

計測の占有面積と中性子照射計画 Available surface area for diagnostics and plan for neutron irradiation

太田 雅之¹, 染谷 洋二¹, 江尻 晶²
Masayuki OHTA¹, Youji SOMEYA¹, Akira EJIRI²

¹量研, ²東大
¹QST, ²Univ. of Tokyo

原型炉の計測制御を難しくする要因として、第一壁のほとんどがトリチウム増殖ブランケットで覆われるため、計測に用いることができる占有面積が小さいことが挙げられる。さらに、厳しい中性子環境に晒されることから、使用できる機器が限定され、設置場所についても制約されることになる。計測制御機器への中性子照射に対する電氣的・工学的な健全性を調べるのが原型炉において重要である。今回、原型炉で設置予定の計測制御機器に対する中性子照射量を評価し、中性子照射試験計画について検討した。

これまでに、原型炉計測制御ワーキンググループでは、原型炉で実施する計測について検討してきた。原型炉で要求される視線数等の要求性能、配置上の制約、放射線環境を考慮しながら、各計測について、ITER等での同種計測の情報から、構成と大まかなサイズを検討した。本検討から、計測の第一壁占有面積は、第一壁の全面積1100 m²の約0.5%に当たる5.4 m²と評価できる。占有面積の評価の他、構成部品の部品名、配置場所、個数、サイズ、材質、照射試験実施の有無についても決定した。対象部品の中性子フラックスは、原型炉内での配置場所で決まる環境中性子フラックスとダクトでのストリーミングで決まる視野中性子フラックスの和から求めた。機器の交換年数（使用期間）は2年とし、さらに安全率2倍をかけて、評価対象とする最大のフルエンスを評価した。この最大照射フルエンスに対して、1、1/2、1/5、1/10、1/20、1/50倍の6つの条件について照射試験データを取得することを想定している。各計測では、同じ部品、同じ素材の部品を用いている場合が多数あり、それらの中で最大フルエンスを示すもののみを取り上げた。新たな照射を行う可能性やアクシデントなどを考慮し、照射の冗長性を持たせる必要がある。ここでは、2倍の冗長

性を持たせることとし、同一条件で2回（個数を2個）の照射を想定した。多くの部品は、照射後に特性を測定すればよいと考えられるが、磁気計測用センサーの放射線誘起伝導（Radiation-induced conductivity: RIC）、放射線誘起起電力（Radiation-induced electromotive force: RIEMF）などについては、オンライン計測が必要である。

これらの中性子照射試験を実施するにあたり、ひとつの候補として、現在、量研が設計を進めている核融合中性子源A-FNSを利用することが考えられる。A-FNSは、核融合炉構造材料照射を目的とした中性子源であり、40 MeV、125 mAの重陽子（D⁺）ビームを液体リチウムターゲットに入射し、d-Li反応により、約14 MeVのエネルギーの中性子を発生させる。A-FNSでは、この中性子を利用した核融合炉構造材料の照射試験だけでなく、計測制御機器素材の照射試験も計画している。現在は、概念設計を完了し、工学設計段階に移行したところである。

図1に、A-FNSの概念設計において検討した計測制御機器照射モジュールを示す。照射場である試験セルと呼ばれる空間の中性子発生源であるターゲットから離れた下流側に計測制御機器照射モジュールを設置し、中性子フラックスがより高い上流側に核融合炉構造材料の照射試験のためのモジュールを設置することを検討している。計測制御機器照射モジュールには、10 cm程度の試験体を設置できる照射キャプセルが17本、20 cm程度の試験体が設置できる照射キャプセルが3本設置できる構造になっている。オンライン計測への対応なども含め、モジュールの詳細設計はこれからではある。

表1に、計測制御機器素材に対する照射試験項目と、試験で要求される中性子フルエンスを示した。併せて計測制御機器用の照射モジュールでの照射を想定した際の照射期間を示した。

計測制御機器用の照射モジュールでの中性子フルエンスは、モンテカルロ計算コードMCNPにより計算した。照射を検討している試料のサイズはどれも直径10 cm以下であり、照射キャプセルへの試料の設置は可能である。なお、A-FNSの稼働率は50%と仮定した。

