

BPM によるビームプロファイル測定への試み

高崎 榮一、五十嵐 前衛、南茂 今朝雄

高エネルギー加速器研究機構(KEK)

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

BPM(Beam Position Monitor)の非線形成分には、ビーム分布の(RMS 成分)² (所謂 Quadrupole-term)からの寄与が含まれている。この Quadrupole-term は、BPM の 4 つの信号を適当に結線すれば、線形成分を打ち消し、容易に得られる。即ち、この測定の魅力は、ビーム破壊無しにビーム分布の RMS 項がビームサイズ以内で観察されることである。実際には、取り出される信号レベルが低いこと、BPM 自身の非線形成分の存在によりビーム軌道の歪み影響を受け易い点等の問題も多い。

このレポートでは、通常のビームプロファイル計器(multiwire 方式)と比較・校正し、LINAC の色々な運転パラメータの影響を観察したので、その結果を報告する。

1. はじめに

最近、BPM の非線形成分からビーム分布の情報を得ることが幾つか試みられているが、我々も、ビームラインに設置されている BPM を使い、非破壊ビーム分布測定の可能性を追求した。KEK-PS-LINAC では、様々なビームモニターが 20MeV ライン及び 40MeV ラインに取り付けられている。図 1 に 40MeV ラインに設置されている機器(ビームモニターも含む)を示す。

今回使用された BPM は、図 1 中の最上流 B.M.内の BPM と Velocity Monitor 1 内の BPM である。特に、後者の BPM は、プロファイル計器(PR5)の上流 30cm に設置され、BPM の校正用に選定された。

このレポートでは、KEK-PS-LINAC で発生しているタリオン等の LINAC 運転パラメータの変動によるビーム軌道の変化の測定結果とも合わせて報告する。このビーム軌道変化は、LINAC へのビーム入射のミスマッチングとドリフトチューブ用四極電磁石のミスマッチによる dispersion 項の発生に起因していると考えられる。

2. 測定原理と BPM 校正

BPM による非線形成分(我々が問題にしている Quadrupole-term)は、下記の物理的意味を持っている。

$$= (x)^2 + X0^2 - (y)^2 - Y0^2$$

ここで、 x, y は X,Y 方向のビーム分布の RMS であり、 $X0, Y0$ はビーム中心軌道である。

我々は、ビームで誘起された BPM ヘッドからの信号の 201MHz 成分(PS-LINAC タリオン励振周波数)を取り出し、図 2 に示す様な信号処理を行った。

