

NOISE PROBLEM OF BEAM DIAGNOSTIC DEVICES IN J-PARC MAIN RING

Masaki Tejima^{1,A)}, Dai Arakawa^{A)}, Takeshi Toyama^{A)}, Yoshinori Hashimoto^{A)}, Kenichiro Sato^{A)},
Masahiro Shibata^{A)}

Shuichiro Hatakeyama^{B)} and Kotoku Hanamura^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba Ibaraki, 305-0801, Japan

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd

Abstract

The commissioning of the J-PARC Main Ring synchrotron (MR) has been started from this May, and many kinds of beam diagnostic devices have been useful to monitor the beam. We paid attention to prevent electrical noise from high power devices such as magnet power supply, at the construction of our beam diagnostic devices in order to measure beam parameter with a high accuracy. We investigated beam diagnostic devices about the influence of the noise before the commissioning, as a result, we observed common mode noises that I cannot ignore, and we took various measures to reduce these noises. We report about these investigation and the contents of the noise reduction.

1. はじめに

加速器のビーム診断装置にとって、雑音対策はその性能を左右する重要な問題である。特に加速器は電磁石や高周波加速空洞などの大電力機器と結合しており、それらの機器からビームに同期して雑音が混入するため、ほとんどのビーム診断装置の測定装置は雑音に悩まされる。ビーム診断装置の信号処理回路にのる雑音は2つに分類でき、1つは信号検出器や電子回路自身から発生する内部雑音（熱雑音、ショット雑音）であり、2つ目は、外来雑音で、信号伝送における接地点（送信端、受信端）の電位差によるものと、スイッチング電源や機器の放電時に発生する電磁放射ノイズである¹⁾。

J-PARCは、図 1に示されるように、400MeVリニアック、3GeVシンクロトロン(RCS; Rapid Cycling Synchrotron)、50GeVシンクロトロン(MR; Main Ring)の3基の加速器で構成されている。RCSのビー

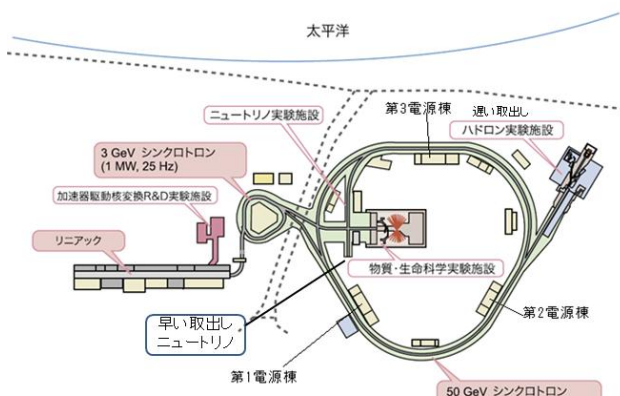


図 1: J-PARCのレイアウト

ムは早い取出しで物質生命科学実験施設へ送られ、

RCSからMRに取り出されたビームは、加速された後、遅い取出しで原子核素粒子実験施設へ供給し、また、早い取出しでニュートリノ生成にも使用される。これらのJ-PARCのコンポーネントを動作させる電源装置は、3箇所の電源棟やビーム取り出しの実験棟に設置されており、これらから放出される外来雑音からビーム診断装置を保護するため、ノイズの進入を減らしたり、進入したノイズによる誤作動を減らすイミュニティ (Immunity)対策について報告する。

2. MRのビーム診断装置

J-PARCのMRには、ビーム電流モニタ (FCT) やビーム位置モニタ (BPM) とビームロスモニタなどがトンネル内に設置された²⁾。

これらのビーム診断装置のヘッドはトンネル内の電磁石の近くに設置され、ヘッドで検出された信号は図 1の第1～第3電源棟の処理回路まで、数10m～数100mのケーブルを用いて伝送される。これらの通線経路に沿って大電力機器（電磁石など）の通電用ケーブルも配線されているため、ケーブル両端の接地点の電位差によるコモンモードノイズや、伝送途中で大電力線からの電磁放射によるノイズが誘導される。こうして、ビーム診断装置の信号線に様々なノイズが誘導されるため、微小電力信号を扱うJ-PARCのビーム診断装置の測定にとってノイズのImmunity対策は重要な問題である。

3. 建設時に準備されたノイズ対策

J-PARCのビーム診断装置の建設において、KEK-PSやKEKBなどの経験を踏まえ、可能な限りのノイズ対策が行われた。

¹⁾ E-mail: tejima@post.kek.jp

3.1 ビーム診断装置専用のアース用銅板

真空チェンバーに接続されたBPMヘッドは、電磁石と絶縁されているため、このままでは、自らアンテナになり外部ノイズに弱いので何らかの接地をする必要がある。ノイズ対策の基本は、ノイズ源及び信号源の近くで接地することであるから^[1]、BPMヘッドの場合も、トンネル内で接地することが必要である。JPARC MRではトンネル内の3箇所アークセクションの中央に設けられた接地点(A種)から図2のように全周にアース用銅板を敷設し、モニタヘッド専用のアースとして使用された

