

同軸管のマルチパクタリング測定

MEASUREMENT OF MULTIPACTORING IN COAXIAL TUBE

岡田 雅之[#], 外山 毅

Masashi Okada [#], Takeshi Toyama

KEK J-PARC Acc.

Abstract

A mass of floating electrons caused by residual gas repelled by a beam or particles out of orbit is called an electron cloud. The electron cloud instabilizes the beam orbit by the interaction with the beam. In J-PARC MR, the electron cloud is one of the causes to upper limit the beam intensity during slow extraction operation. An electron cloud monitor is installed in the MR, but this monitor requires calibration. Therefore, a test bench was constructed for the study of electron cloud suppression methods and for the calibration of monitors. The test bench consists of a coaxial tube with a built-in electron cloud monitor, which creates an electron cloud by exploiting multipactoring in the tube. In this time, we confirmed the multipactoring region and observed electron cloud build up by electron cloud monitor.

1. はじめに

加速器において、ダクト内の残留ガスにビームが衝突して弾かれたり、ビーム粒子が軌道から外れたりして外壁に衝突すると二次電子が放出される。放出された電子の一部はビームによる電磁場で再度加速されて再び壁に衝突し二次電子を放出する。これが繰り返されて放出される電子が増大する現象をマルチパクタリングと呼ぶ。マルチパクタリングによって増大した浮遊電子の塊は電子雲(eCloud)と呼ばれる。電子雲は電気的な相互作用によりビーム軌道を不安定化しロスを引き起こすほか、真空の悪化や機器の放電など様々な悪影響を及ぼす。この問題は J-PARC でも示唆されており[1]、実際に MR の遅い取り出し運転では電子雲によるロスがビーム強度の上限を決める大きな要因となっている[2]。

また、MR には電子雲の発生を観測する電子雲モニタが設置されているが、このモニタは信号出力の校正が出来てない為、電子雲の発生や増減は観測できるものの定量的な評価が出来ない。電子雲の密度を知る事はビーム軌道のシミュレーション等に有用であるためモニタを校正する事が求められている。そこで、電子雲モニタを組み込んだ同軸管型のテストベンチを作成し、管内で発生するマルチパクタリングを利用して電子雲の抑制方法やモニタの校正方法について検討をする事にした。

本発表ではテストベンチの製作とマルチパクタリングの測定について報告する。

2. 同軸管テストベンチ

2.1 電子雲モニタ

電子雲モニタはビームダクトに幅 6 mm 長さ 60 mm のスリットを入れ、その外側に収集電極を設置してスリットを抜けて来た粒子を取り込む構造になっている。収集電極にはバイアス-T が取り付けられ、電極からの 2 次電子の放出を抑える為の DC 電圧を印加する電源と信号を見る為のオシロスコープにつながっている。(Fig. 1)

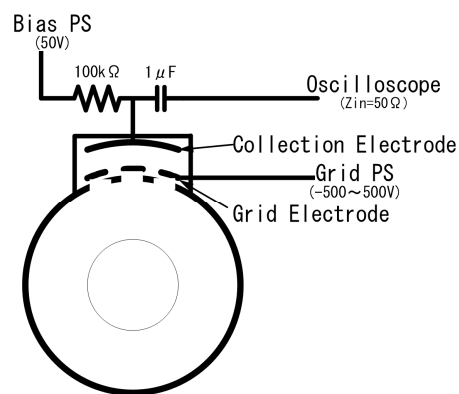


Figure 1: eCloud monitor.

また、ダクトのスリット直上にはメッシュ状のグリッド電極が設置されていて、スリットから出て来た粒子はグリッドにかかる電圧以上のエネルギーが無いと通過できないので、グリッド電圧を調整する事で粒子をエネルギーで選別する事が出来る。

2.2 テストベンチ

今回作成したテストベンチの概略図と写真を Fig. 2 に示す。テストベンチでは電子雲の発生源としてビームの代わりに RF によるマルチパクタリングを利用することにしたので、電子雲モニタのダクトの中心に内導体を挿入して同軸構造にして内導体と外導体の間でマルチパクタリングが起きる様にした。この時、テストベンチ全体を特性インピーダンスが 50 Ω の同軸管にする為、電子雲モニタの内径(φ 133.8)に合わせて内導体の外径を φ 58.1 とした。両端はインピーダンスを保ったまま細くして行って最終的に 7/16 DIN コネクタに接続されている。途中の段差は内導体をマコールのリングで支持している部分である。

コネクタからはそれぞれアンプとアッテネーターにつながっていて、アンプから入力された RF はテストベンチを通過してアッテネーターに吸収される。この時電圧と周波数の条件が合えばテストベンチ内でマルチパクタリングが発生する。

