

Static beam position monitor for a small ion storage ring S-LSR

Shinji Fujimoto^{1,A)}, Toshiyuki Shirai^{A)}, Akira Noda^{A)}, Hiromu Tongu^{A)}, Takeshi Takeuchi^{B)}, Koji Noda^{C)}

^{A)} Institute for Chemical Research, Kyoto University

Gokasho, Uji-shi, Kyoto, 611-0011 JAPAN

^{B)} Accelerator Engineering. Co. Ltd.

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555 JAPAN

^{C)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, 263-8555 JAPAN

Abstract

The static beam position monitors for a small ion storage ring S-LSR are being developed now. The monitors are installed at the chamber for a bending magnet because of the limited available space. The monitor is composed of four electrodes whose shape is a right triangle and dimension is 100[mm] × 200[mm]. The shape of the monitor aperture is octagon, and the distance between upper electrodes and lower electrodes is 46 ± 0.3 [mm]. The position information of the monitors is calibrated with a test chamber. Two methods for position identification are proposed. One is Difference over Sum method, another is Log Ratio method. The linearity about ± 50 [mm] was realized by the latter signal identification method. This region is the full length of the monitor electrode.

S-LSR 静電ビームポジションモニター

1 . Introduction

現在、京都大学化学研究所先端ビームナノ科学センターにおいて小型重イオン蓄積リングS-LSRが建設中である。S-LSRは周長約22.6[m]、6回対称のリングで蓄積イオン種はプロトン 7[MeV]、 $^{12}\text{C}^{6+}$ [2MeV/u]、 $^{24}\text{Mg}^{+}$ [35keV]であり、ビーム冷却として電子ビーム冷却とレーザー冷却を行う予定である。ビーム冷却を行うに当たって電子ビームや冷却レーザーとイオンビームを高い位置精度でオーバーラップさせることが重要である。また、蓄積リング中で安定にビームを周回させるにはイオンビームのCODを正しく測定しなければならない。これらの要求を満たすビームモニターが静電ビームポジションモニターである。静電ビームポジションモニターは多数の蓄積リングで用いられているが、その理由は

）構造が簡単である

）0.5[mm]程度の位置分解能を持つ

である。 ）ビーム軌道をトラッキングするためにリング中に多数設置する必要がある、その点電極とフィードスルーからなる構造の静電ビームポジションモニターはシンプルである。 ）レーザー冷却を行う際、レーザー径は1[mm]程度であるから上記の分解能がないとイオンビームとレーザーをオーバーラップさせることが難しい。

今回は以上の要求に沿う静電ビームポジションモニターを設計した。

2 . モニターデザイン

2.1 デザインコンセプト

先に述べたようにS-LSRは非常にコンパクトなイオン蓄積リングであり、静電ビームモニターを12台（各Bending Magnetの両端に2台ずつ）設置するにはモニター固有のスペースをとることは出来ない。そのためBending Magnetの真空チェンバー（B-チェンバー）の四重極電磁石が取り付けられる部分のフランジに片持ち構造で設置することにし、

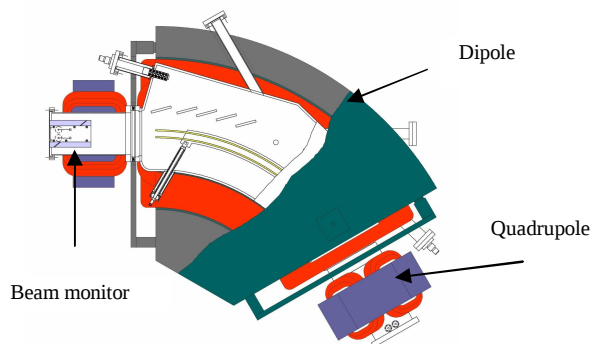


図1: ビームモニター設置場所

B-チェンバーのフランジ（四重極電磁石のある場所）に設置する。

モニター自体は四重極電磁石の磁場を乱さないために全てSUS316L材を用いた。また、B-チェンバーの構造上、モニターの位置較正はB-チェンバーに取り付けて行うことが出来ないため、チェンバー

¹ E-mail: fujimoto@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

外で較正を行った後でも取り付けが容易に出来、モニターの各電極間の位置関係が保たれるように箱型のモニターにした。モニターのデザインを図1に示す。重量を減らすためにモニターのグラウンド面は中抜きにして、薄いSUS材を取り付けることにした。