計測制御機器素材の照射を行った場合に必要年数を評価すると、真空容器の外側に設置することを想定している部品に対しては、1年以下の照射でデータ取得が可能である。一方、真空容器近傍に設置することを想定している部品は多岐に渡り、3年程度の照射期間であれば現実的に可能であると考えられるが、10年を超えるような部品に対しては、すべての照射データを取得することは難しい。特に真空容器内への設置を想定している部品に関しては、A-FNSの計測制御機器用の照射モジュールの位置では中性子フルエンスが不足するため、照射データの取得が困難であることが明らかになった。鏡として用いるモリブデン、第一壁で使用するセラミック、MIケーブルはデータ取得が困難である。

ただし、中性子フルエンスだけを考えれば、よりターゲットに近い上流側的高中性子フラックスの位置で計測制御機器用の素材や機器

を照射することで、照射データの取得期間を1/200程度まで短縮することが可能である。高中性子フラックスの位置には低放射化フェライト鋼F82Hやタングステンの照射計画があるため、A-FNSでの照射試験計画の議論を通じて検討する必要がある。また、中性子フルエンスだけではなく吸収線量や中性子フラックス、中性子エネルギーについても、原型炉での環境模擬ができるか十分検討することが今後の課題である。今回の検討では、計測機器としてのオンライン計測の検討が含まれていない。計測制御機器等に対して、A-FNSにおいて、より適切な照射計画を検討することが今後の課題となる。

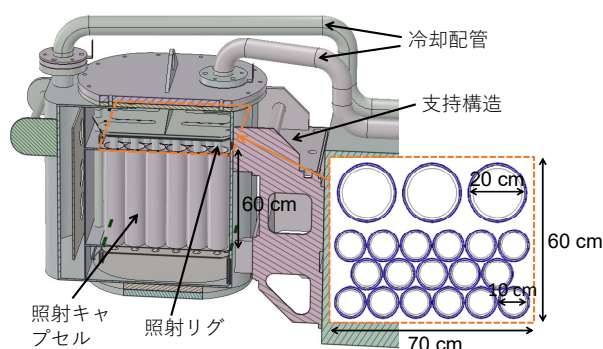


図1 A-FNSの計測制御機器照射モジュール

表1 原型炉で想定している計測制御機器の照射期間の評価

| 部品名 | 材質 | 場所* | 構造 | オンライン計測 | 必要な中性子フルエンス [n/cm ²] | 照射期間 計測制御機器用の照射モジュール |
|-------------|-----------------------------|----------|-----------------|-----------|----------------------------------|-------------------------|
| バンド | フェライト鋼+タングステンコート | FW/ZoneA | φ0.1/t0.01 | 無 | 4.3E+20 | 39年 |
| 鏡 | タングステン | ZoneB | φ0.1/t0.01 | 無 | 1.1E+20 | 9.9年 |
| 窓 | 石英 | ZoneC1 | φ0.1/t0.01 | 無 | 1.3E+15 | 1.0時間 |
| 結晶分光器用結晶 | 石英 | ZoneB | φ0.1/t0.01 | 無 | 6.7E+20 | 61年 |
| 多芯計数管 | | ZoneC1 | φ0.1/t0.01 | 無 | 2.7E+18 | 88日 |
| 鏡 | モリブデン | ZoneB | φ0.1/t0.01 | 無 | 4.3E+20 | 39年 |
| シャッター | CuCrZr, 8Y2O3-ZrO2, SUS316L | ZoneB | φ0.10 | 無 | 2.8E+19 | 2.6年 |
| 鏡 | ロジウム | ZoneB | φ0.10/t0.01 | 無 | 2.8E+19 | 2.6年 |
| ポロメータ用センサー# | Au or Pt on Si3N4 | ZoneB | 0.03×0.02×0.005 | 無 | 2.8E+19 | 2.6年 |
| 鏡駆動機構 | ピエゾ素子 | ZoneB | φ0.02/t0.05 | 無 | 1.3E+18 | 43日 |
| 窓 | サファイア | ZoneC2 | φ0.10/t0.01 | 無 | 1.3E+14 | 6.0分 |
| ダイヤモンド検出器 | ダイヤモンド | ZoneABC | φ0.01/t0.01 | 有 (動作試験) | 2.7E+18 | 89日 |
| 絶縁物 | セラミック | FW | 0.01×0.01×0.01 | 有 (電気伝導度) | 9.7E+22 | 8800年 |
| MIケーブル | 導体,セラミック | FW | φ0.10/t0.05 | 有 (電気伝導度) | 9.7E+22 | 8800年 |

*補足説明 FW: 第一壁表面, Zone A: ブランケット機器近傍, Zone B: 真空容器近傍, Zone C: 真空容器外側