

Coupling impedance bench measurement of J-PARC ring components

Takeshi Toyama^{1,A)}, Yongho Chin^{A)}, Junichiro Kamiya^{B)}, Kunio Koseki^{A)}, Yoshihiro Shobuda^{B)},
Koji Takata^{A)}, Masao Watanabe^{B)}, Masahito Yoshii^{A)}

A) High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

B) Japan Atomic Energy Agency (JAEA), 2-4 Shirakatashirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195, Japan

Abstract

Coupling impedances is a key issue for high intensity accelerators, because it may cause collective instabilities. In J-PARC RCS and MR, injection and extraction kickers, and acceleration RF cavities are the dominant sources of coupling impedance. There exist bench measurement methods of impedances with wire/wires. Longitudinal impedance can be measured with "monopole-mode" and transverse impedance with "dipole-mode". The results are reported.

J-PARCリング用機器の結合インピーダンスのベンチ測定

1. はじめに

大強度加速器では、機器の結合インピーダンスがビームの集団運動の不安定性を引き起こすために、結合インピーダンスの定量的把握と対策が重要である。J-PARC RCS, MRでは、入射、取出キッカー、加速RF空洞が大きなインピーダンス源となっている。結合インピーダンスを評価する方法として、機器の設置前にベンチでワイヤーを使って行なう測定方法がある。第1は、ビームを模擬する1本（または2本）のワイヤーにより"monopole-mode"を励振して縦方向結合インピーダンスを測定するものである。第2は、2本のワイヤーで"dipole-mode"を励振して横方向結合インピーダンスを測定するものである。それぞれの機器の測定結果を報告する。また、対策についての検討状況も報告する。

2. 測定方法

縦方向結合インピーダンスを測定する方法は、ビームダクトの中心に1本のワイヤーを張り、軸対称の電磁場 (TEM) を励振するものである^[1,2]。図1に測定ブロック図を示す。

Network Analyzerのport1, port2を図のように接続する。接続部にはインピーダンス整合のための抵抗を付ける。透過係数を測定し、

$$Z_L = -2Z_c \ln \frac{S_{21DUT}}{S_{21REF}} \quad (1)$$

を使って縦方向結合インピーダンスを計算する。

ここでは、図2に示すような2本のワイヤーを

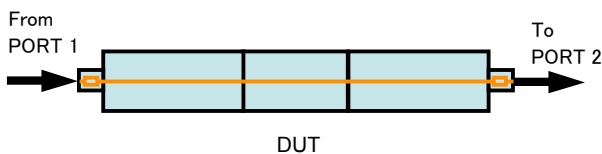


図1： 縦方向結合インピーダンス測定

張る横方向インピーダンス測定時に、以下に述べるように一括測定した結果を示す。

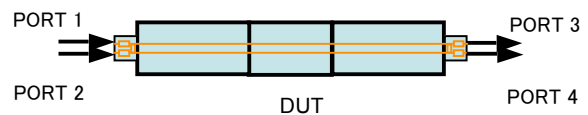


図2： 横方向結合インピーダンス測定 (I)

横方向結合インピーダンスを測定する方法は、ビームダクトの中心部に2本のワイヤーを張り、dipoleの電磁場 (TEM) を励振するものである^[1,2,3]。この配置では、common modeとdifferential modeの2つが可能である。マルチポートのネットワークアナライザにより、これらの散乱行列を一括して測定することが出来る。縦方向結合インピーダンスは、common mode間の透過係数 S_{cc21} を式(1)に代入して求める。横方向結合インピーダンスはdifferential mode間の透過係数 S_{dd21} を使い、

$$Z = -2Z_c \ln \frac{S_{dd21DUT}}{S_{dd21REF}} \quad (2)$$

$$Z_T = \frac{c}{\omega} \frac{Z}{\Delta^2}$$

によって求める。この時 Z_c にはそれぞれのモードの特性インピーダンス Z_{com} 、 Z_{dif} を使う。

上記の方法は、数10MHz以上の高周波では十分感度を持つが、数10MHz以下では十分なSNが得られない。そのため、片端をショートした状態でループを形成しインダクタンスの変化を調べる^[4]。そのため反射係数 S_{dd11} を使う。横方向インピーダンスは、

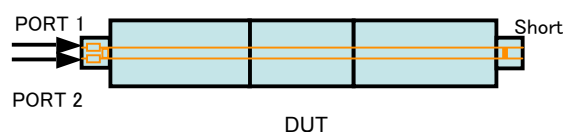


図3： 横方向結合インピーダンス測定 (II)

¹ E-mail: takeshi.toyama@kek.jp

$$\begin{aligned}
 Z_{in}(DUT) &= Z_{dif} \frac{1+S_{dd11DUT}}{1-S_{dd11DUT}} \\
 Z_{in}(REF) &= Z_{dif} \frac{1+S_{dd21REF}}{1-S_{dd21REF}} \\
 \Delta Z &= Z_{in}(DUT) - Z_{in}(REF) \\
 Z_T &= \frac{c}{\omega} \frac{\Delta Z}{\Delta^2}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