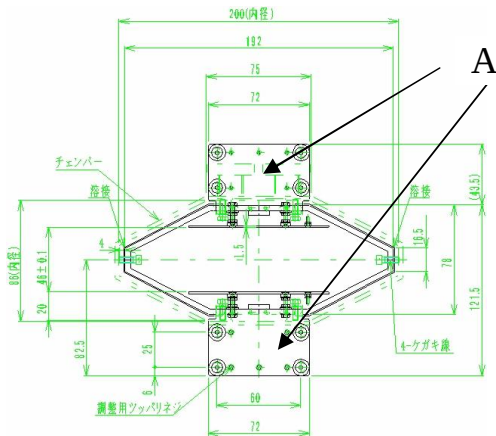


図2:モニター構造図
ビーム軸垂直方向から見た図。A部のプレートでAlignmentおよび固定をする。

モニター電極は幅100[mm]、奥行き200[mm]の直角三角形を上下2枚ずつ計4枚からなる。上下電極間距離は 46 ± 0.3 [mm]である。Vertical Positionの測定には上側電極と下側電極との信号を比較し、Horizontal Positionには左右の電極信号を比較する。信号の取り出しはセラマシル社製SMAフィードスルーを用いた。軸材は非磁性体インコネルXである。

モニターのAlignmentはモニター取り付け部にある複数個の押しネジ、引きネジ、さらにモニター前部にある左右移動用の押しネジを使って行う。このネジはモニター固定用としても用いる。

2.2 信号レベル

SMAフィードスルーを出た信号はNF Corporation製の前置増幅器SA-220F5(PA220)で46[dB]増幅される。期待される信号レベルは以下の式によって与えられる。[1][2]

$$I(t) = \frac{qN}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$V_{\text{out}} \cong G \frac{\phi}{2\pi} \frac{1}{C} \frac{L}{\beta c} \frac{2qN}{T_0} \exp\left(-\frac{\omega_0^2 \sigma^2}{2}\right)$$

蓄積イオン種の中でもっとも信号レベルが小さいものは $^{24}\text{Mg}^+$ で、それに対する信号レベルは十分測定可能な ~ 10 [mV]である。

3. モニター位置較正テスト

3.1 較正テストセットアップ

モニターの位置較正テストを以下の図3のようなセットアップで行った。Signal Generator からプロトンや $^{12}\text{C}^{6+}$ のRevolution Frequencyに近い1[MHz]の信号をモニター内に図3のように張ったワイヤーに流す。PA220で増幅された信号をAgilent Technologies製 Spectrum analyzer 4395Aを使って強度を測定する。

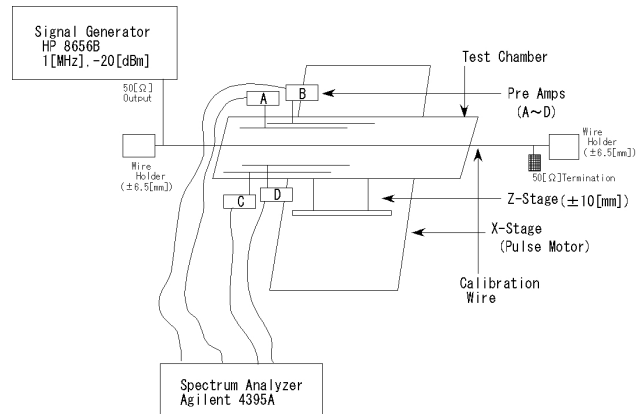


図3:位置較正テストセットアップ

Signal Generatorからの信号(1[MHz]、-20[dBm])をワイヤーに流し、各電極からの信号をPA220にて増幅、Spectrum Analyzerで各増幅器からの信号の強度を測定する。

3.2 信号処理

信号処理方法は2通りある。

) Difference over Sum

) Log Ratio

)、) はそれぞれ以下の式(1)、(2)によってポジションを決める。X,YはそれぞれHorizontal、Vertical方向のポジションで、 K_X, K_Y, K_X', K_Y' は測定系による定数、A,B,C,D, α は各電極からの信号および電極の位置を表す角度(位置関係は図4参照)である。

$$X = K_X \left[\text{Log}\left(\frac{B}{D}\right) - \text{Log}\left(\frac{A}{C}\right) \right] \cos \alpha \quad (1)$$

$$Y = K_Y \left[\text{Log}\left(\frac{B}{D}\right) + \text{Log}\left(\frac{A}{C}\right) \right] \sin \alpha$$

