

ブランケットモジュール中性子輸送の水素イオンビームによる積分実験の検討

Study of integral experiments of neutron transport in blanket module with hydrogen ion beam

* 杉山 大志¹, 小西 哲之², 笠田 竜太²

¹ 京都大学大学院エネルギー科学研究科, ² 京都大学エネルギー理工学研究所

核融合ブランケットモジュールで、体積中性子源による中性子輸送を水素同位体イオンビームとモジュール表面の核融合反応によって生成する中性子によって実験的に評価する方法を検討した。小型モジュールに反射材、減速材を組み合わせて構成する中性子場を MCNP により解析し、原型炉 TBR の検証方法を検討した。

キーワード: 核融合、ブランケット、TBR、原型炉、MCNP、水素イオンビーム

1. 緒言

原型炉では総合 TBR > 1 が必須であり、高い精度でブランケットモジュールの増殖性能を検証することがその設計過程で必要であるが、現存の点線源や遮蔽ブランケットで包囲される ITER-TBM の中性子場は原型炉と大きく異なる。本研究では原型炉で用いるブランケットモジュール内の中性子場を、重水素イオンビームを金属ターゲットに当てることで DD 反応による面積中性子線源とし、原型炉で用いるブランケットモジュール内の中性子場を模擬し、中性子輸送計算をベンチマークできるような実験を検討する。小型のモジュールに反射材、減速材に適切な材料を選定し、MCNP によって内部の中性子場を解析した。

2. 解析

重水素イオンビームが、ブランケットモジュール模擬体表面に施した Ti コーティング上の吸着重水素と核融合反応を起こし、一様、単色で等方的な中性子源となる。原型炉ブランケットモジュールに入射したときの中性子輸送計算を行った。解析は MCNP を使って行い、核データは FENDL-2.1 を使用した。モジュール模擬体系については過去に JAERI が提案していたもの [1] を参考に MCNP のジオメトリを作成した。作成したジオメトリの一部を Fig.1 に示す。線源は 14.1 MeV の単色面積線源で Fig.1 の矢印の方向から中性子が飛んでくることを想定しているが、解析上体積線源と差はない。原型炉ブランケットの中性子場を想定する場合は zx 平面と yz 平面の境界条件は中性子全反射である。

実験用の小型モジュールについては増殖材に Li_2TiO_3 、反射材にグラファイト、減速材に H_2O 、重水素イオンビーム金属ターゲットとして Ti、その他構成材として F82H を用いてジオメトリを作成した。作成したものを Fig.2 に示す。重水素イオンビームは Fig.2 の矢印の方向からビーム軸をモジュールの中心に打ち込むと仮定した。中性子線源としては、最も原型炉条件と差が出るケースを想定して中性子発生確率をビーム軸対象のガウス分布 (FWHM=5 cm) を仮定したが、一様な大面積線源とすることも可能である。

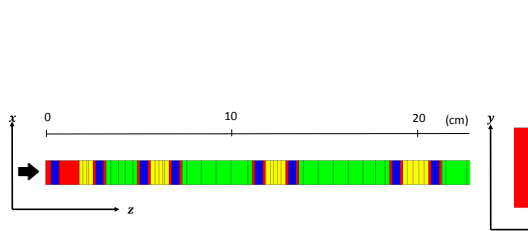


Figure 1 原型炉模擬体系 赤:F82H, 青:H₂O, 黄:Li₂TiO₃, 緑:Be

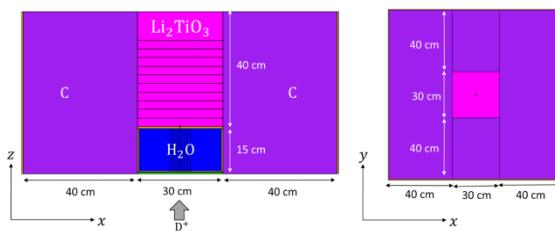


Figure 2 実験用小型モジュール ピンク:Li₂TiO₃, 紫:グラファイト, 青:H₂O

3. 結果・考察

小型モジュールによって原型炉模擬体系内の中性子エネルギースペクトルを模擬した一例を Fig.3 に示す。Fig.3 の赤線は Fig.1 の模擬体系の表面から 1.8 cm の Li_2TiO_3 の xy 平面を通過する中性子エネルギースペクトルを示している。緑線は Fig.2 の H_2O と Li_2TiO_3 の境界 xy 平面のうち、ビーム軸中心から 1 cm 角の正方形を通過する中性子エネルギースペクトルを示している。Fig.3 に見られるように、原型炉模擬体系の 1 eV~2.45 MeV の中性子エネルギースペクトルに近いスペクトルを小型モジュールによって模擬できることが分かる。実際の実験でビーム軸上の Li_2TiO_3 を取り出し、トリチウム生成量を測定し、MCNP の計算上のトリチウム生成量と比較することで TBR の推測の限界を知ることができる。また逆に、必要な積分実験の精度に合わせた中性子場の構成を、同様な計算で設計することも可能となる。

小型モジュールを用いる利点としては、減速材の H_2O 厚みを変更したり、 Li_2TiO_3 の間に Be のような中性子増倍材を挟むことで、原型炉で用いるような大型のモジュールを作らなくてもブランケットモジュール内の任意の場所の中性子スペクトルを模擬できる可能性があることである。また以前の JAEA の FNS 等の実験 [2] では、DT 反応による点線源を使用していたため、中性子束は材料の平均自由行程から計算される減衰と、距離の二乗に反比例して減衰する二つの減衰があったが、広がりを持った体積線源を用いることで、距離の二乗に反比例して減衰する効果を小さくして実験することができる。本研究の方法論を用いることで、原型炉ブランケットの増殖性能を、巨大な設備を用いずに積分実験でベンチマークできる可能性が示された。

参考文献

[1] Yoshihiko YANAGI, Satoshi SATO, Mikio ENOEDA*, Toshihisa HATANNO, Shigeto KIKUCHI, Toshimasa KURODA, Yasuo KOSAKU and Yoshihiro OHARA, Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 38, No. 11, p. 1014-1018 (November 2001)

[2] Keitaro Kondo*, Yosuke Tatebe, Kentaro Ochiai, Satoshi Sato, Kosuke Takakura, Seiki Ohnishi, Chikara Konno, Fusion Engineering and Design Volume 85, Issues 7-9, December 2010, Pages 1229-1233

*Taishi Sugiyama¹, Satoshi Konishi² and Ryuta Kasada²

¹ Graduate School of Energy Science, Kyoto Univ., ² Institute of Advanced Energy, Kyoto Univ.

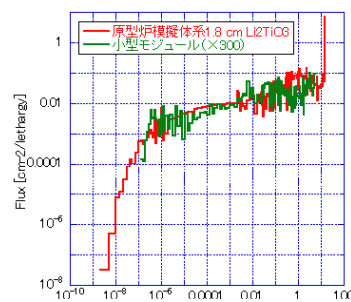


Figure 3 中性子エネルギースペクトルの比較