これらの処理で得られた情報は、図 1 中 PR5 の測定結果と比較し、校正された。ビームプロファイルの変化

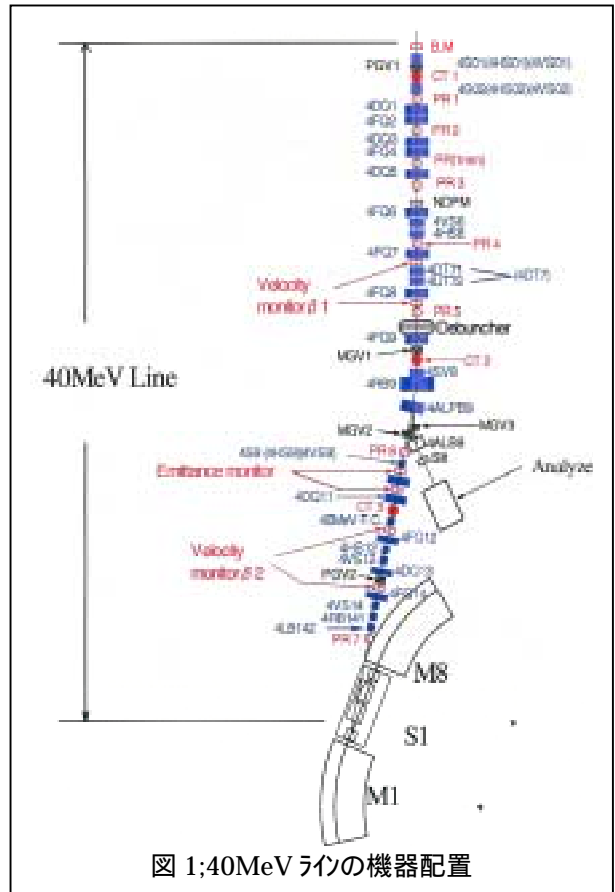


図 1;40MeV ラインの機器配置

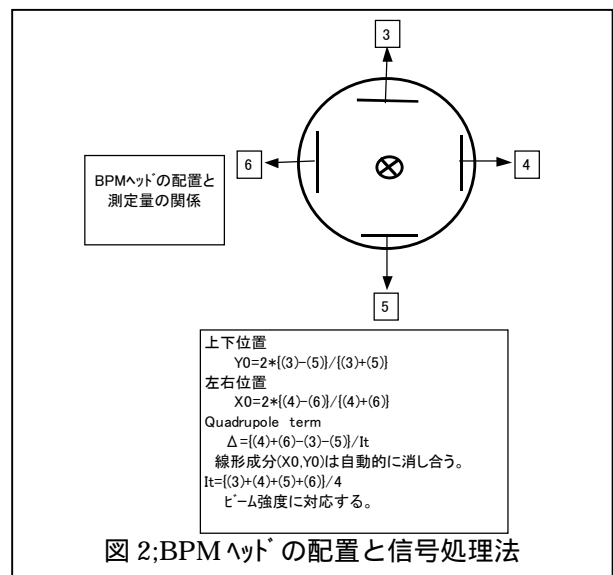


図 2;BPM ヘッドの配置と信号処理法

は、PR5 の上流に設置された四極電磁石の磁場勾配を変え、実施された。ビームプロファイルの測定結果は、ガウス分布を仮定し、最小二乗法で σ_x^2 とビーム中心軌道を求めた。しかし、horizontal ビームプロファイルでは、2種類のガウス分布を想定しなければならなかった。この2種類のガウス分布は、H加速後生じている問題であり、未解決のままである。Fittingの例を図3に示す。

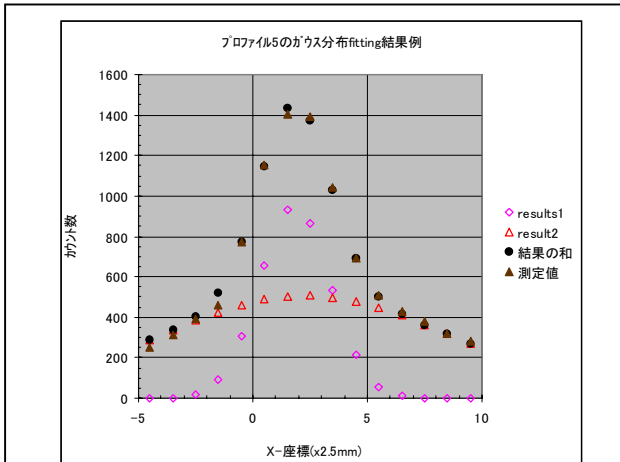


図3;PR5のhorizontalプロファイル例
“results1”と“results2”の2種類のガウス分布を想定し、fittingした。その上、計算時、“results1”で求めた x_0, X_0 を採用した。