によって求める。

ワイヤー法による散乱行列から結合インピーダンスを導出する論拠について検討がされている^[5,6]。

3. MR キッカー

MRには、入射キッカー、入射ダンプキッカー、取り出しキッカーがある。今回は入射ダンプキッカー^[7]および取り出しキッカー（day-one仕様）^[8]のみ測定した。キッカーは横方向インピーダンスが問題となるので、図3の方法（反射法）で測定した結果を示す。

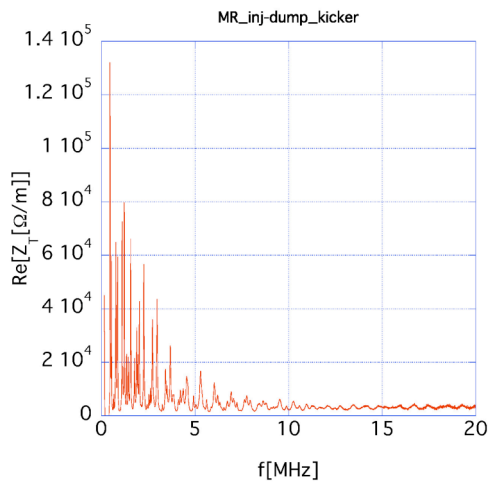


図4：MR入射ダンプキッカー横方向インピーダンス

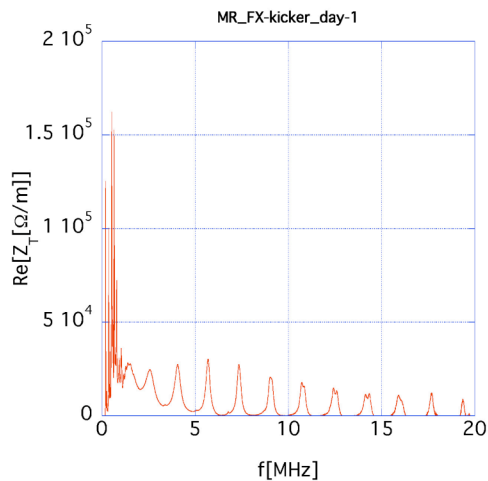


図5：MR取り出しキッカー横方向インピーダンス

取り出しキッカーは近い将来改良したものを製作し、置き換える予定なので、結合インピーダンス対策は施していない。改良版の対策は現在検討中である。

4. MR RFキャビティ

MRのRFキャビティの結合インピーダンスを図2の方法（透過法）で測定した結果を示す。1.7 MHz付近の共鳴（スケールオーバーしている）は基本波で加速モードである。高次モードについては検討がなされている^[9]。

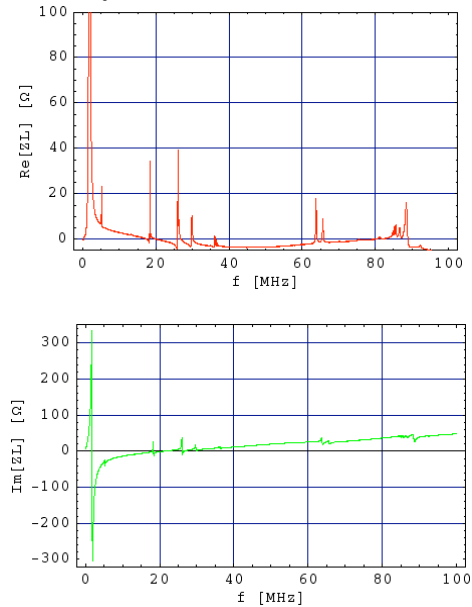


図6：MR RFキャビティ縦方向インピーダンス

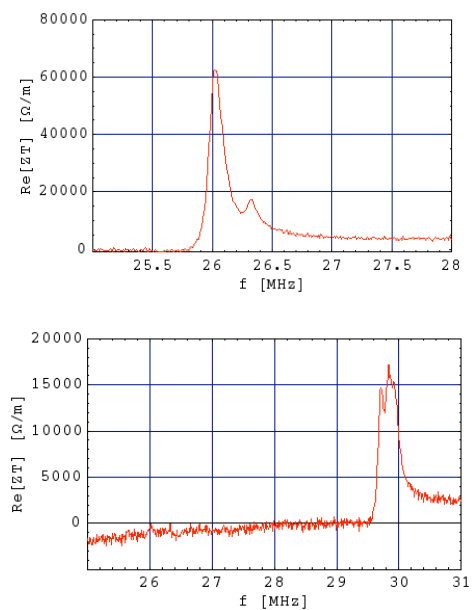


図7：MR RFキャビティ横方向インピーダンス
上図：水平方向。下図：垂直方向、共鳴のある部分のみ拡大してプロットした。

5. RCS キッカー

RCSには8台の取り出しキッカーがある^[10]。今回はそれらのプロトタイプ1台を測定した。図3の方法(反射法)で測定した。図8(a)は運転時と同様のケーブル配置での結果である。非常に大きなインピーダンスであり、設計ビーム強度では不安定となると予測される。大きいシャープな共鳴はケーブル端のインピーダンス・ミスマッチによって起こっていると考えられる。確認のため、電源のサイラトン出力側にマッチング抵抗を付けた場合(図8(b))、キッカー本体のケーブル入力端にマッチング抵抗を付けた場合(図8(c))を調べた。1桁近く低減されることがわかる。

