

## 微粒子のトリチウム蓄積測定技術の開発と

## JET ITER-like wall実験で生成されたダストへの応用

## Development of measurement technique of tritium retention in fine particles and its application to dust in JET with ITER-like wall

大塚 哲平<sup>1</sup>, 芦川 直子<sup>2</sup>, 増崎 貴<sup>2</sup>, 朝倉 伸幸<sup>3</sup>, 林 巧<sup>3</sup>, 谷川 博康<sup>3</sup>, A. Widdowson<sup>4</sup>, M. Rubel<sup>5</sup>  
 Teppei OTSUKA<sup>1</sup>, Naoko ASHIKAWA<sup>2</sup>, Suguru MASUZAKI<sup>2</sup>, Nobuyuki ASAKURA<sup>3</sup>, Takumi  
 HAYASHI<sup>3</sup>, Hiroyasu TANIGAWA<sup>3</sup>, Anna WIDDOWSON<sup>4</sup>, Marek RUBEL<sup>5</sup>

近大<sup>1</sup>, 核融合研<sup>2</sup>, 量研機構<sup>3</sup>, Culham CFE<sup>4</sup>, Royal Inst. Technol.<sup>5</sup>

KINDAI Univ.<sup>1</sup>, NIFS<sup>2</sup>, QST<sup>3</sup>, Culham CFE<sup>4</sup>, Royal Inst. Technol.<sup>5</sup>

炭素壁を用いた磁場閉じ込め核融合炉では、プラズマ壁相互作用により多量の炭素ダストが発生し、炭素 (C) ダストにトリチウム (T) が蓄積することが報告されている[1]。ダストに蓄積したTは、取り除くことが困難であり、炉内のTインベントリを増加させるので、炉運転の安全性に大きな影響を及ぼすと考えられる。このためITERでは、ダストの発生を抑制し、Tインベントリを小さくすることを目的として金属壁が用いられることになっている。金属壁は、ダイバータとしてのタングステン (W) や第一壁としてのベリリウム (Be) である。また、壁の取り付けボルト材には鉄 (Fe) やニッケル (Ni) 系の合金も利用される。これら金属 (合金) とプラズマとの相互作用で生じたダストのT蓄積特性は金属の種類 (組成)、サイズや微細構造によって異なると予想される。

従来のCダストへのT蓄積挙動の評価として、ダストの総量または単位質量あたりのT蓄積量が調べられてきた。しかし、個々のダスト、すなわち微粒子について、組成、サイズや微細構造とT蓄積特性との関係を調べた例はない。本報告では、まず、トリチウムイメージングプレート法 (TIPT) [2]をダストを模擬した微粒子に適用し、その有用性を示し[3]、実際の核融合実験炉JETで発生したダストに応用した結果を紹介する[4]。

## TIPTによる微粒子のトリチウム蓄積測定

TIPTは、材料中のTから放射されたβ線をイメージングプレート (IP) の輝尽性蛍光物質に入射させ、β線の積算入射強度を輝尽性蛍光強度に変換して定量するとともに、その二次元 (表面) 分布を可視化するものである。その空間分解能は、原理的には、材料中および輝尽性蛍光

物質中のTβ線飛程に相当する数μmであるが、IP読み取り装置のレーザーの分解能の制限があるため25 μmまたは50 μmである。

図1(a)はダストへのTIPT適用の概念図を示している。図中、飛散しないようにダストを粘着シートや銅テープなどに固定したあと、IPをダストに密着させて、ダスト表面または内部に含まれるTから放射されたβ線をIPで可視化・定量化する様子を示している。図1(b)に本研究で用いたダストの模擬微粒子を示す。TIPTの定量性を確認するために、模擬微粒子として水素 (T) 吸収量が既知であるチタン (Ti) の球状粒子 (平均粒径30 μmおよび100 μm) を用いた。

図2(a)に粘着テープ上に分散したチタン粒子の分布状況の光学顕微鏡写真を、(b)に同じ領域のTβ線強度分布を示す。図中、Tβ線強度は赤色で最も高いことを表しており、黄色、緑色か

