

# LHDノックオンテイル観測実験における入射 ${}^6\text{Li}$ 挙動に関する研究

## Study on pellet-injected ${}^6\text{Li}$ behavior for knock-on-tail observation experiment on the LHD

満井渡<sup>1</sup>, 松浦秀明<sup>1</sup>, 木村建斗<sup>1</sup>, 小川国大<sup>2,3</sup>, 磯部光孝<sup>2,3</sup>, 西谷健夫<sup>2</sup>,  
川本靖子<sup>2</sup>, 大石鉄太郎<sup>2,3</sup>, 後藤基志<sup>2,3</sup>, 田村直樹<sup>2,3</sup>, 長壁正樹<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>九大院工 <sup>2</sup>核融合研 <sup>3</sup>総研大

MITSUI Wataru<sup>1</sup>, MATSUURA Hideaki<sup>1</sup>, KIMURA Kento<sup>1</sup>, OGAWA Kunihiro<sup>2,3</sup>,  
ISOBE Mitsutaka<sup>2,3</sup>, NISHITANI Takeo<sup>2</sup>, KAWAMOTO Yasuko<sup>2</sup>, OISHI Tetsutarou<sup>2,3</sup>,  
GOTO Motoshi<sup>2,3</sup>, TAMURA Naoki<sup>2,3</sup>, OSAKABE Masaki<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Kyushu Univ., <sup>2</sup> NIFS, <sup>3</sup> SOKENDAI

### 【緒言】

核燃焼プラズマにおいて、高速イオンの散乱過程には、Coulomb散乱に加え核力による核弾性散乱の影響が現れる [1]。核弾性散乱はCoulomb散乱と比較して大角度の散乱であり、イオンは一度の散乱で大きなエネルギーを輸送する。核弾性散乱を介してバルクイオンは高エネルギー領域へ反跳され、イオンの分布関数上にノックオンテイルと呼ばれる非Maxwell成分が形成される。核弾性散乱は核融合反応率係数の増加や減少をもたらす、核融合生成物の放出スペクトルが歪むことがわかっている [2]。しかし、核弾性散乱効果の検証は不十分であり、定量的な評価を行うために検証実験が必要である。2017年から核融合科学研究所が保有する大型ヘリカル装置 (LHD) において、ノックオンテイル観測実験を行っており、 ${}^6\text{Li}$ を入射し ${}^6\text{Li}(d,p\gamma){}^7\text{Li}$ 核反応により生成される $\gamma$ 線を用いたノックオンテイルの観測を検討している。第21サイクルLHD実験では、 ${}^6\text{Li}$ を内包する不純物ペレットの入射が確認できたが、Li自体の入射は確認できていない (中心域での密度及び滞在時間は期待した値より少なくとも1桁以上小さかったと推定している)。 $\gamma$ 線を用いたノックオンテイルの観測においては、できるだけ多くの ${}^6\text{Li}$ をプラズマ中心付近に入射し、できるだけ長く留めておく必要がある。中心付近の ${}^6\text{Li}$ 密度を高めるためのプラズマ条件とペレットの検討を行ったので報告する。

### 【解析条件および検討結果】

イオン密度の空間分布、時間変化はSTRAHLコード [3]で計算を行い、不純物ペレットの溶発過程に関しては中性ガス雲静電遮蔽モデル [4]を用いた。第21サイクルLHD実験の結果を参考に (入射後も不純物ペレットの元素構成比が保たれ ${}^6\text{Li}$ 密度は電子密度の1/100と仮定) して、STRAHLで用いるLiの拡散係数を一様に $D=0.3\text{ m}^2/\text{s}$ 、対流速度を外向き線形に $V(0)=0\text{ m/s}$ 、 $V(a)=2.0\text{ m/s}$ とした。Fig. 1に不純物ペレットの概略図と実物の写真を示す。不純物ペレットは円筒状炭素と内包物で構成されており、使用するペレット入射装置の条件 [5]より、寸法は外径1.4 mm×高さ1.4 mmとした。また、内包物は95%に ${}^6\text{Li}$ 濃縮を施したLiF及びLi単体とした。また円筒状炭素への内包物の充填は、Li単体を扱う場合はAr雰囲気で行い、両端を接着剤で固定した。

