

Cabling System for J-PARC MR and Try to Prolong the Life of the Cable

Yuu Kuniyasu^{1,A)}, Takao Oogoe^{B)}, Kazufumi Ooya^{C)}, Shigeru Takeda^{B)}, Masakazu Yoshioka^{B)}

A) Mitsubishi Electric System&Service CO.LTD.

2-8-8, Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-0045

B) KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

C) Sankyu Plant Techno CO.LTD.

6-5-3 Kachidoki, Tyuou-ku, Tokyo 104-0054

Abstract

The total length of the Cable connecting between the power supply building and the each equipment in the tunnel of the J-PARC MR becomes 1000km long. 1052 power cables account for 30% of total cables. The life time of the cable is an important consideration, since the repair work has to be taken a long time. A short life time of the power cable must be affected the operation schedule. Life time of the cable is an important for J-PARC.

J-PARC MR ケーブルシステム及び長寿命化への取り組み

1. はじめに

J-PARC MR (以降MR) の3つの電源棟とトンネル内の各装置に接続しているケーブルの総本数は2934本あり、このうち電力ケーブルは1052本で、総本数の内およそ3割を占めている。一般的な環境下で敷設された電力ケーブルの寿命(絶縁性能の寿命)は、約20年が耐用年数の目安と言われているが、MRの場合、ケーブル敷設スペースの制約から多条配置が必須となった。そのため、熱的に厳しい環境になることに加えて、トンネル内部は放射線環境下であるという理由で、一般的な耐用年数よりも寿命は短くなると考えている。ケーブルが寿命を迎えた場合、加速器を長期シャットダウンさせてケーブルの再敷設を行わなければならない。一方、ユーザーを抱える加速器としては、予定にない長期シャットダウンを避ける工夫が必要となる。そこで電力ケーブルの寿命を少しでも延ばすため、MRケーブル敷設に際し、ケーブルサイズの詳細な選定と、放熱性を高めるケーブル配置及び、放射線対応について検討を行った。

2. MRケーブルシステムの現状

2.1 MRケーブル敷設概要

MRとトンネル内を結ぶケーブル敷設のルートは、地上の3つの電源棟とMRを結ぶサブトンネルを通り各加速器装置へ敷設するルートと、電源棟から屋外ラックを通り、3-50BTトンネルへ敷設されるルートからなる(図1)。

各々のサブトンネル内には、ケーブルラックが設

置され、サブトンネルの中間部には、放射化区域境界の気密室が設けてあり、室内を負圧にすることで、MR内で放射化した空気が外部に漏れ出さない構造となっている。この気密室内へのケーブル通線は、ケーブル間の隙間を耐火パテで埋め、延焼防止と、気密の処置を施してある。

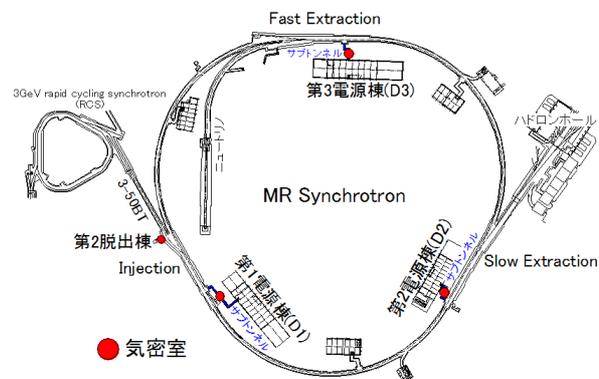


図1: MR電源棟、サブトンネル配置図

2.2 MRトンネルのケーブル本数

各ケーブルルートにおけるケーブル種類ごとの敷設本数を表1に示す。表より、各ルートとも電力ケーブルの割合が総数の30~40%を占め、サブトンネルのケーブルラックは図2に示す様に、トンネル設計サイズの大きさで、ケーブルラックの段数(片側8段×2)に制限がある。このため、全てのケーブルをラック上に配置する為には、他に比べサイズが大きくなる電力ケーブルを、MR敷設計画の当初段階から放熱が悪い多条積みを検討する必要があった。

¹ E-mail: kuniyasu@post.kek.jp

	電力線	ペア線	電力 同軸	信号 同軸	合計
3-50BT	214	94	48	119	475
第一電源棟	280	154	126	275	835
第二電源棟	270	166	72	221	729
第三電源棟	288	169	139	299	895
種類別計	1052	583	385	914	2934