$$X = K_x \frac{(B+C)-(A+D)}{A+B+C+D}$$

$$Y = K_y \frac{(A+B)-(C+D)}{A+B+C+D} \quad (2)$$

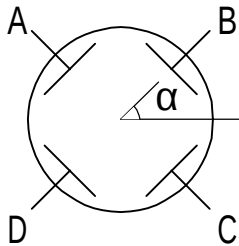


図4:電極の位置関係
ビームは紙面表から裏、A,B,C,Dは反時計回り
 α はHorizontal方向からの角度である。

これら2通りの方法で位置を同定し、プロットしたものが下図5である。)、) のそれぞれの方法について後者が広範囲で線形性を実現していることがわかる。

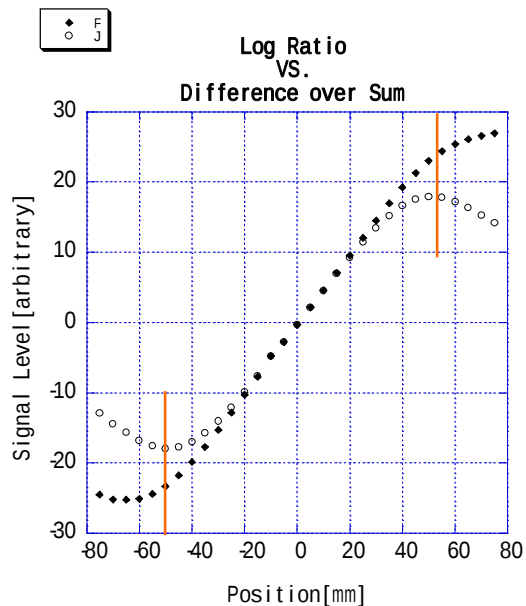


図5:Horizontal方向のワイヤー較正の結果

Vertical方向のポジションは固定 (Mechanical Center) Horizontal方向に5[mm]ステップでワイヤーを移動させた結果。白丸が) の、黒丸が) の信号処理方法の結果である。黒丸の方が広範囲でLinearityを実現していることがわかる。グラフ中の縦線が電極幅である。

次の図6はVertical方向のポジションを5[mm]ステップで変化させ、各Verticalポジションに対してワイヤーをHorizontal方向に移動させた結果である。各グループ (-10[mm], -5[mm], 0[mm], 5[mm], 10[mm]) に対してVertical方向の位置は変わらないから、Horizontal方向のワイヤーの移動に対して直線が現れるのが望ましいが電極幅程度になるとやはり直線から外れてしまうことがわかる。

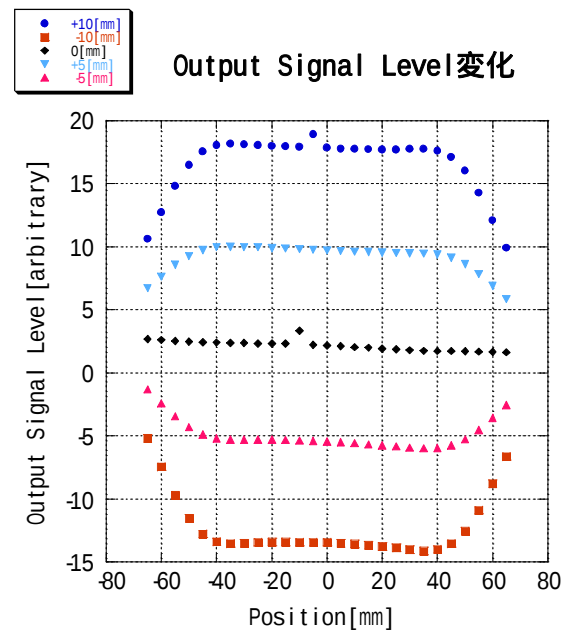


図6:Vertical信号変化の様子

下から -10[mm]、-5[mm]、0[mm]、5[mm]、10[mm] である。モニター電極幅 ± 50 [mm] を越えたあたりから急激に歪みが大きくなるのがわかる。なお、中心のずれはワイヤーやモニターのAlignmentミスではなく、PA220の個性差である。

なおElectrical CenterとMechanical Centerとのずれが約2[mm]あるが、これはNF Corporation製前置増幅器の個性差であることがわかっており、各モニターに個別の前置増幅器を割り当てて位置較正をするようにしている。

ACKNOWLEDGMENT

本研究は放射線医学総合研究所、先進小型加速器開発プロジェクトの一環として行われました。

REFERENCES

- [1] R.E.Shafer. "Beam Position Monitoring". In Proc. of The Physics of Particle Accelerators, No.249 in AIP Conf. Proc., pp. 601-636, 1992.
- [2] T.Watanabe. et al. Nucl. Instr. and Meth. A **381** (1996) pp. 194-208