

極限的高ベータプラズモイドの超アルヴェン速度衝突過程における
トロイダルモード対称性

Toroidal mode symmetry of extremely high-beta plasmoid on super-Alfvenic collision process

長田昌之, 小林大地, 浅井朋彦, 高橋努

Masayuki Nagata, Daichi Kobayashi, Tomohiko Asai, Tsutomu Takahashi

日大理工
Nihon Univ.

【はじめに】

磁場反転配位 (FRC) の生成方法のひとつである逆バイアスシートピンチ (FRTP) 法では, 生成過程においてトロイダル方向の非対称性の成長により, FRCが平衡に至る前に崩壊する場合がある^[1]。日本大学のFAT-CM装置では, 装置両端に同軸上に設置された生成領域から2つのプラズモイドを中央の閉じ込め部へ超アルヴェン速度で移送し, 衝突合体させることでFRCを生成している。FRTP法と同様に衝突時のトロイダル対称性は, プラズマの安定性に大きな影響を与えると考えられる。このため閉じ込め部 ($z = \pm 0.9\text{m}$) に分割型sin-cosプローブを設置し, 初期プラズモイドが衝突合体する際のトロイダル磁場を計測し, その対称性について調べている。

【分割型sin-cosプローブ】

方位角方向に等間隔に N 個のコイルを並べたものを分割型sin-cosプローブと呼ぶ (図1参照)。各プローブから得られる磁束密度の積分量に, 対応する重みを掛けて足し合わせることで $N/2$ 以下のモード数のモード解析を行うことができる。

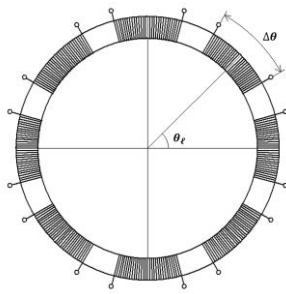


図1 分割型 sin-cos プローブ

例えば, n モードのモード解析を行う場合, 実験値から以下の量を求める。

$$V_{\cos_n} \equiv \sum_{\ell=1}^N \left\{ \int_{\theta_{\ell}-\frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_{\ell}+\frac{\Delta\theta}{2}} B_{\theta}(\theta) d\theta \times \cos n\theta_{\ell} \right\} \quad (1)$$

$$V_{\sin_n} \equiv \sum_{\ell=1}^N \left\{ \int_{\theta_{\ell}-\frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_{\ell}+\frac{\Delta\theta}{2}} B_{\theta}(\theta) d\theta \times \sin n\theta_{\ell} \right\} \quad (2)$$

上式は, $B_{\theta}(\theta)$ をフーリエ級数展開して整理することで以下のように整理することができる。

$$\frac{nV_{\cos_n}}{N \sin \frac{n\Delta\theta}{2}} = a_n + \sum_{m=-\infty}^{\infty} (X_m a_{mN-n} + Y_m a_{mN+n}) \quad (3)$$

$$\frac{nV_{\sin_n}}{N \sin \frac{n\Delta\theta}{2}} = b_n + \sum_{m=-\infty}^{\infty} (-X_m a_{mN-n} + Y_m b_{mN+n}) \quad (4)$$

ただし,

$$X_m = (-1)^m \frac{\sin \frac{(mN-n)\Delta\theta}{2}}{\sin \frac{n\Delta\theta}{2}} \frac{n}{mN-n} \quad (5)$$

$$Y_m = (-1)^m \frac{\sin \frac{(mN+n)\Delta\theta}{2}}{\sin \frac{n\Delta\theta}{2}} \frac{n}{mN+n} \quad (6)$$

各コイル間に隙間がない完全な分割型sin-cosプローブでは, $\Delta\theta = 2\pi/N$ で, $X_m = -n/mN - n$, $Y_m = n/mN + n$ となる。このように完全な分割型sin-cosプローブは, 高次モードが $n/mN \pm n$ 倍されて混入するのでミルノフプローブよりも精度の高いモード解析を行うことができる。コイル間に隙間がある場合は, 式(5), (6)を適用する。本研究では, 均等に隙間を開けて設置された8個のコイルで構成された分割型sin-cosプローブ ($N = 8$, $\Delta\theta = \pi/8$) を用いてモード解析を行った。図2に, 初期実験で得られた $n = 1$ モードの強度の時間変化を示す。

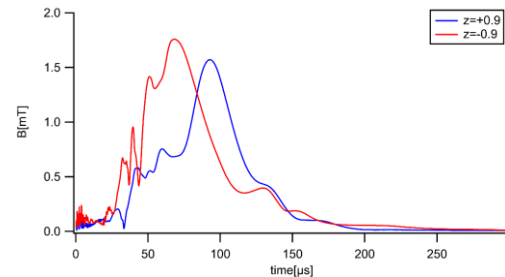


図2 分割型 sin-cos プローブで観測される
 $n = 1$ モードトロイダル磁場

【参考文献】

[1]M. Tuzewski, et al. :“Axial dynamics in field-reversed theta pinches. II :Stability” ,Physics of Fluids B:Plasma Physics 3, 2856, 1991.