表1：各ルートのカابل本数内訳

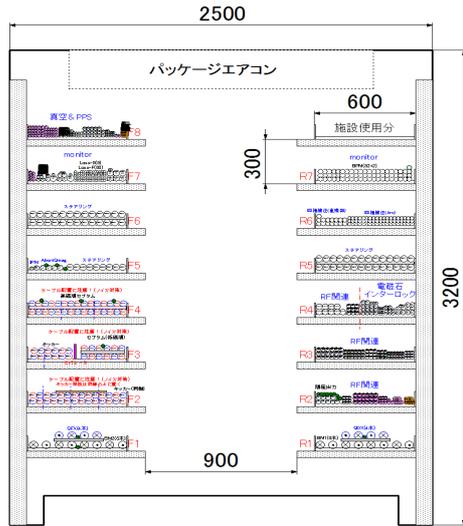


図2：サブトンネル断面図（ラックサイズ600W）

2.2 MR電力ケーブルのサイズ

MRの電力ケーブルサイズの内訳を表2に示す。表より、100sq以上でラックスペースの多くを占有する太いケーブルが604本あり、全電力ケーブルの約57%を占めることが分かる。このため、サイズの太い電力ケーブルは、ラックスペースの都合で、やむを得ず多条積みのケーブル配置を行うが、ケーブルの寿命を考えた場合、どのような配置が最適な条件なのかという検討を行った。

ケーブルサイズ (Sq)	BT	D1	D2	D3	合計	主な用途
~22	23	59	30	42	154	真空
22	0	57	59	76	192	四極補正
38	0	15	15	15	45	四極補正
60	0	0	2	1	3	モニター
100	0	65	62	63	190	ステアリング
250	44	8	12	0	64	セブタム, BT用(偏向, 四極)
325	142	14	0	6	162	六極, セブタム
400	4	0	50	42	96	セブタム
500	0	44	24	24	92	偏向, 四極
IV(接地線)	1	18	16	19	54	

表2：電力ケーブルサイズの内訳

3. 電力ケーブルの長寿命化への取り組み

3.1 電力ケーブルの劣化を進める要因

電力ケーブルの寿命とは、ケーブルの絶縁体が外部の様々な要因により劣化が進み、最終的に絶縁性能がなくなることを指す。MRで使用している電力

ケーブルの劣化を促す要因として考えられるのは、熱による劣化と、放射線による劣化である。これは、NHケーブルのシースや絶縁材に使用されているポリエチレン等の高分子素材が、長時間高熱環境下に晒されると、周囲の酸素と熱の影響によって分子鎖が切断され、引っ張りの強さや伸びなどの物性の劣化を招くためである。放射線に関しても、放射線そのものが素材の分子鎖を切断してしまい、熱と同様に物性の低下を招く要因となる。

今回、MRのケーブル敷設に際し、MRトンネルサイズ（特にサブトンネルと直線部）が、ケーブル物量に見合った適切なサイズではなく、狭いことで、ケーブル敷設スペースに制限が生じ、このことが敷設計画の段階で明確になった。そのため発熱を緩和した上で、ラックスペースの多くを占有する電力ケーブルを、多条積載や、ケーブル間の離隔を狭くして配置するという条件で、ラック配置を考えざるを得なかった。

放射線により劣化を受ける場所は、ビームロスの大きな場所に限られるので、劣化した箇所のみを切除し、短時間で交換出来るようにあらかじめ工夫しておくことは可能である。しかし、発熱によって受けるケーブルの劣化は、電源と装置を結ぶケーブル全てに起こる問題なので、劣化が見られた場合、該当したケーブルの全交換が必要となり、加速器は、数週～1ヶ月の運転停止となる。ケーブルの寿命を考えた場合、発熱を抑え、放熱を考えた配置が必須となる所似である。

3.2 電力ケーブルの発熱対策

電力ケーブルの発熱の要因として、

- ・ジュール損 ($H=I^2Rt$ [J]で表す)
- ・シース損 (シース内部における渦電流の発生)
- ・誘電体損 ($P=2\pi fc(V/\sqrt{3})^2 \tan\delta$ #繰り返しの高い場合問題となる)

などが挙げられるが、MRは基本パターン3.64sと比較的ゆっくりとした繰り返し給電のため、発熱の主な発生要因はジュール損失である。そこでMRでは、ジュール損失を抑えるため、全ての電力ケーブルについて詳細に電流量を検査し、1sq当たりの電流密度を、メーカー推奨許容値3A^[1]に対して、2A以下となるようにケーブルサイズの詳細な検討を行った。その内容は、敷設ルートによりそれぞれ異なる敷設条件を調べ、多条積み、相互間隔不足による温度上昇や、近接効果などの、敷設条件に応じた係数（電流低減率）を乗じて、2A以下という数値を算出した（およそ1.8A～1.5Aで設定）。この2A以下という数値は、ラック積載スペースと発熱のバランスを考慮して算出した数値であり、電流密度を下げ過ぎると、ラック上に敷設するケーブル本数が増え、ラックスペースに余裕がなくなり、結果的に相互間隔が取れなくなり放熱性が悪化する。こういった事情を考慮し出した数値である。

