

# LHDにおける高速イオン励起Geodesic acoustic modeの突発的励起の観測 Observation of abrupt excitation of energetic-particle driven geodesic acoustic mode in the LHD

井戸毅<sup>1</sup>, 伊藤公孝<sup>1</sup>, 長壁正樹<sup>1,2</sup>, M. Lesur<sup>3</sup>, 清水昭博<sup>1</sup>, 小川国大<sup>1,2</sup>, 東井和夫<sup>1</sup>,  
西浦正樹<sup>4</sup>, 居田克巳<sup>1</sup>, 稲垣滋<sup>5</sup>, 伊藤早苗<sup>5</sup>  
IDO Takeshi<sup>1</sup>, ITOH Kimitaka<sup>1</sup>, OSAKABE Masaki<sup>1,2</sup>, LESUR Maxim<sup>3</sup>,  
SHIMIZU Akihiro<sup>1</sup>, OGAWA Kunihiko<sup>1,2</sup>, TOI Kazuo<sup>1</sup>, NISHIURA Masaki<sup>4</sup>, IDA Katsumi<sup>1</sup>,  
INAGAKI Shigeru<sup>5</sup>, ITOH -I Sanae<sup>5</sup>

<sup>1</sup>核融合科学研究所 (National Institute for Fusion Science)

<sup>2</sup>総合研究大学院大学 (SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Study))

<sup>3</sup>Institut Jean Lamour, Universite de Lorraine

<sup>4</sup>東京大学大学院新領域創成科学研究科

(Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo)

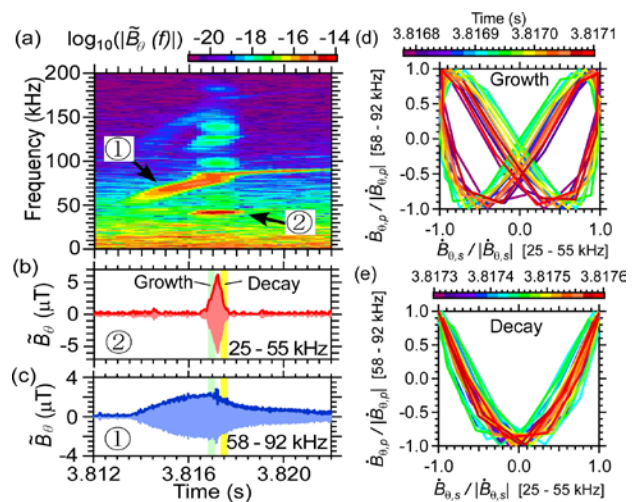
<sup>5</sup>九州大学応用力学研究所 (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University)

LHDにおける低密度プラズマに加熱用中性粒子ビームを接線方向に入射した際、周波数が上方掃引する高速イオン励起Geodesic acoustic mode(EGAM)が励起される[1](図(a)の①, (c))。この掃引周波数が通常のGAM周波数の2倍 (~ 80 kHz) に達する際に、GAM周波数 (~ 40kHz) を持つモード (図(a)②, (b)) が、大きな成長率 (~ 20 (1/ms)) を持って突発的に励起される現象が観測された[2]。この突発的励起モードの振幅は元々存在するEGAMの2倍程度の大きな振幅に達する場合があります、プラズマに対してより大きな影響を及ぼす可能性もあるため、核融合炉開発の観点からも注意すべき現象である。本研究は、Mirnovコイルによる磁場揺動、HIBPによる電位揺動と密度揺動の計測を基に、この突発現象の解明を目的として行った。

突発的に励起されるモードの同定を行うために、HIBPを用いてモードに伴う電位揺動及び密度揺動の空間構造を測定したところ、それぞれ上下対称及び反対称であり、GAMの空間構造 (ポロイダルモード数を $m$ とすると、電位揺動が $m=0$ 、密度揺動が $m=1$ ) と一致しており、突発的モードもGAMであると同定された。

次に、元のEGAMと突発的GAMの関係を調べるためにその位相関係を調べたところ、図(d),(e)に示すように位相関係はランダムではなく、突発的GAMの励起にモード間結合が重要な役割を果たしていることが明らかになった。この励起機構として、M. Lesurらによって流体的モード結合と運動論効果を取り入れたモデルが提案されており、これに基づく非線形シミュ

レーションによって実験結果が再現されている[3]。この突発的に励起されるGAMは、周波数上方掃引するEGAMが存在しない状態では安定であることから、今回観測された現象は、高速イオンの速度分布関数の勾配によって励起された超臨界モード (この場合EGAM) による亜臨界モードの突発的励起現象を示していると考えられる。



図(a)磁場揺動のスペクトログラム。(b)25-55kHz成分の時間変化とそのエンベロープ(太線)。(c)58 - 92 kHz成分の時間変化とそのエンベロープ。(d)と(e)突発的モードの成長及び減衰時間帯における突発モード(横軸)とEGAM(縦軸)のリサージュ図。波形は振幅で規格化してある。

[1] T. Ido, et al., Nucl. Fusion 55, 083024 (2015)

[2] T. Ido, et al., Phys. Rev. Lett. (2015) in press

[3] M. Lesur, et al., Phys. Rev. Lett. (2015) in press