[#] masashi.okada@kek.jp

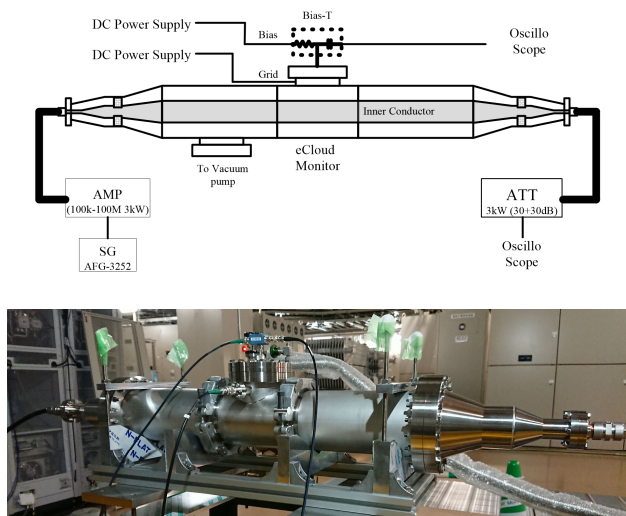


Figure 2: Coaxial test bench schematic representation and photo.

テストベンチの素材はSUS316Lを用いた。これは以前の実験で二次電子放出係数(SEY)の値が高く長時間エージングしてもマルチパクタリングによる電子を発生させ続けることが期待できるからである。[3]

3. 測定結果

3.1 マルチパクタリングの測定

このテストベンチでマルチパクタリングが発生する RF 条件を確認する為、RF を周波数と電圧を変えながら印加した。その時の真空の値をプロットしたものを Fig. 3 に示す。マルチパクタリングが発生すると真空が悪化するのがその変化はゆっくりであり安定するのに数秒の時間を要する。そこで、RF を印加後1秒ごとに7秒間測定し安定した後半の3回の平均をとってその時の真空の値とした。また真空が大きく悪化した際には次の印加を始めず真空の値が 1.0×10^{-5} Pa まで改善するのを待ってから測定を再開する事で前の測定の影響を受けない様にした。グラフを見ると大きく 2 つのエリアでマルチパクタリングが

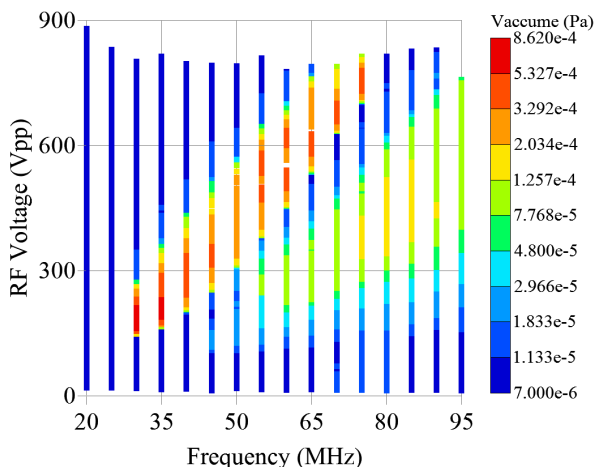


Figure 3: Multipactoring measurement.

発生している事が分かる。左がメインのダクト部分で、右下の弱くて広範囲の反応が何処から来ているのか現在解析中である。

3.2 電子雲モニタの信号

マルチパクタリングが発生しているときの電子雲モニタの信号を観察した。RF をマルチパクタリングが発生する 50 MHz 400 Vpp に設定し、1 Hz で 10 ms のバースト運転で、マルチパクタリングによる電子の増加を測定した。この時真空は 7.0×10^{-6} Pa で Duty が小さいのでマルチパクタリングが発生しても値は変化しなかった。

RF を印加するとモニタ側にもその一部が漏れてくるが移動平均をとる事でそれを除去し、マルチパクタリングで発生した電子の信号を取り出した(Fig. 4)。マルチパクタ

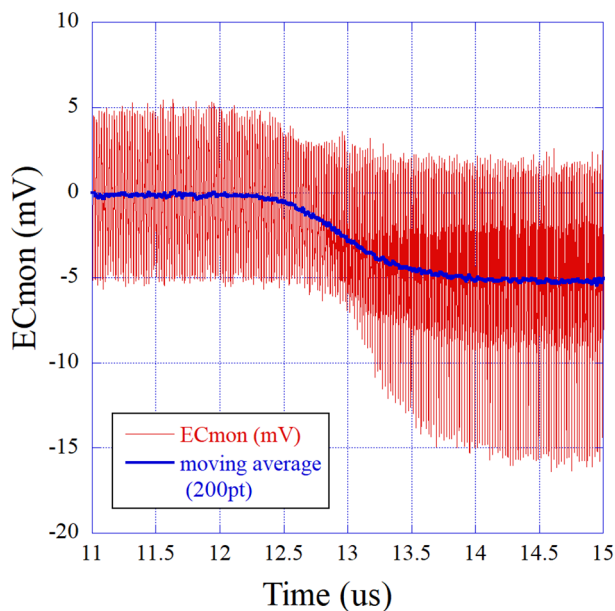


Figure 4: Multipactoring build up.

