

DESIGN AND ARRANGEMENT OF J-PARC 50GeV TUNNEL

Masahito Tomizawa^{1,A)}, Masafumi Muto^{A)}, Masashi Shirakata^{A)},
Takenori Suzuki^{A)}, Masaharu Numajiri^{A)}, Yoshiharu Mori^{B)}, Joichi Kusano^{C)}

^{A)} KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 305-0801

^{B)} Kyoto University Research Reactor Institute, Kumatori-cho, Sennan-gun,
Osaka, Japan, 590-0494

^{C)} JAERI, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan, 305-1195

Abstract

Construction of the J-PARC 50GeV synchrotron tunnel will be completed in October, 2006. We summarize design and structures of the tunnel. Arrangement design in the J-PARC cite is also briefly reported in this paper.

J-PARC 50GeVリングのトンネルと配置

1. はじめに

J-PARC加速器は400MeVリニアック、3GeVシンクロトロン(rapid cycling synchrotron, RCS)、そして50GeVシンクロトロン(Main Ring, MR)から構成される[1]。図1はMRトンネルを示す。

MRはRCSからの 3.3×10^{14} pppの陽子ビームを3GeVから50GeVまで繰り返し約0.3Hzで加速し、遅い取り出し方法でハドロン実験施設へ、速い取り出し方法でニュートリノ実験施設へ供給するシンクロトロンである。ただし第1期計画においては、最大加速エネルギーは40GeVに制限される。またハドロン実験施設ビームラインの設備能力の都合で遅い取り出しビームのエネルギーは30GeVとなる。

MRは周長1567.5mの3回対称性をもつおむすび型のリングで、1つの曲線部、直線部の長さはそれぞれ406.4m、116.1mである。1つ目の直線部にはRCSからのビームを入射するための機器が置かれ、その下流にコリメーターセクションがある。さらに下流には入射エネルギーのビームを捨てるための機器が置かれ、リングの内側に蹴り出されたビームは3GeVダンプへと導かれる。2番目の直線部は遅い取り出し機器が置かれる。遅い取り出し方法によって取り出されたビームはリングの外側に蹴り出される。3つ目の直線部はRF空洞と速い取り出し機器が置かれる。速い取り出しは双方向蹴り出しとなっており、ニュートリノ施設へのビームはリングの内側に、ビームアポートはリングの外側に導かれる。RCSとMRをつなぐトンネルは長さはおおよそ230mである。本報告では、装置利用と放射線遮蔽の観点から設計されたMRトンネルの概要について述べる。トンネルの土木・構造的設計はKEK施設部によりなされており、本報告では述べない。最後にMRトンネルの配置について簡単に述べる。

2. MRのトンネル設計

2.1 トンネルの放射線遮蔽設計

トンネルの放射線遮蔽設計の指針は以下の通りである。地下水の放射化濃度が法令値より十分下回るために、J-PARCではコンクリートと接する土壌の線量基準を、線状ロスの場合は5mSv/h、点状ロスの場合は11mSv/hに設定している。地表の一般区域線量は $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 以下としている。また、J-PARC敷地境界のスカイシャインによる線量は全施設の合計で $50 \mu\text{Sv/y}$ となっている。以上の条件を満たすようトンネル構造が決められた。また、建物からメイントンネルへの接続するサブトンネルの構造の決定には、中性子ストリーミングによる地上部の線量の評価が必要である。トンネルの構造物であるコンクリート、鉄、土のバルク遮蔽計算にはMoyer model[2]やMARS, MCNPXコード、スカイシャインの評価にはStapletonの式[2]、ストリーミングの評価には簡易式[3]やMARSが用いられた。

2.2 RCSからMRへの輸送トンネル

RCSからのビームをMR側と物質・生命実験施設側にわかれる分岐点からMR入射点までの輸送系は3-50BTと呼ばれる。一方物質・生命実験施設への輸送系を3NBTと称す。分岐点から下流約60m付近に1.5mの厚さの放射線遮蔽用の隔壁が設けられている。隔壁による放射線遮蔽効果と隔壁での空気の気密性を保つことにより、物質・生命実験施設へのビームコミッショニングを行っている場合にも、MRトンネル内を一般区域のままでトンネル内作業が可能となる。ただしこの際3-50BTトンネル区域に立ち入ることはできない。隔壁上流のトンネルの内寸法は高さ4.5m、幅5mでこれは3NBTトンネルのそれと同じで

