ビーム位置測定に於ける三次モーメントの影響

THIRD-ORDER MOMENT EFFECT OF BEAM POSITION MEASUREMENTS

柳田謙一*、鈴木伸介、出羽英紀、花木博文
Kenichi Yanagida*, Shinsuke Suzuki, Hideki Dewa, Hirofumi Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

Third-order moments of beam charge distribution cause unwanted errors in beam positions measured by a beam position monitor with two or four electrodes. These errors can be reduced or corrected by adding or subtracting third-order moment terms in difference equations of signal voltages output from electrodes. In the case of a six-electrode beam position monitor with circular cross-section which is used in SPring-8 linear accelerator errors calculated with and without correction are 24 μm and 360 μm at a simulated beam position of $x = 3$ mm, $y = 3$ mm apart form a duct center.

1. はじめに

SPring-8 線型加速器ではビームの横方向二次モーメントを測定するための六電極ビーム位置モニタ（BPM）を整備している。現在、Fig. 1 に見られるような非分散部用円形断面及び分散部用準楕円形断面の二種類の BPM が使用されている [1]。

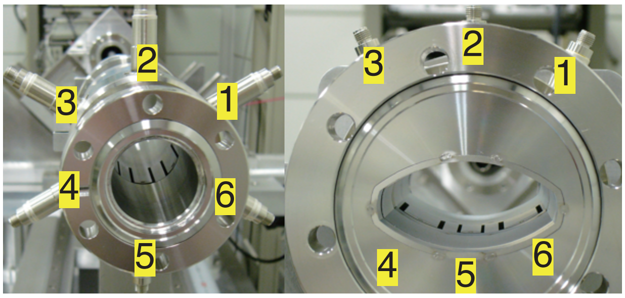

Figure 1: Six-electrode BPMs with circular and quasi-elliptical cross-sections for SPring-8 linear accelerator. Numbers represent electrode number d.

二次相対モーメントはビームの拡がり（サイズ）に関係する物理量であり、四極電磁石が交互に置かれたマッチングセクション等で六点以上の二次相対モーメントを測定することにより、Twiss パラメーター等を演繹することが可能である [2]。

正確な二次相対モーメントを測定するには，正確な各電極間の相対減衰率（バランス係数）を知る必要がある。バランス係数を正確に取得するする手段の一つとして、ビームに基づく実験的演繹的手法である『全体較正』を昨年の年会（PASJ9）等で発表した [3][4]。

昨年の時点ではバランス係数を決定するプログラムが何らかの要因で動作（収束）しないと報告したが、その原因はビーム位置を決定する計算式に三次の補正項を含めていなかったためと判明した。

全体較正はダクト中心から ±3 mm 程度の範囲内に於いて、ステアリング電磁石を使用して上下左右にビーム位置を変化させ、ビーム形状が変化しないとの仮定の下に相対モーメントが一定となるようなバランス係数を決定する。

* ken@spring8.or.jp

全体較正に於いて相対モーメント P_{g2} 等は原理的に、絶対モーメント P_2 等から重心モーメント p_{G2} 等を差し引くことで得られるのであるが、

$$P_{g2} = P_2 - p_{G2}, \tag{1}$$

ビーム位置がダクト中心から大きく外れた場合、例えば $|x| = 3$ mm, $|y| = 3$ mm のような場合、絶対モーメントの絶対値と重心モーメントの絶対値がほぼ等しくなり、それらは相対モーメントの絶対値よりもはるかに大きくなる。

$$|P_2| \sim |p_{G2}| \gg |P_{g2}|. \tag{2}$$

そのため重心モーメント、すなわち重心位置（ビーム位置）を決定する際のエラー（測定位置ずれ）が全体較正に大きな影響を与えることが判明したのである。

一方、全体較正の性質として、ダクト中心付近よりもダクト中心から大きく外れた位置での相対モーメントが正確に算出される事が一番重要で、そのため結果的にはビーム位置が正確に算出される必要があったのである。

ビーム位置は各電極からの出力信号電圧の差分を取ることで得られる。点電荷（相対モーメント=0）でシミュレーションした場合、ダクト中心（絶対モーメントの原点）から離れるほど、計算された測定位置がずれていく。バランス係数を決定するプログラムが誤動作を起こしたのはこの測定位置ずれが原因であると考え、測定位置ずれを解消（緩和）するための解析を行った。