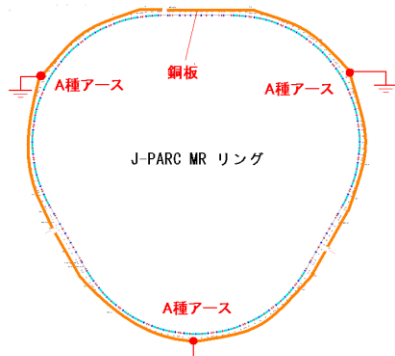


図 2: MRに設置されたアース用銅板

3.2 四芯同軸ケーブルの採用

BPMの信号伝送のために、KEKBのBPMでも使用された四芯同軸一括シールドケーブルが採用された。これは、通常の二重シールド同軸ケーブルを4本纏って束ねた上、一括してシールドしているためノイズ遮蔽性が高いケーブルである(図3)。特にBPMの場合は4電極の信号の伝送バランスが安定していることが重要であるので、このケーブルを使用

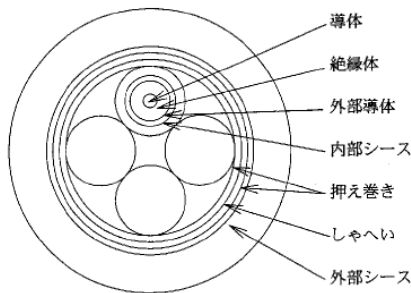


図 3: 4芯同軸ケーブルの断面

することで、温度の変化や外部ノイズの影響を軽減する効果を期待している。また、一括シールドは接地することで、電磁放射ノイズに対する遮蔽効果を強めることになる。

実際、J-PARC MRでは、一括シールドをアース銅板と接続して、トンネル内でA種アースに接地したところ、図4に示すように、ノイズ遮蔽の効果があつた。BPMの信号にあつたノーマルモード($V_{pp}=12V$)を1/6程度まで減少できた。

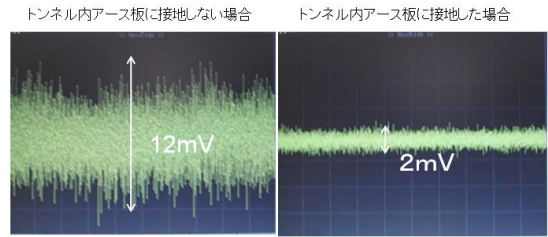


図 4: 一括シールドの遮蔽効果

3.3 ノイズカットトランスの導入

ビーム診断装置の信号処理の電子学は、3箇所の電源棟の中に仕切られたローカル制御室に設置された。これらの電源棟には、電磁石の電源やビーム入射機器の電源、高周波加速装置の電源も設置されているため、電源棟におけるAC100Vラインはさまざまなノイズの伝播ルートになっている。

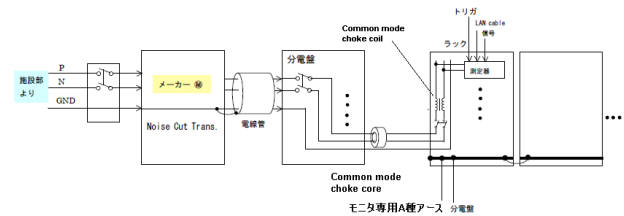


図 5: モニタ用AC電源のノイズ対策

そこで、ビーム診断装置の信号処理回路のためのAC100Vはノイズ・カット・トランス(NCT)を通して給電することにした(図5)。

NCTのノイズ遮断効果について、電磁石通電時に試験を実施したところ、NCTの入力側で測定されたコモンモード($V_{pp}=27.5V$)とノーマルモード($V_{pp}=9V$)が出力側ではオシロスコプの測定限界以下まで遮断されていることを確認した。(図6)

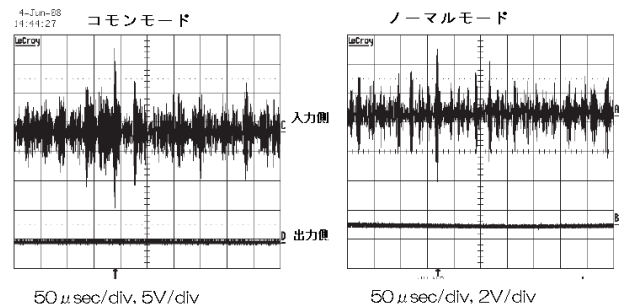


図 6: NCTのノイズ遮断効果

3.4 モニタヘッドと電磁石との絶縁

特にBPMヘッドはステアリング電磁石の磁極の中に設置されるため、IGBT電源などのスイッチング電源から発生するノイズの影響が問題となる。この電磁石からのノイズ避けるために、BPMヘッドはセラミック溶射されたスペーサを間に挟んで、絶縁して四極電磁石に固定された。図7に示すように、2組

のダイアゴナル・カット電極を持つBPMヘッドはアース板に接地され、検出されたビーム信号を4本の同軸ケーブルで地上の電源棟の信号処理回路に伝送する。信号処理回路の入力側には絶縁トランスで信号を受け取るようになっており、コモンモードノイズを排除する。処理回路側のアースも、電源棟内のA種アース（モニタ専用）に接地され、電源棟内の大電力機器からのノイズの影響から防御する対策がとられている。