¹ E-mail: masahito.tomizawa@kek.jp

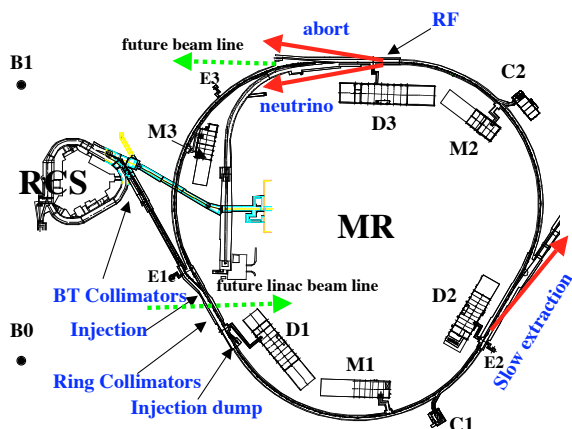


図1 MRの構成図

ある。隔壁上流にはビームのハローを削るためのコリメーターセクションが置かれる。コリメーターの台数は12台である。RCSからのビーム強度の1%(450W)が一台のコリメーターに集中してロスとなった場合を想定して、この領域のトンネルの厚さが決められた。またこの領域の地上部は一般人が通行する道路(八間道路)があるため、地上の線量を $0.25\mu\text{Sv/h}$ に抑える必要がある。そのため天井コンクリートには厚さ最大1.25mの遮蔽鉄が仕込まれている。この部分に使用された鉄の総重量は2700tを越える。隔壁下流から約80mかけて高さ4.3mだけ降りる下り坂がある。MRへの入射に至る領域のトンネルの厚さはビームロスを 1W/m と仮定してコンクリート厚が決定されたこの領域の内寸法は、高さ5m、幅4.5mである。

2.3 メイントンネル

メイントンネルのアーチ部の内寸法は高さ3.5m、幅5m、直線部が高さ3.5m、幅7mを基本としている。ただし遅い取り出し直線部と速い取り出し直線部の一部は、接続するビームラインからのクレーンが乗り入れてくるため、天井の高さが6mとなっている。入射直線部の入射領域は135W、リングコリメーター領域は450Wのロスを想定してコンクリートの厚さが決定された。遅い取り出し直線部のロスは7.5kWで、静電セプタムが置かれる近傍のコンクリートの厚さは4.5mに達する。ただし遅い取り出しのロスポイントは一カ所とはならないため、その下流は数段階に分けて厚さが減らされている。この領域の地表線量は一般区域のレベルを越えるので管理区域になる。速い取り出し直線部のセプタム磁石が置かれる領域のロスは1.13kWとしてトンネル厚さが設計されている。この領域の地表はやはり管理区域となる。アーチ部すべてと上記以外の直線部のビームロスは 0.5W/m として設計されている。この部分の地表の線量は一般区域の制限線量より一桁程度小さ値となっているが、これは敷地境界でのスカイシャインの寄与により決められた。

2.4 ビームダンプ

MRには、入射エネルギーのビームを捨てるためのダンプとアボートビームを捨てるダンプが用意されている。アボートダンプは出射点から約80m下流のニュートリノラインと反対側に配置されている。このダンプは、50GeVのエネルギーでフルビームパワー750kWの1%である7.5kWのビームを受け入れられる設計となっている。直径約70cmの真空ダクトを囲むように鉄の厚板を組んだシールドが組まれその周りをコンクリートで囲う埋め込み構造となっている。コンクリートの発熱温度は60-70°Cに抑えるのが望ましい。MARSとANSYSによる解析[1]では熱伝導による自然冷却でこの条件を満足できる。ただし、ビームの 0° 方向のコンクリートとの境界の遮蔽鉄壁には熱電対が2組取り付けられており、ビームロスによる温度上昇をモニターすることができる。

入射ダンプもアボートダンプと同じ構造をもつ。ビームロスはエネルギー3GeVの平均3kWのビームを受け入れる設計となっている。

2.5 サブトンネル

MRの地上には、3つの機械棟(図1のM1-M3)、3つの電源棟(D1-D3)、2つの搬入棟(C1-C2)、3つの脱出棟(E1-E3)が配置されている。電源棟、機械棟、脱出棟は、クランク構造のサブトンネルによりメイントンネルに接続されている。また搬入棟のそれは、磁石搬入のためのエアーパレット台車の走行を可能とするよう30度の屈折を2カ所持つ構造となっている。電源棟サブトンネルは、直線部機器の多量のケーブルを考慮し、メイントンネルの直線部に接続されている。それ以外のサブトンネルはアーチ部に接続されている。また中性子ストリーミングによる地上部の線量を一般区域レベルに抑えるために、サブトンネルの接続位置はビームロスが低い場所選ばれている。

2.6 低放射化コンクリート

MRトンネルの直線部のうち、入射・コリメーター、遅い取り出しセプタム、速い取り出しセプタムのトンネル内壁(4面とも)には1mの厚さにわたって低放射化コンクリートが用いられている。これらの領域はビームロスが大きいいため、コンクリート表面の放射化によるメンテナンス時の被曝量を低減するのが目的である。コンクリートの放射化による線量に最も寄与が大きいのは ^{14}Na (半減期15h)である。この核種生成の親核となる ^{13}Na 等の少ない石灰石を骨材としたコンクリートが使われている。

