

平成 25 年 12 月 17 日
J - P A R C センター
高エネルギー加速器研究機構
日本原子力研究開発機構

J - P A R C ハドロン実験施設の金標的の観察結果について

J - P A R C センターでは、5 月 23 日（木）に発生した J - P A R C ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故について、事故時に損傷したと考えられる金標的を観察する準備を進め、12 月 12 日（木）からファイバースコープを用いた観察を行ってきました。

観察の結果、金標的の後方に直径 1mm 程度の穴が開いていること、標的の 5 カ所のスリット（切り込み）部分のビーム下流方向に向かって左側に、溶けた少量の金が溶け出たような痕跡と、台座底面に金色に光る飛沫のような点を認めました。

金標的の後方に穴があいていることやスリット部分から金が漏れ出ているような痕跡は、金標的の内部の温度が融点さらに沸点を超えて、熔融金の一部が気化して急激な体積膨張が生じ、液化した金的一部分を押し出したものと考えられます。

これらのことから、今回の観察結果は、これまでに行ったシミュレーションに基づいた検討結果とほぼ同様なものとなっています。

詳細は別紙の通りです。

〈お問い合わせ先〉
J - P A R C センター
広報セクション
坂元 眞一
TEL:029-284-3587
FAX:029-282-5996

J-PARC ハドロン実験施設の金標的の観察結果について（詳細）

1. 事故の概要

平成25年5月23日11時55分頃に発生した50GeVシンクロトロンของビーム取り出し電磁石の誤作動により、設計想定をはるかに超えた瞬間強度のビームがハドロン実験ホールに設置された金標的（図1）を損傷し、飛散した放射性物質が設計外現象と事実誤認を経て施設外に漏えいしました。