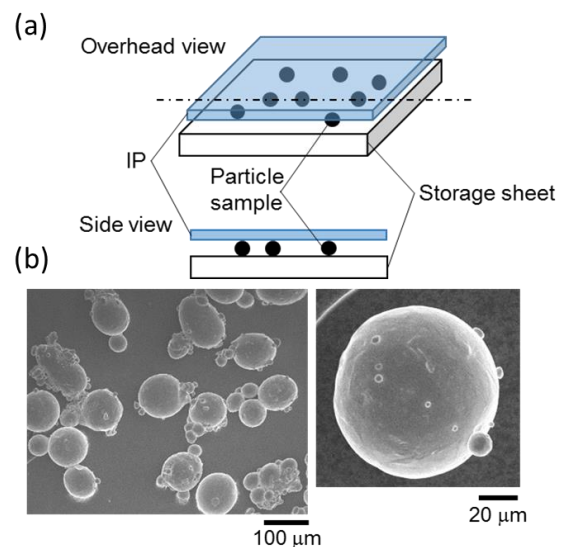


図1 (a)ダスト模擬粒子へのTIPT適用の概念図および(b)球状Ti微粒子

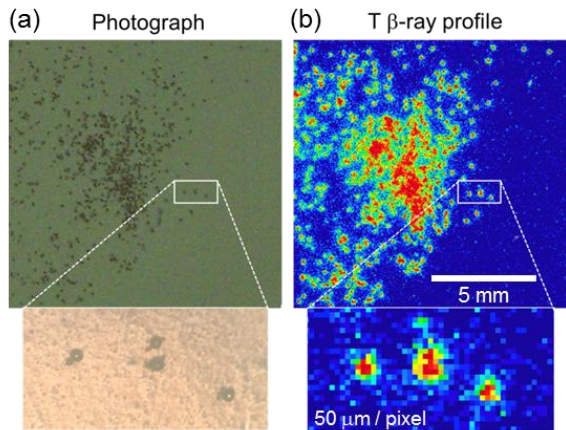


図2 (a)トリチウムを吸収させたTi微粒子の分布状態の光学写真および(b)IP像

ら青色になるにつれて指数関数的に減少している。両者の分布は良く一致しており、ダスト粒子に吸収されたTが検出されていることがわかる。チタン粒子が完全な球形であり、粒子中のT濃度が一定であると仮定すると、β線強度とラジオグラフィ用T濃度ラベルとの関係から得られた粒子中のT量は $41 \pm 3$  Bq/粒子と求められた。これはチタン粒子に吸収させたTの既知量から算定した値(42 Bq/粒子)と良く一致していた。一方、粒径30 μmの粒子では、β線強度が予想よりも10倍程度大きかったことから、粒子が小さくなるにつれて表面積が相対的に増加することにより、内部に吸収されたTよりも表面近傍に偏在したTから放射されたβ線強度の影響が大きくなることがわかった。また、吸熱型水素溶解金属の微粒子では、内部のTが拡散放出されてしまった後、強く表面近傍に捕獲され、取り残されたTからのβ線強度が検出されることがわかった。

#### JET-ILWダストへの応用

ITERにさきがけて、JETにおいてITER-like wall (ILW)を用いたプラズマ実験(1st キャンペーン)が行われた結果、ダストの発生は極めて少なく、炭素壁を用いていたJET (JET-C)での実験に比べて、ダスト量は1/100以下であることがわかった[5]。また、ダストの種類や形状、微細組織が多岐に渡ることも報告されている[6]。BA活動共同研究において、JETで採取された0.77 gのダストのうち、0.14 gが六ヶ所核融合エネルギー研究センターIFERCに運搬された。IFERCにおいて、0.1 mg程度のダストをインジウム(In)製のベッドに固定した後[7]、ダストに取り込まれたTから放射されたβ線強度分布

を測定した。また、同じ領域を電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)で観察した。TIPTで得られたTβ線強度分布およびEPMAで得られた元素分布を重ね合わせた結果が図3である。

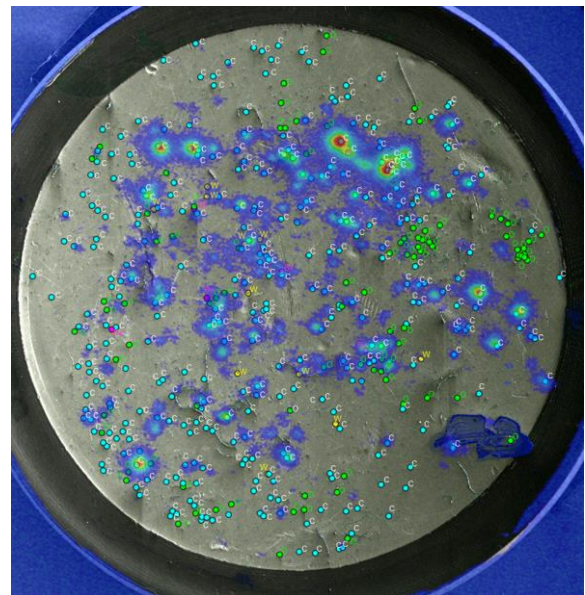


図3 IP像とEPMA像との重ね合わせ結果

図中、Tβ線強度が高い(赤色や黄色)の領域にはCを主成分とするダスト(C-ダスト)が存在することがわかる。また、今回採取されたダストは大多数がC-ダストであり、ほとんどのTがC-ダストに取り込まれていることがわかった。さらに、WやBeを主成分とするダスト(W-およびBe-ダスト)のトリチウムβ線強度を測定することに成功し、W-およびBe-ダストのT蓄積量はC-ダストの1/100~1/10であることを明確に示すことができた。

本研究はITER BA活動、科学研究費JP26289353、およびNIFS-富山大学双方向研究No. NIFS13KUHR023の一環として実施されたものです。

- [1] J. Roth, *et al.*, Plasma Physics and Controlled Fusion, 50 (2008) 20.
- [2] T. Otsuka, T. Tanabe, Mater. Trans., 58 (2017) 1364-1372.
- [3] T. Otsuka, Y. Hatano, Phys. Scri., T167 (2016) 4.
- [4] T. Otsuka, S. Masuzaki, N. Ashikawa, *et al.*, Nuclear Materials and Energy, to be published.
- [5] A. Baron-Wiechec, *et al.*, Nucl. Fusion, 55 (2015) 113033.
- [6] M. Rubel, *et al.*, Fusion Eng. Des., Volume 136, Part A (2018) 579-586.
- [7] N. Ashikawa, N. Asakura, *et al.*, J. Nucl. Mater., S438 (2013) S664.