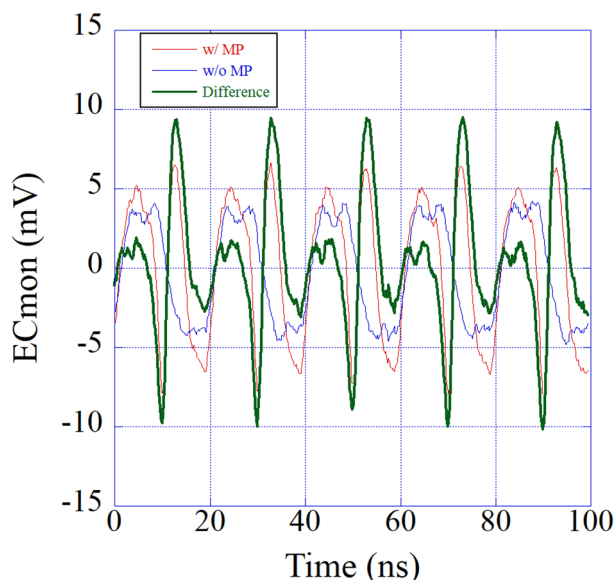


Figure 5: Multipactoring signal.

リングが始まって約 1 μs でだいたい飽和することが分かる。

Figure 5 はモニタの Bias に 50 V、Grid に +100 V を印加した時の信号である。マルチパクタリングが発生している時と無い時の差をとる事で収集電極に来た電子の信号を分離した。正と負のピークについて Grid の電圧を変えて測定したものが Fig. 6 である。負のピークはマルチパクタリングで発生した電子が電極に達した時のもので、放出される電子の大半は 400 eV 以下である事が分かる。また正のピークは Bias 電極に印加した 50 V を越えたところで急に増える事から収集電極で生じた 2 次電子が電極に戻らず Grid に引っ張られた為と考えている。

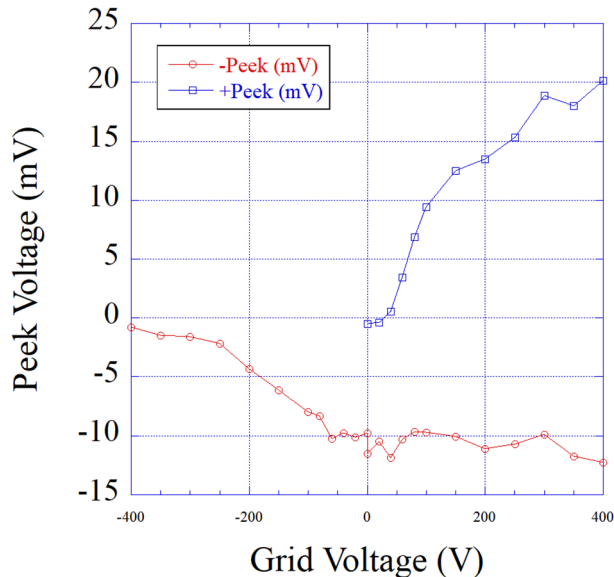


Figure 6: Relationship between peak and grid voltage.

4. まとめ

加速器で発生する電子雲はビーム軌道を不安定化など様々な悪影響を及ぼす。J-PARC MR でも遅い取り出し運転で強度の上限を決める大きな要因となっている。そこで電子雲の抑制方法と MR に設置されている電子雲モニタの校正を目的としたテストベンチを作成した。テストベンチは全体として 50 Ω の同軸管となっていて、RF を印加する事で発生するマルチパクタリングで電子雲を生成出来る。製作したテストベンチについてマルチパクタリングが起こる RF の条件を確認し、その時の電子雲モニタの信号を観測した。

参考文献

- [1] T. Toyama *et al.*, “J-PARC における電子雲と e-p 不安定性”, 加速器学会誌「加速器」Vol.3 No.2, 2006, p144-150; <https://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles/3/p144.pdf>
- [2] M. Tomizawa *et al.*, “Status and plans for SX at J-PARC”, ICFA Mini-Workshop on Slow Extraction, 2022; https://conference-indico.kek.jp/event/163/contributions/3138/attachments/2157/2694/2022SXWorkshop_Tomizawa.pdf
- [3] M. Okada *et al.*, “J-PARC MR におけるエキサイター電極の表面処理によるマルチパクタリングの抑制について”,

Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Japan, Aug. 3-5, 2013, p1176-1179; https://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/SUP0/SUP099.pdf