Fig. 2 (a)に、 $T_e=3\text{ keV}$ 、 $n_e=10^{19}\text{ m}^{-3}$ のプラズマにLiFおよびLi単体を内包物とし、内径 $d=0.8\text{--}1.2\text{ mm}$ まで変化させたときの溶発位置及び入射前ペレットが内包する ${}^6\text{Li}$ 原子核の数を示す。また、Fig. 2 (b)にこのプラズマ条件における $r/a=0.3$ での ${}^6\text{Li}$ 密度を示す。LiFは製作したペレットの実測値から充填割合を24%とした。Fig. 2 (a)から内包する ${}^6\text{Li}$ 原子核の数はLi単体の方が多いが炭素溶発後の溶発位置は昇華エネルギーの差からLiFの方がより中心に近づいた。しかし、Fig. 2 (b)から同条件のプラズマに対してペレットの ${}^6\text{Li}$ の充填量が ${}^6\text{Li}$ 密度上昇により強く影響することが示された。中心付近の ${}^6\text{Li}$ 密度を高めるためにはペレット内径を大きくし、より多くLi化合物を充填する必要がある。なお、拡散係数及び対流速度は、入射後の不純物ペレットの元素構成比が保たれると仮定した上で実験結果を参考に求めており、 ${}^6\text{Li}$ 密度は今回の推定値より減少する可能性がある。発表では最適なプラズマ条件についても検討を行う。

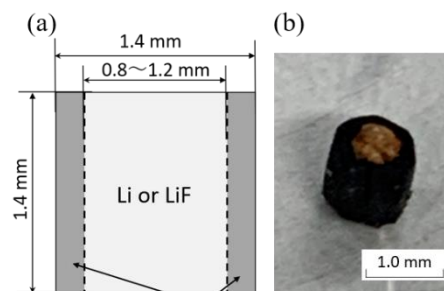


Fig. 1: (a) the schematic and (b) the photo of an impurity pellet.

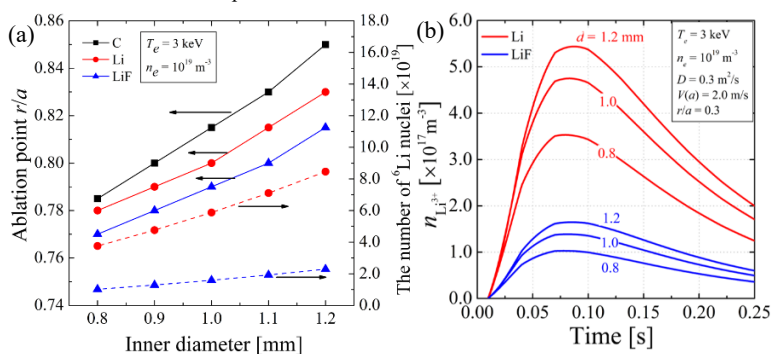


Fig.2: (a) ablation point  $r/a$  and the number of  ${}^6\text{Li}$  nuclei and (b) temporal evolution of  $\text{Li}^{3+}$  density.

[1] J. J. Devaney and M. L. Stein: Nucl. Sci. Eng., 46, (1971), 323. [2] 松浦秀明, 他, プラズマ・核融合学会誌, 91, (2015), 449.  
[3] K. Behringer, Rep. JET-R (87) 08, JET Joint Undertaking, Abingdon (1987). [4] V. Yu. Sergeev et al., Plasma Phys. Rep. 32, 363 (2006).  
[5] X. L. Huang et al., Rev. Sci. Instrum. 85, 11E818 (2014).