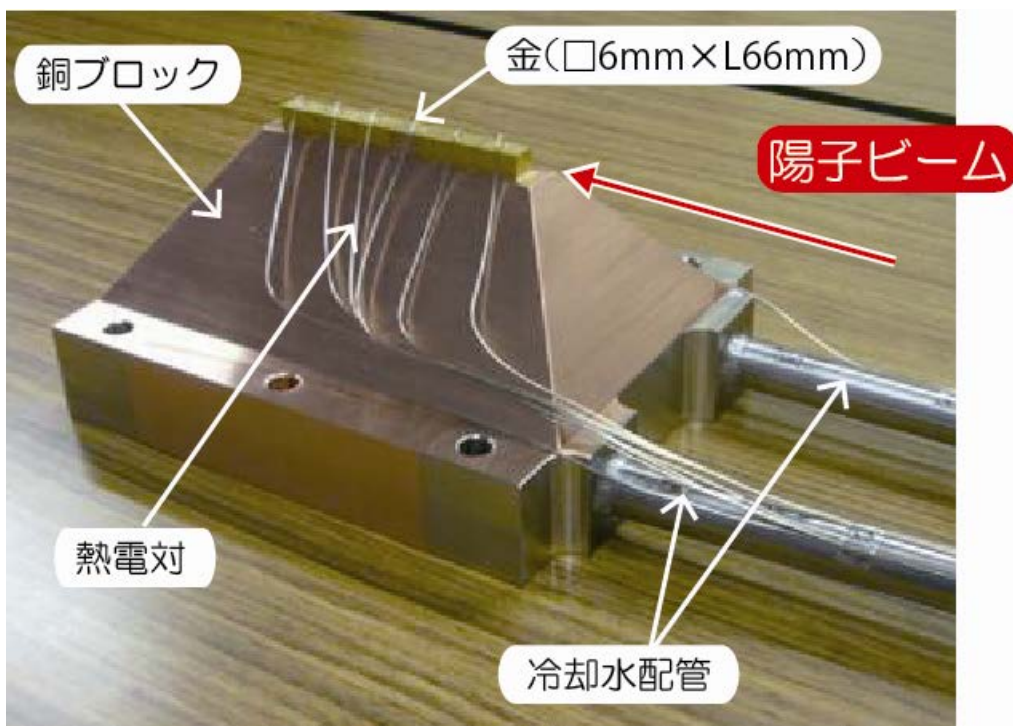


図1：設置前の金標的と冷却用銅ブロック。標的は銅ブロックの台座に載っており、温度を測定するための熱電対が装着されている。

2. 観察方法

図2に示すように、金標的の観察は、標的の下流側から標的容器内にファイバースコープを挿入することによって行いました。観察作業に先立ち、下流側のベリリウム製の隔壁^{*1}をリモートハンドリングにより取り外しました。

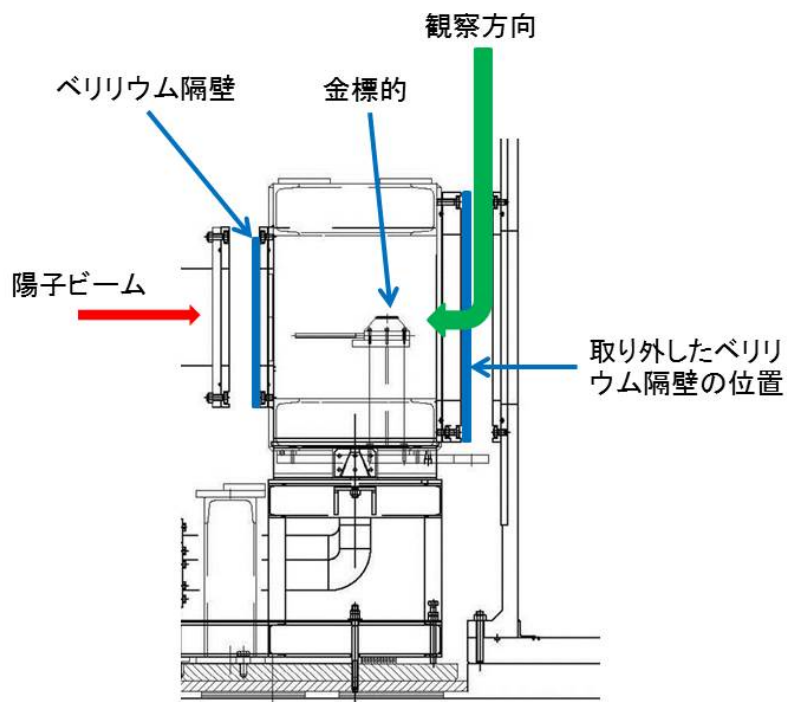


図2:金標的とその周辺の立面図。陽子ビームは図の左側から照射されていた。観察は、図の緑線の方、すなわちビームの下流側からファイバースコープを標的容器内に挿入することによって行った。この作業に先立ち、下流側のベリリウム製の隔壁を取り外した。

なお、ファイバースコープは、標的の上部にある遮へい体（図3）を移動して挿入しました。作業は、標的が置かれているトンネルの中の空気をフィルターを通して放射性物質の濃度を監視しながら排気し、放射線レベルに問題がないことを確認した後に行いました。