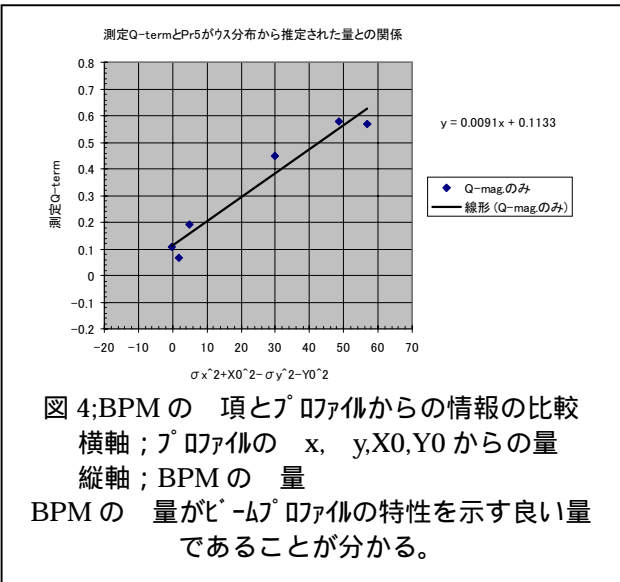


図4;BPMの項とプロファイルからの情報の比較
横軸;プロファイルの x, y, X_0, Y_0 からの量
縦軸;BPMの量
BPMの量がビームプロファイルの特性を示す良い量であることが分かる。

PR5のfittingで得られた x, y, X_0, Y_0 で、 $(x^2 + X_0^2 - (y^2 + Y_0^2)) / R^2$ を計算し、BPMの量との関係を図4に示す。図4は、両者の関係が線形であり、BPMの量なる情報がビーム分布の $(x^2 - (y^2)) / R^2$ の有力な情報源になることを示している。

中には、ビーム中心軌道の項含まれている。故に、ビームプロファイルの特性を明白に示す $(x^2 - (y^2)) / R^2$ に着目する為には、更に補正が必要である。即ち、

測定されるBPMのQuadrupole-termは $1/R^2$ であり、 $[(x^2 - (y^2)) / R^2]$ を得る為には、BPMの位置情報から $X_0/R, Y_0/R$ を求め、更に換算しなければならない。故に、 $[(x^2 - (y^2)) / R^2]$ なる量は、かなり小さな量となり、 $(X_0/R)^2, (Y_0/R)^2$ の誤差(non-linear)の影響を受け易い。ここでRとは、BPMヘッドとBPM中心の距離である。

3. 測定結果

3.1 20MeVタンクレベル変動の影響

LINAC運転パラメータの一つである20MeVタンクレベルが変化した場合、BPMにどのような情報が得られるか測定した。測定結果を図5,6に示す。図5にはビーム軌道の変化を、図6にはビームプロファイルの特性 $(x^2 - (y^2)) / R^2$ を示す。