2. 円形断面 BPM による解析的解法

SPring-8 線型加速器では円形断面及び準楕円形断面六電極 BPM が使用されている。電極に誘起される電圧は円形断面の場合は解析的に求まるが、準楕円形断面の場合は数値計算により求められる。高次モーメントによる影響を知るには、解析解を用いるのが理解しやすい。そのため、ここでは SPring-8 線型加速器円形断面六電極 BPM をモデルとして議論を進める。

2.1 六電極 BPM の断面形状

Figure 2 は SPring-8 線型加速器円形断面六電極 BPM の断面寸法図である。内径は ϕ32 mm で、ダクト中心から見た電極の占有角は $\pi/6$ である。電極と外導体の間のギャップは 2 mm 程度で、ダクト中心付近のビーム

電流が作る磁場はこのギャプから入り込みにくく、実質的に静電結合であると考える。

さらに、相対論的電子が発生する電場であるため、電極出力を計算する問題は二次元静電場を扱う問題に帰着する。本稿では電子ビームは長手方向に無限に長く、横方向には点電荷の集合体であると仮定する。

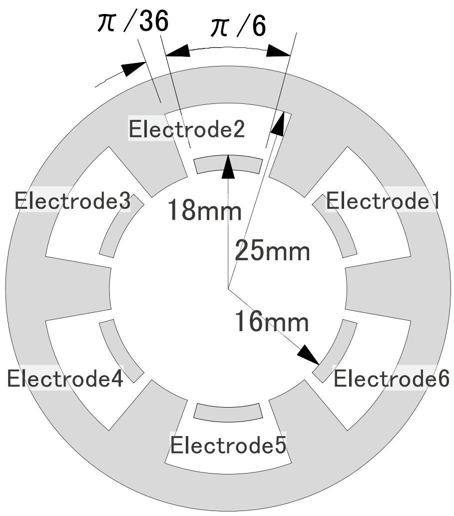

Figure 2: Dimension of BPM with circular cross-section.

2.2　電極内側表面に発生する電場

一個の電子が円形ダクト内表面に発生させる電場は解析的に求まる。ダクト中心からのダクト内表面までの距離（ダクト半径）を R mm、仰角を θ rad とする。全電子数を M 個とし（M 粒子系）、各電子は N のサフィクスで区別されるものとする。N 番目電子のダクト中心からの位置を半径 b_N mm 及び仰角 β_N rad で表すものとする（Fig. 3 参照）。

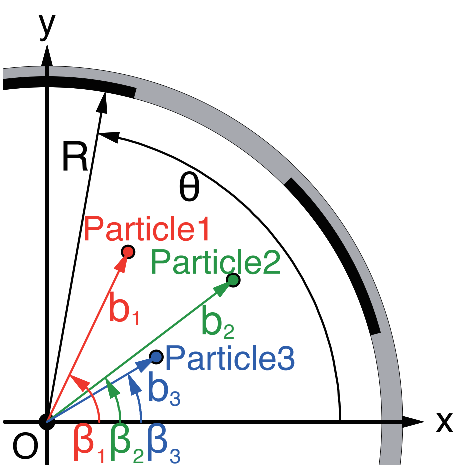

Figure 3: Typical three-particle system. Each position is represented as the radius b_N and argument β_N.

N 番目電子が円形ダクト内表面に発生させる電場 $E_N(\theta)$ は $b_N \ll R$ が成り立つ範囲では、

$$E_N(\theta) \propto 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_{Nn}\cos n\theta + q_{Nn}\sin n\theta}{R^n}, \quad p_{Nn} = b_N^n \cos n\beta_N,\ q_{Nn} = b_N^n \sin n\beta_N, \quad (\text{when } b_N \ll R), \tag{3}$$

と表される [5]。全電子による電場 $E(\theta)$ は重ね合わせの原理から単純に各電子が作る電場 $E_N(\theta)$ の和を取れば良いことがわかる。

$$\begin{aligned} E(\theta) &= \sum_{N=1}^{M} E_N(\theta) \\ &\propto 1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} \frac{P_n\cos n\theta + Q_n \sin n\theta}{R^n}, \\ P_n &= \frac{1}{M}\sum_{N=1}^{M} p_{Nn},\ Q_n = \frac{1}{M}\sum_{N=1}^{M} q_{Nn}. \end{aligned} \tag{4}$$

