, 先進核融合・物理教育研<sup>3</sup>  
Tokyo Tech.<sup>1</sup>, RIAM, Kyushu Univ.<sup>2</sup>, Institute for Advanced Fusion and Physics  
Education<sup>3</sup>

QUEST は、従来のトカマクよりも比較的スリム化されており、より弱い磁界でも高温高密度なプラズマを閉じ込めることが可能とされる球状トカマクである。QUEST 装置の実験を通常のオーム加熱するトカマク放電にも実行可能にしようとしている。プラズマの形状が縦長になるダイバータ放電において、垂直位置不安定性が発生することにより、プラズマの垂直位置のフィードバック制御が重要である。そこで、QUEST 装置のオーミック放電にむけて、軸対称電磁流体解析コード TSC(Tokamak Simulation Code) を用いて、ダイバータプラズマの垂直位置フィードバック制御のシナリオを検討する。

TSC コードは、自由境界軸対称トカマク・プラズマの放電とそれに関連する制御システムの数値解析コードであり、矩形の計算グリッド上で磁性流体方程式を解くことにより、時間の経過に伴う自由境界プラズマ放電を解析する。プラズマの質量を増大させ、対流項の代わりに粘性項を導入することにより、プラズマ運動方程式を高速に解くことができる [1]。軸対称の場合、磁場は以下のように表記できる。

$$\mathbf{B} = \nabla\varphi \times \nabla\Psi + g\nabla\varphi \quad (1)$$

ここで、 $\Psi$  はラジアンあたりのポロイダル磁束、 $g$  はトロイダル磁場関数であり、 $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  を自動的に満足する。速度場も非圧縮性部分と圧縮性部分を別々に数値処理できるようにするには、ポロイダル流れ関数  $A$ 、トロイダル成分  $\omega$ 、およびポテンシャル  $\Omega$  (圧縮性部分) を用いて、プラズマ運動量密度  $\mathbf{m} = M_i n \mathbf{v}$  ( $M_i$ : プラズマイオンの質量、 $n$ : プラズマ密度、 $\mathbf{v}$ : プラズマイオンの速度) を表記すると便利である。

$$\mathbf{m} = \nabla\varphi \times \nabla A + \omega\nabla\varphi + \nabla\Omega \quad (2)$$

近似的には満足されますが、完全に満足すると、右辺がゼロになってしまいます。運動方程式を

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} + \mathbf{F}_v(\mathbf{m}) = \mathbf{j} \times \mathbf{B} - \nabla p \quad (3)$$

として表現することができる。

今回は、QUEST 装置オーミックダイバータ放電におけるプラズマの垂直位置フィードバック制御のシナリオを提示する。垂直位置フィードバック制御システムとプラズマ電流フィードバック制御システムが組み合わせられ、組み合わせた制御システムを使用して、リミッター配位の初期平衡プラズマからダイバータプラズマへの安定した放電が達成され、Figure. 1 のシナリオを確認した。

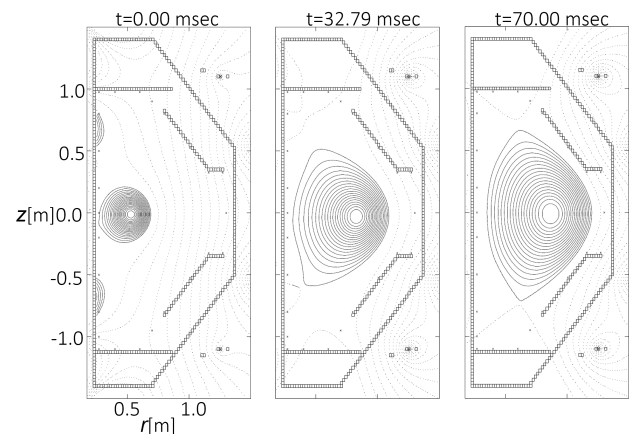


Figure. 1:  $I_p(0) = 15\text{kA}$ , 放電時間  $t = 70\text{msec}$ , プラズマポロイダル磁気面の時間変化

## References

- [1] S.C Jardin, N Pomphrey, and J Delucia. Dynamic modeling of transport and positional control of tokamaks. *Journal of Computational Physics*, 66(2):481-507, 1986.