実際にはこのような配置は、キッカーの励磁と両立しないので、図9のように、キッカーの励磁に対してはダイオードがオンでショート状態、ビーム周回時(キッカーオフ時)でウェークによる電圧が発生した時は半波のみ抵抗で消費されるような配置を考えてテスト中である^[11]。その他にも、過飽和リアクトルを使用する方法があるが^[12]、RCSでは、現状からの変更を小さく抑える場合は、同じ配置を取ることが困難である。

6. まとめ

J-PARC RCSおよびMRで大きな結合インピーダンス源と考えられる機器について、ワイヤーを使ったベンチ測定を行なった。キッカーの横方向インピーダンスは設計ビーム強度では不安定性を引き起こすと考えられる大きさなので、対策を検討中である。そのなかでも、ダイオードを使用する方法についての予備測定が進行中である。

参考文献

- [1] F. Caspers, in "Handbook of Accelerator Physics and Engineering", Eds. A. Chao and M. Tigner (1998).
- [2] L. Walling et al., NIM A281 (1989) p.433.
- [3] T. Toyama et al., HB2006 (2006) p.140.
- [4] G. Nassibian and F. Sacherer, NIM 159 (1979) p.21.
- [5] H. Hahn, Phys. Rev. ST Accel. Beams 7, 012001 (2004).
- [6] Y. Shobuda, private communication.
- [7] E. Nakamura et al., Proc. of the 4th Ann. Meeting of Part. Acc. Soc. of Japan (2007).
- [8] K. Koseki et al., these proceedings.
- [9] K. Hasegawa et al., these proceedings.
- [10] J. Kamiya et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 16, No.2, June 2006, p.168
- [11] Y. Chin et al., talk at ATAC2008.
- [12] W. Zhang et al., EPAC2004 (2004) p.1810.

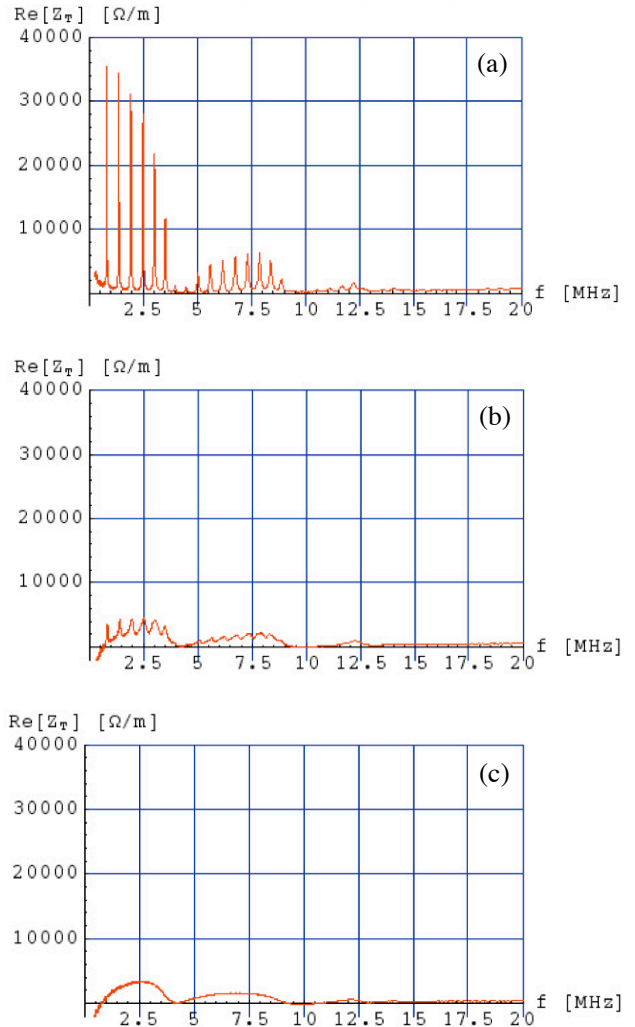


図8: RCS 取り出しキッカー横方向インピーダンス
(a) 現在のセットアップ
(b) 電源のサイラトン出力側ケーブルでインピーダンス整合
(c) キッカー本体入力部でインピーダンス整合

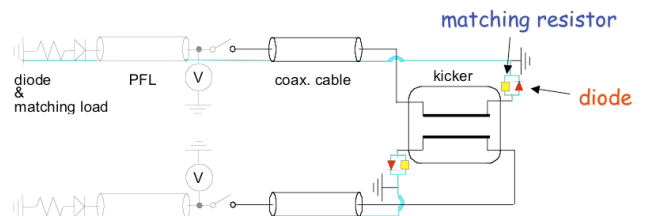


図9: キッカー横方向インピーダンス低減策