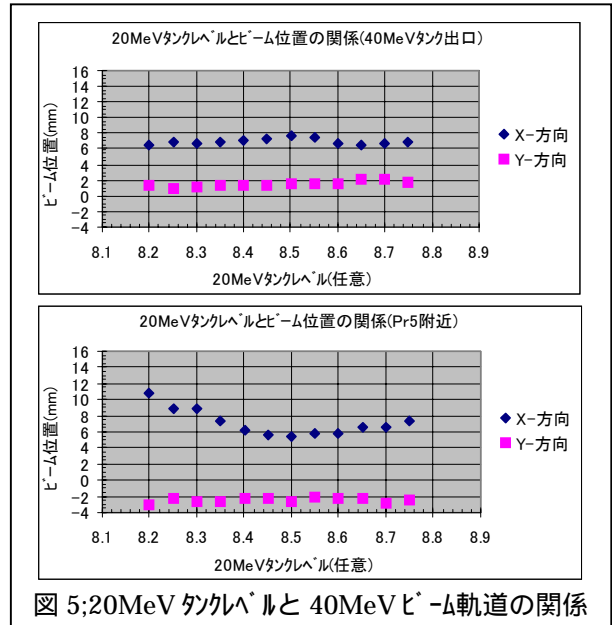


図5;20MeVタンクレベルと40MeVビーム軌道の関係

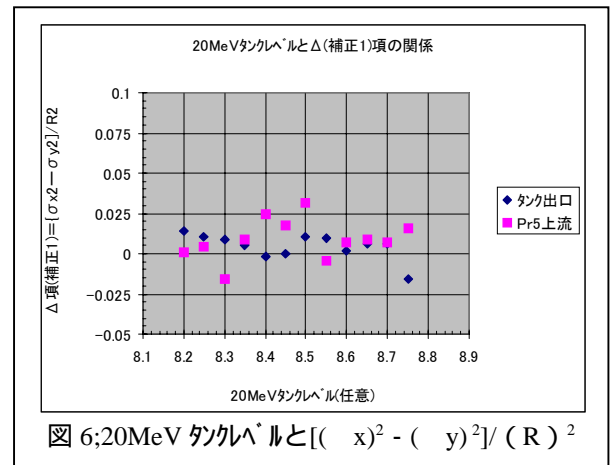


図6;20MeVタンクレベルと $[(x^2 - (y^2)) / R^2]$

図6のPR5の点での $[(x^2 - (y^2)) / R^2]$ は、図5から想像される様に $(X_0/R)^2 - (Y_0/R)^2$ の寄与が

大きく、 σ_x のパラメータも大きくなっている。それに対し、40MeV タンク出口では、 β - μ 軌道の変化も小さく、 β - μ プロファイルの特性の変化も小さい。即ち、20MeV タンクレベルの変動は、 β - μ 軌道の発散項の変化として影響していると考えられる。

3.2 40MEV タンクレベル変動の影響

図 7, 8 に 40MeV タンクレベル変動時の β - μ 軌道並びに β - μ プロファイル特性への影響を示す。

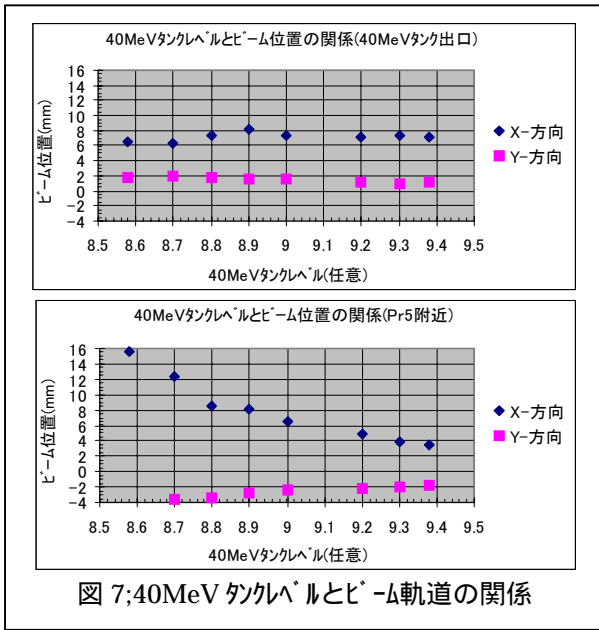


図 7;40MeV タンクレベルと β - μ 軌道の関係

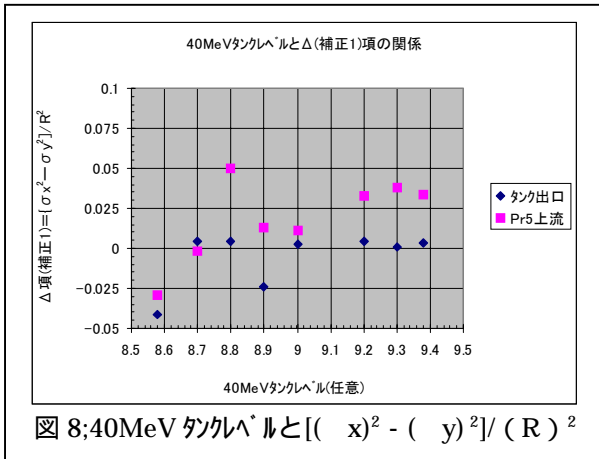


図 8;40MeV タンクレベルと $[(\sigma_x)^2 - (\sigma_y)^2] / (R)^2$

3.3 タンク間位相の変動の影響

図 9,10 に、タンク間位相が変動した場合の β - μ 軌道と β - μ プロファイル特性への影響を示す。

3.4 まとめ

タンクレベル及びタンク間の位相の変動が β - μ 軌道に影響することは、昔々から言われており、今回再確認した。その影響は、タンク出口での β - μ 軌道の発散項の変化として現れる。この原因は、四極電磁石のミスマッチ並びに入射軌道のミスマッチによる dispersion