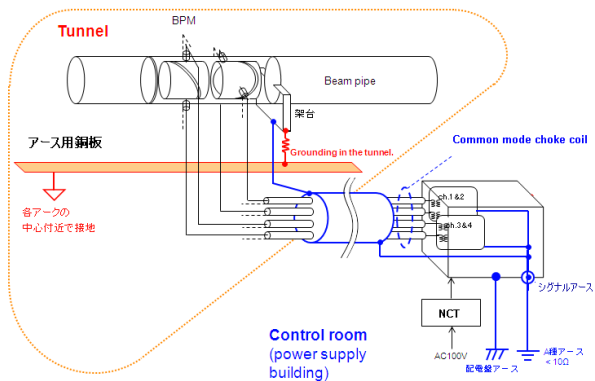


図 7: BPMの信号伝送経路

3.5 コモンモード・チョークコイル

上記4項目で、外部ノイズの軽減のための対策が行われたが、J-PARCのように数百メートルもの距離を信号伝送する場合は、コモンモードノイズの影響を完全に排除することは難しいため、磁性体コア（実際はファインメットを使用）に同軸ケーブルを巻きつけたコモンモードチョークコイルを伝送経路の途中にコモンモードフィルタとして挿入した。コモンモードフィルタとは図 8に示すように同軸ケーブルにコモンモード電流が流れると磁性体コアに同一方向の磁束が生じ、これが互いに強め合って高いインピーダンスを持つようになるが、ディファレンシャルな電流（信号）が流れる場合はコアの中の磁束は互いに逆方向に生じて打ち消しあうことになり、インピーダンスが低くなる特性を利用したフィルターである^{[1][3]}。

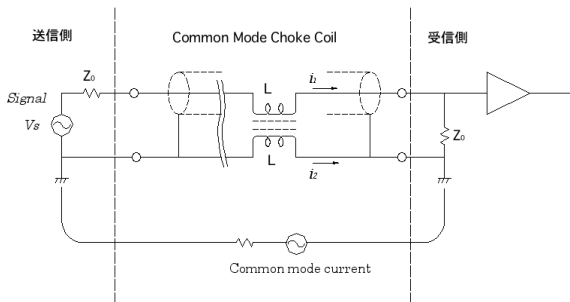


図 8: コモンモード・チョークコイル

図 9の写真(左)のようなコモンモード・チョークコイルは、全てのBPM信号に対して信号処理回路への信号入力部に使用した。

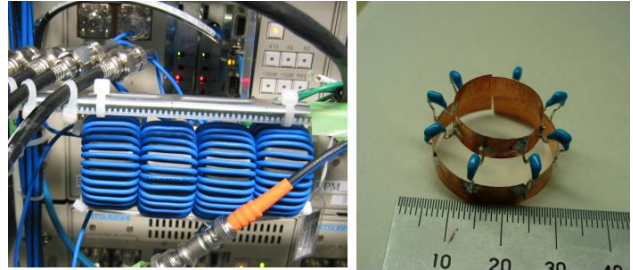


図 9: BPM回路に実装されたコモンモード・チョークコイルとFCTに使用された静電結合器

3.6 その他の対策

3-50BTのBPMでは、入射セプタム通電中に約2.0 Vppのノイズ波形が観測された。このノイズに対しては、コモンモード・チョークコイルを試したが効果はほとんど無かったため、信号線を絶縁して、低域周波数の遮断効果を持つRFトランス（HPF）を挿入した結果、セプタム電磁石由来のノイズ波形が11 mVpp以下に減少させることができた。

FCTでは、同軸ケーブルの外部導体とFCTヘッドのグラウンド（外部シールド）が絶縁されているため、外部からの電磁放射ノイズに弱くなっている。この電磁放射ノイズ対策として、図 9の写真(右)で示すようなコンデンサを8個平行に接続した工作物をFCTの出力コネクタに装着して、絶縁されていたグラウンドをせいで高周波的に接続することで、外部ノイズに対する遮蔽効果を改善することができた。

4. まとめ

今年の3月から5月のJPARCのコミショニング開始直前までの期間、ビーム診断装置のノイズ調査を集中的に実施された。ほとんどのモニタにおいて、数10mV～数Vのノイズ波形が観測されたため、10mV以下のノイズレベルをめざして、試行錯誤的にノイズ対策を行った結果、DAY-Iのコミショニングに必要な精度でビーム診断装置は働いた^[4]。

参考文献

- [1] 平松成範, "Beam Instrumentation for Accelerators", KEK Internal 2004-4.
- [2] T.Toyama, et al. "J-PARC MRのビーム診断", 2007年加速器学会プロシーディングス
- [3] "実践的ノイズ対策技術のすべて", トランジスタ技術", SPECIAL No82.
- [4] T.Toyama, et al., "J-PARC MRコミショニングにおけるビーム診断", 本学会プロシーディングス