

J-PARC 核破砕中性子源における陽子ビームの形状及び入射位置の変化が水銀ターゲットの核特性及び構造強度に及ぼす影響

(1) 水銀ターゲット容器の構造的健全性

Effect of proton beam profile and incident position on neutronic performance and structural integrity of a mercury target of the spallation neutron source at J-PARC

(1) Structural integrity of mercury target vessel

*粉川広行¹, 直江崇¹, 涌井隆¹, 羽賀勝洋¹, 原田正英¹, 明午伸一郎¹, 大井元貴¹, 高田弘¹

¹原子力機構

J-PARC の核破砕中性子源である水銀ターゲットへ入射する陽子ビーム形状や位置の変化は、水銀ターゲット容器の構造健全性に影響を与えるため、陽子ビームの位置を変化させた際の容器の温度変化と発熱密度の変化を調べた。

キーワード : J-PARC, 核破砕中性子源, 水銀ターゲット容器, 陽子ビーム, 構造強度, 核発熱

1. 緒言

J-PARC の物質・生命科学実験施設の核破砕中性子源では、水銀ターゲットに 3 GeV の陽子ビームを入射して発生する中性子を減速材で減速し、中性子実験装置に供給する。陽子ビーム形状や位置の変化は、水銀ターゲット容器の構造健全性や中性子強度に影響を与える。今後、ビーム出力を 1 MW に増強するために、陽子ビーム形状や位置の変化があった場合でも、十分な構造強度を有する水銀ターゲット容器を準備しておく必要がある。そこで、ビームの垂直位置を変更し、構造強度に影響を及ぼす熱応力の発生要因となる容器温度の測定を行った。

2. 水銀ターゲット容器の温度測定及び発熱密度評価

2-1. 熱電対設置位置と温度測定方法

水銀ターゲット容器は、陽子ビーム進行方向に約 100 cm (長さ方向)、幅約 45 cm、高さ約 12 cm の寸法で、SUS316L 製の三重容器 (水銀容器とそれを内包する二重の保護容器) 構造からなる。水銀容器上面の中心軸上で容器先端から長さ方向 6 cm、45 cm、及び 85 cm の位置に熱電対 (TC-A、TC-B 及び TC-C) を設置している。このターゲット容器に、垂直位置を変化させた陽子ビームを入射し、熱電対で温度を測定した。

2-2. 温度測定結果と発熱密度評価

図 1 にビーム出力 310 kW の陽子ビームの垂直位置を変化させた場合の熱電対 TC-A、TC-B の定常時の水銀温度を基準とした温度変化を示す。ビーム位置を上方に移動すると、発熱源が熱電対位置に接近するために温度が上昇するが、その割合は TC-A、TC-B で、それぞれ 3.3°C/mm、0.3°C/mm であった。温度変化の割合の違いを明らかにするために発熱密度の評価を行った。断熱近似を用いてビーム入射に伴う温度上昇 ΔT [K/s] から水銀容器の発熱密度 q [W/cm³] を $q = \rho \cdot C \cdot \Delta T$ により評価した。ここで、 ρ は密度 (=0.0078 kg/cm³)、 C は比熱 (=590 J/kg/K)、 ΔT は温度上昇率 [K/s] である。その結果、発熱密度は、図 1 に示す温度変化の傾向と同様に先端に近い TC-A での変化が大きくなる結果となり、TC-A における大きな温度変化は、発熱密度が、ビーム入射部近傍で、ビーム位置の変化の影響を強く受けるためであることが分かった。

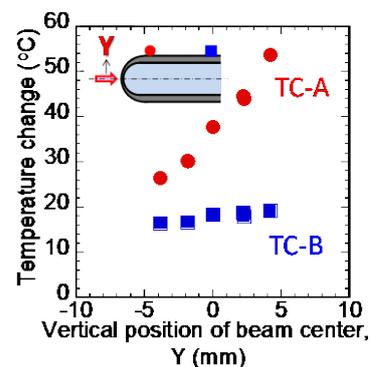


図 1 陽子ビームの垂直位置と温度変化の関係

3. 結論

陽子ビームが入射する容器先端の近傍では、陽子ビーム位置の変化に対する温度変化の割合が大きく、水銀ターゲット容器の構造強度の観点から、ビーム位置の制御が重要である。施設では陽子ビーム位置の変化を検知し、3 mm の変化でビーム供給を停止する。また、垂直方向に 3 mm ずれた場合には、ターゲット容器に約 10% 高い熱応力が発生するが、応力評価において 20% の裕度を見込む設計としている。

*Hiroyuki Kogawa¹, Takashi Naoe¹, Takashi Wakui¹, Katsuhiko Haga¹, Masahide Harada¹, Shinichiro Meigo¹, Motoki Ooi¹, Hiroshi Takada¹; ¹ Japan Atomic Energy Agency.