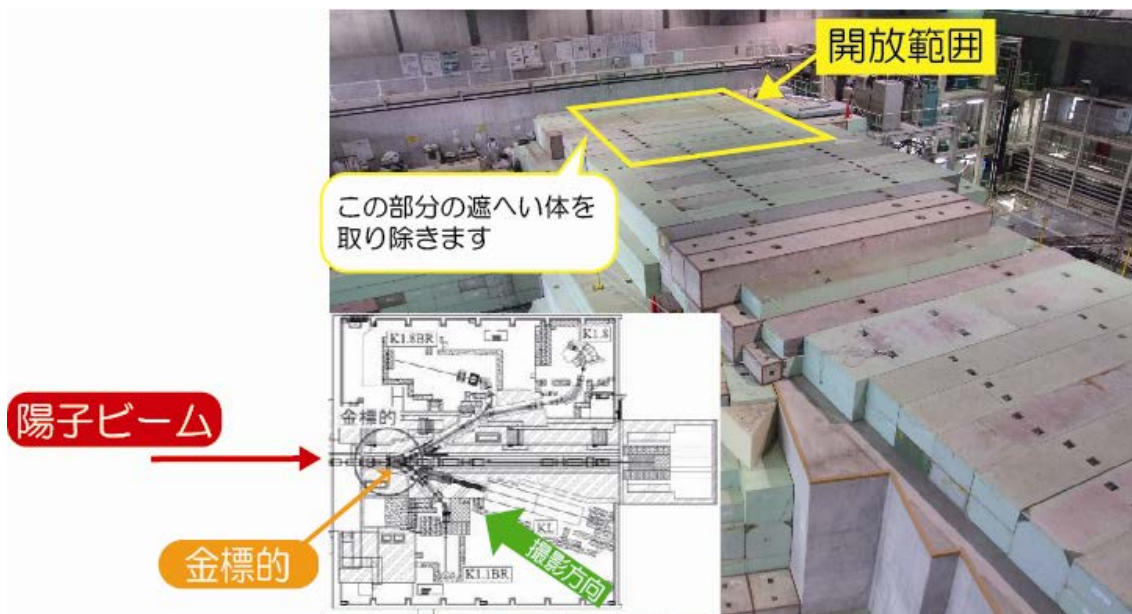


図3：金標的などを取り囲む遮へい体ブロックの外観。

2. 観察結果

図4および図5はファイバースコープで金標的を観察した画像です。金標的は6mm x 6mm x 66mmの大きさ（ビームに沿った長さが66mm）で、陽子ビームは図4の奥から手前方向に照射されていました。金標的には計5本のスリット（切り込み）が入っており、6本の温度計測用熱電対が設置されています。図4に示すように、金標的の後方に直径1mm程度の穴が開いていることがわかります。また図5に示すように、5カ所のスリット部分のビーム下流方向に向かって左側に、溶けた少量の金が溶け出たように見えます。また、台座底面に金色に光る飛沫のような点が見られます。なお、標的に装着した熱電対は健全であることがわかりました。