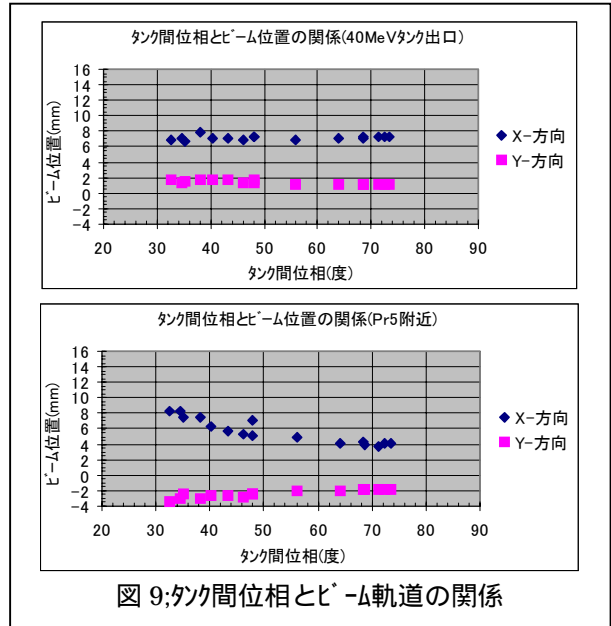


図 9;タンク間位相と β - μ 軌道の関係

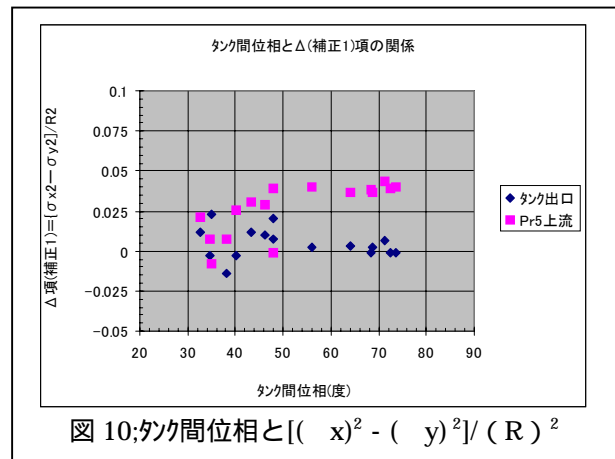


図 10;タンク間位相と $[(\sigma_x)^2 - (\sigma_y)^2] / (R)^2$

項の発生に起因すると考えられる。この軌道変化が、更に高次の non-linear 効果(高次磁場成分,fringing field 効果、空間電荷)を生むことは容易に想像される。しかし、一方、 β - μ プロファイル特性の測定結果は、図 6,8,10 に見られる様に、運転パラメータの変化による影響が小さいこと示唆している。又、この結果は、同様のパラメータ変動がミックス増加に大きく寄与しなかった昔の測定結果と一致している。ミックス増加への寄与が小さいことは、KEK-PS-LINAC では、20MeV タンクの上流部で β - μ がアクセプタンスで制限され、それ以降の adiabatic damping が大きいことによると考えられる。当然、今回の測定法では、十分な精度がなく、 β - μ プロファイルの特性変化が観測されない懸念はあるかもしれない。その意味で、今後更に測定系の精度を向上させ、一方、常時の監視体制を確立する予定である。

詳細なデータ及び失敗談は、KEK-internal レポート SR504,508,513,533 に記述されています。参考にして下さい。