2.7 測量観測孔

MRには地上の測量基準点をトンネル内に移すための観測孔が6カ所設けられている。SUS管が地上からトンネル内まで貫通しており、通常状態ではこの管の両端はフランジ封止される。この観測孔から中性子漏洩を防ぐため、MRの観測孔はビームラ

インから離れたサブトンネル内に設置されている。

2.8 将来計画への対応

MRトンネルの設計においては、2つの将来計画に対応するための配慮がなされている。1つはリニアックのエネルギーを1GeVに増強する将来計画である。現計画のリニアックの延長線上に1GeVリニアックを増設し、1GeVビームを使った加速器・施設をMRリング内に展開する。この場合、リニアックからの1GeVビーム輸送ラインがMRの入射直線部トンネル上を交差する。そのためこの部分は将来リニアックトンネルが接続できる構造となっている。また接続工事の際の高濃度放射化土の処理作業を避けるため、将来工事を行う部分には、中性子グループにより用意されたコンクリートブロックが積まれている。2つめはMRの速い取り出しビームを一次ビームとし高輝度ミュオンを生成し実験を行う施設や反陽子を利用した施設の計画である。このための第2速い取り出しビームラインは、現在のアポートラインの途中から分岐させMRリングとアポートダンプの間を通る計画となっている。このためアポートダンプの位置と形状はこの予定ラインを可能とするよう設計された。また接続工事予定の壁の厚さは薄くなっている。この壁の外側には、計画を提案している実験グループにより、遮蔽に必要なコンクリートブロックが手配されトンネル工事時に設置された。

3. 50GeVリングトンネルの配置

MRトンネル・建物の配置は、J-PARCの配置検討グループによるJ-PARC施設配置計画図[4]に基づいて決められた。この計画図にはB0, B1という2つの基準点が書き込まれている（図1にもB0, B1基準点のおよその位置が書かれている）。これらの2つの基準点は、久慈、白方、照沼の三角点を既知点として、GPS測量、トータルステーション測量により国家座標値（第IX系）が求められている。本来三角点の国家座標の精度誤差は大きいので、求められたB0, B1の国家座標値を基準にとる平面直角座標は、J-PARC施設のローカル座標と考えるのが妥当である（ここではJ-PARC建築座標と言う）。ただしこの平面直角座標系はJ-PARC敷地内という狭い範囲のものの相対位置を記述する場合には十分と言える。トンネルや建物の実際の設計を行う施設部や実際の工事業者が使用するのもこの座標系である。

一方、J-PARC施設配置計画図は、MRの速い取り出し直線部をx軸に平行にとったCAD図であり、さらにこのCAD図において原点をRCSの中心にとった座標系をKEK-JPARC座標系と称し、この座標系でMRの磁石等の位置が記述されている。KEK-JPARC座標とJ-PARC建築座標の関係は単純な一次変換で

記述されるため混乱することはない。

MRの磁石のJ-PARC座標値や建築座標値は、KEKで開発されたビームオブティクスのコードSADのラティス出力ファイルデータを、今回新たに開発したプログラムに読み込ませることにより自動的に求めることができるようになっている。SADファイルに記述されている要素の積み重ねによる計算誤差を小さくする工夫をすることにより、リングを一周したときの座標値の誤差を 10^{-18} 以下におさえることが可能となっている。またこのプログラムはVectorWorks(CADソフト)用のスクリプトファイルを出力することができ、高速・高精度で磁石配置図を作成することが可能である。これらの結果は実際の磁石アライメントの際に活用されることになる。

MRの速い取り出し直線部にはニュートリノビームラインが接続する。ニュートリノラインのdecay pipeとSuper Kamiokandeとの位置関係は重要である。従ってMRトンネルの位置に関しても、ある程度の絶対位置精度が求められる。J-PARC敷地内にはJ-PARCの全体アライメントグループによりアライメント用基準点が設置されている。これらの基準点は、GRS80楕円体に基づく座標が求められている。この基準点のうち「NUCEF」、「HENDEL」の2つを既知点として、トラバース測量により最初に完成したMR曲線部の床にうたれた芯釘15点の位置がトラバース測量された。これらの点をフィットして得られる曲線と真北との関係は、角度にしてわずかに0.0069度の誤差で設計値に一致していることが確認され、トンネルの絶対位置精度としては十分満足できるということが明らかになった[5]。

参考文献

- [1] Accelerator Technical Design Report for J-PARC, KEK Report 2002-13.
- [2] 「大強度陽子加速器計画施設の概略遮蔽計算システム」、益村朋美他、JAERI-Data/Code、2000-026
- [3] 「ニュートリノビームライン施設の概要とその放射線安全対策」、三浦太一 他、KEK Internal 98-11
- [4] J-PARC施設配置計画図030730, 草野譲一
- [5] 「50GeVリングA工区トンネル測量に基づいた配置の評価」、富澤正人 他、unpublished