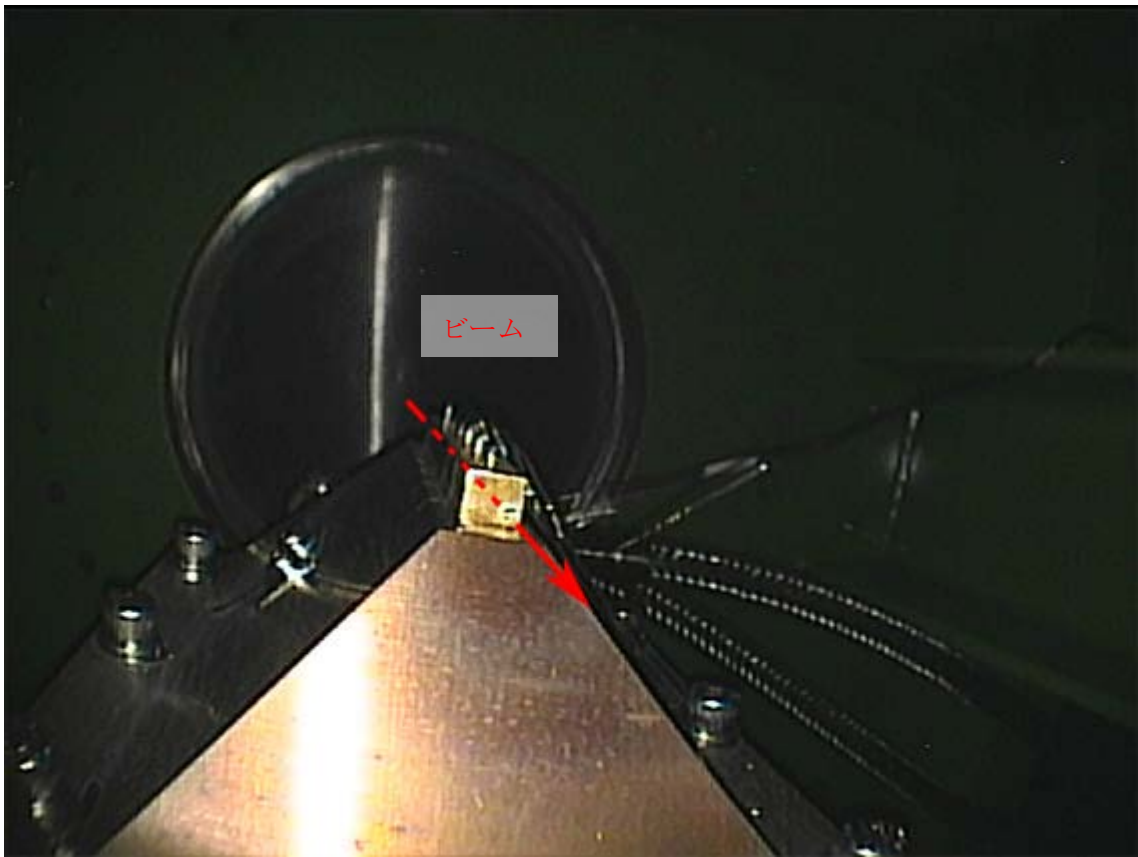


図4 : 金標的の現状。ビームは写真の奥から手前に向かって照射された。標的の後方(図で手前側)部分に直径1mm程度の穴が見える。

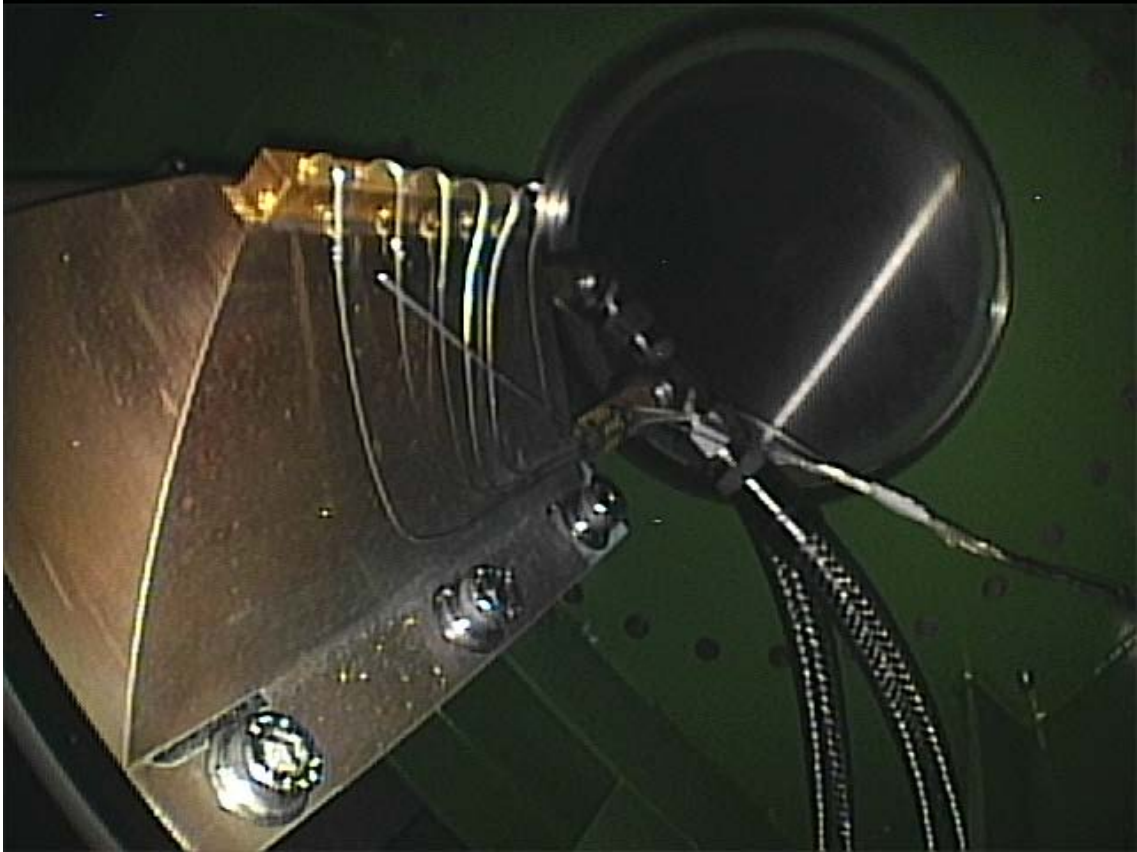


図5：金標的のビーム下流方向に向かって左側の側面。標的スリット部分に少量の金が溶け出たように見える。また同台座底面に金色に光る飛沫のような点が見られる。

図6はファイバースコープを挿入するために取り外したベリリウム製の隔壁の金標的側（標的容器の内側）の写真です。中心付近に飛散した金と思われる物質が付着していることが観察できます。なお、金標的の中心からこの下流側ベリリウム製の隔壁までの距離は約240mmです。