ケーブルの放熱に関しては、ケーブルが多条積みになる場所で、ケーブルの上下間にアルミ製の高さ20mmスペーサーを約1m間隔で配置し、上下の離隔を取って空間放熱の向上を図っている(図3)。



図3：500sqケーブルの配置とスペーサー

3.3 耐放射線電力ケーブルの採用

J-PARC計画で、日本原子力開発研究機構と、(株)フジクラで新規開発した2.5MGy耐放射線ケーブル(品名：RH2.5M-NH-CE)をMRの一部でも採用した^[2]。一般的なNH-CEケーブルの耐放射線特性は、 γ 線(⁶⁰Co)照射試験^[3]で約1.0MGyが実用上の限界線量という結果が報告されている。一方、新規開発のケーブルは、2.64MGy照射試験後も、JIS規格に規定されている電気試験に合格し、機械特性と難燃性についても機能の確保が確認されている。

耐放射線ケーブルの使用に当たっては、ケーブル調達の都合で、他社製一般品とフジクラ製耐放ケーブルと混在する事になり(表3)、ビームロスの大きい直線部に耐放射線ケーブルを使用し、従来品はビームロスの小さい場所や、直線部のセプタムなど、放射化メンテナンス計画にて予めケーブル交換を前提としている場所で使用し、耐放射化ケーブルとの使い分けを行った。

	RH-2.5M NH-CE (2.5MGy耐放)	NH-CE (従来品)	ケーブル サイズ(sq)
偏向電磁石	○		500
四極電磁石(直線部)	○		500
四極電磁石(Arc部)		○	500
六極電磁石		○	325
共鳴六極電磁石	○		250
ステアリング電磁石	○		100
入射シフトパンパ1,2,3	○		100
入射セプタムI	○		250
入射ダンブセプタムI、II		○	325
遅い取り出しセプタム1	○		400
遅い取り出しセプタム※1以外		○	400
遅い取り出しシフトパンパ1,2,3,4	○		250
速い取り出しセプタム		○	400

表3：主な耐放射線ケーブルの使用場所

4. 今後の課題

3-50BT部、第1電源棟サブトンネル部では、ケーブルの離隔が全くなく、離隔がない状態で二段積みしている場所がある(図4)、当然、放熱に問題があり、熱的に厳しい環境になると予想される。このような場所はメンテナンス時の目視点検で、ケーブルの外装にクラックや変色が見られないか調べるこ

と、また予めケーブルにサーモラベル貼っておき、通電時の表面温度を計測し、放熱がどの程度出来ているか、データを定期的にとることによって今後のケーブル寿命予測に活用する。

現状のラックに追加のケーブルを敷設することが出来ない。追加敷設がある場合を想定して、どこに敷設を行うのかを、予め検討しておく必要がある。



図4：離隔のない325sqケーブル配置(3-50BT部)

5. まとめ

ケーブルの寿命は、使用中の発熱温度が低いほど長寿命であることは良く知られている。電力ケーブルの寿命は約20~30年の耐用年数^[4]を目安とされており、各電線メーカーもこれを基準としている。今回MRのケーブル敷設にあたり、トンネルサイズが原因で、ケーブル設置スペースが狭く、空間放熱を無視したケーブル配置での検討が必要だった。このことはケーブル寿命を犠牲にするという事を意味する。しかしながら、加速器建設の計画段階で、装置のスペックと同様に、付随するケーブルの物量をもっと詳細に検討しておけば、状況が変わった筈であり、強く反省すべきである。

ケーブルの寿命を延ばすということは、加速器の運転時間を延ばし、ケーブルトラブルが原因の運転停止で、ユーザーに対し影響を与えないこと、ケーブル交換に掛るコストの点からも、重点事項である。今後、MRのケーブルに起こる現象を逐一データとして残し、将来の加速器計画に生かしたい。

6. 謝辞

日本原子力開発研究機構 草野譲一氏には、MR加速器装置の放射線照射試験の協力、また数々の助言を頂きました事を、改めて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 日立電線(株) “電線・ケーブル総合ガイドブック 技術資料”
- [2] (株)フジクラ “技術資料 No.VITH-01431A 2.5MGy対応耐放射線性ノンハロゲン難燃ケーブル”
- [3] 草野譲一. “JAEA-Review 2008-022 No.34”
- [4] (社)日本電線工業会. “技術資料 第107号”