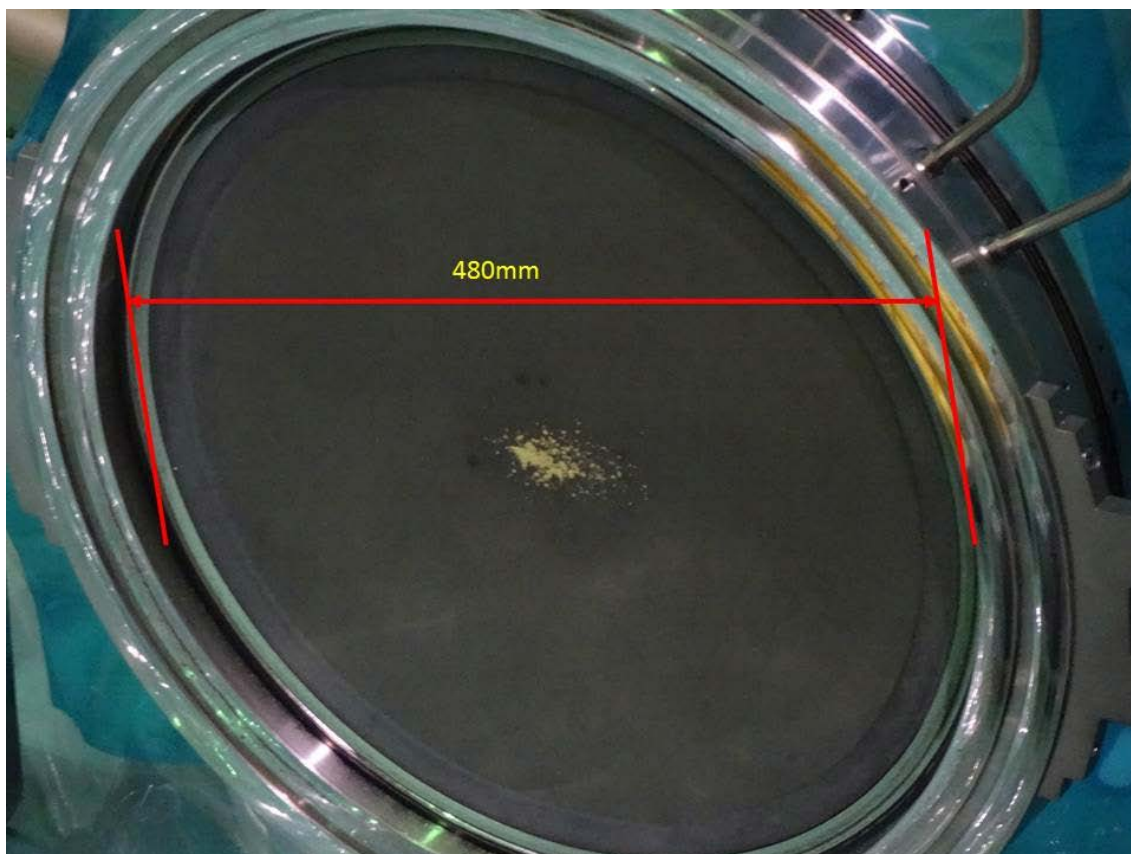


図6：取り外した下流側ベリリウム製の隔壁。写真はベリリウム製の隔壁の金標的側の様子。中心付近に飛散した金と思われる物質が付着している。

図7はこれまでに実施した計算機を用いたシミュレーションの結果です。事故時には陽子ビームによって金標的の内部は広い範囲で金の融点を超え、最高温度は沸点を超えたと推測されます。金標的の後方に穴があいていることやスリット部分から金が漏れ出ているような痕跡は、金標的の内部の温度が融点さらに沸点を超えて、熔融金の一部が気化して急激な体積膨張が生じ、液化した金の一部分を押し出したものと考えられます。これらのことから、今回の観察結果は、これまでに行ったシミュレーションに基づいた検討結果を概ね裏付けたものと言えます。

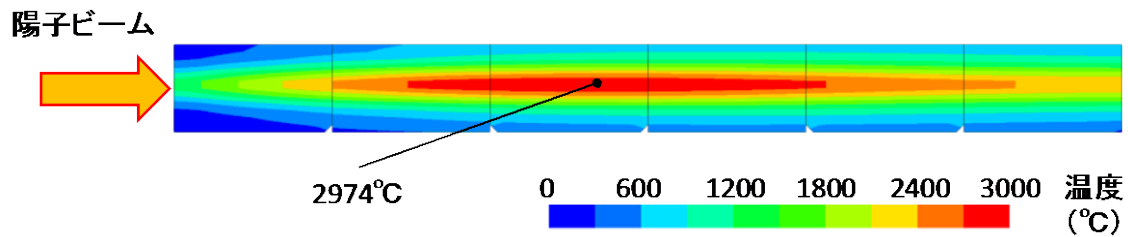


図7：事故ショットを想定した標的昇温の熱計算結果。金標的が一部溶融し、赤で示した部分のうち、沸点を超えた部分が気化あるいは昇華したものと推察される。なお、金の融点は摂氏 1064 度、沸点は摂氏 2856 度。

なお、金標的の溶融は、50GeV シンクロトロンが遅い取り出しに用いられる四極電磁石 EQ (Extraction Quadrupole) の突然の誤作動により、本来は 2 秒をかけてゆっくりとシンクロトロンから取り出されるはずの陽子ビームが約 5 ミリ秒の短時間で瞬時に取り出されたことによって引き起こされました。このEQ の誤作動の原因については、11 月11日にHPにて公表した通り、当該電源基板に用いられている三端子正出力固定レギュレータの発熱対策が不十分であったために経年劣化が進み、外部から電源に入力された電流指令値を電源内部で伝送するシステムの一部に一時的な不具合が発生したためである事が確認されています。

用語解説

※1 ベリリウム製の隔壁

標的容器内は大気圧の空気環境だが、標的容器の下流側の真空槽内は真空である。両者の間を仕切るためにベリリウム製の隔壁が設置されている。今回の作業に先立ち、下流側の真空槽内を大気圧にした上でベリリウム製の隔壁を取り外した。