ここで、P_n 及び Q_n は M 粒子系の n 次絶対モーメントとなる。さて d 番目電極 $(d = 1, 2, \cdots, 6)$ の出力信号電圧 V_d は $E(\theta)$ を角度方向で積分した値に比例すると考える。

$$\begin{aligned} V_d &\propto R\int_{\{(4d-3)\pi\}/12}^{\{(4d-1)\pi\}/12} E(\theta)d\theta \\ &\propto \frac{\pi}{12} + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{c_{dn}P_n + s_{dn}Q_n}{R^n}, \\ c_{dn} &= \int_{\{(4d-3)\pi\}/12}^{\{(4d-1)\pi\}/12} \cos n\theta d\theta, \\ s_{dn} &= \int_{\{(4d-3)\pi\}/12}^{\{(4d-1)\pi\}/12} \sin n\theta d\theta. \end{aligned} \tag{5}$$

Equations (5) 中、V_d は $n = 1$ から無限大までの和を取るが、実際の計算に於いては有限な値で打ち切らざるを得ない。次節で述べる一次絶対モーメント（ビーム位置）を算出するための出力信号電圧差分には奇数次項のみが現れる。そのため計算は三次、五次、七次、$\cdots$ のどこかの次数で打ち切ることとなる。全体較正に於いて、実際に測定されるビーム位置は ±3 mm 以内であり、その範囲内でエラーが小さく収まるような次数を考えた場合、三次までで十分であると判断する。

三次までの c_{dn} 及び s_{dn} を計算した結果、これらは以下の 6 つのパラメータ f_1、h_1、f_2、h_2、f_3 及び h_3 を

用いて表されることがわかった。

$$
\begin{aligned}
f_1 &= c_{11} = -c_{31} = -c_{41} = c_{61},\\
0 &= c_{21} = c_{51},\\
h_1 &= s_{11} = s_{31} = -s_{41} = -s_{61},\\
2h_1 &= s_{21} = -s_{51},\\
f_2 &= c_{12} = c_{32} = c_{42} = c_{62},\\
2f_2 &= -c_{22} = -c_{52},\\
h_2 &= s_{12} = -s_{32} = s_{42} = -s_{62},\\
0 &= s_{22} = s_{52},\\
f_3 &= 0 = c_{13} = -c_{23} = c_{33} = -c_{43} = c_{53} = -c_{63},\\
h_3 &= s_{13} = -s_{23} = s_{33} = -s_{43} = s_{53} = -s_{63}.
\end{aligned} \tag{6}
$$

2.3 出力信号電圧差分

各電極からの出力信号電圧の差分を取ることによって各次絶対モーメントが得られる。一般的に出力信号電圧差分の取り方は自由度が少なく、以下の六つ程度が考えられる。

$$
\begin{aligned}
C_1 &= \frac{V_1 - V_3 - V_4 + V_6}{V_1 + V_3 + V_4 + V_6},\\
S_{1A} &= \frac{V_2 - V_5}{V_2 + V_5},\\
S_{1B} &= \frac{V_1 + V_3 - V_4 - V_6}{V_1 + V_3 + V_4 + V_6},\\
C_2 &= \frac{V_1 + V_3 + V_4 + V_6 - 2(V_2 + V_5)}{V_1 + V_3 + V_4 + V_6 + 2(V_2 + V_5)},\\
S_2 &= \frac{V_1 - V_3 + V_4 - V_6}{V_1 + V_3 + V_4 + V_6},\\
S_3 &= \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4 + V_5 - V_6}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6}.
\end{aligned} \tag{7}
$$

Equations (6) 及び (7) から以下の三次項までの関係式が得られる。

$$
\begin{aligned}
C_1 &= \frac{12R^2 f_1 P_1 + 12 f_3 P_3}{\pi R^3 + 12 R f_2 P_2}\\
&= \frac{12 f_1}{\pi R} P_1 \left(1 - \frac{12 f_2}{\pi R^2} P_2\right) + \frac{12 f_3}{\pi R^3} P_3,\\
S_{1A} &= \frac{24 R^2 h_1 Q_1 - 12 h_3 Q_3}{\pi R^3 - 24 R f_2 P_2}\\
&= \frac{24 h_1}{\pi R} Q_1 \left(1 + \frac{24 f_2}{\pi R^2} P_2\right) - \frac{12 h_3}{\pi R^3} Q_3,\\
S_{1B} &= \frac{12 R^2 h_1 Q_1 + 12 h_3 Q_3}{\pi R^3 + 12 R f_2 P_2}\\
&= \frac{12 h_1}{\pi R} Q_1 \left(1 - \frac{12 f_2}{\pi R^2} P_2\right) + \frac{12 h_3}{\pi R^3} Q_3,\\
C_2 &= \frac{18 f_2 P_2}{\pi R^2 - 6 f_2 P_2} = \frac{18 f_2}{\pi R^2} P_2,\\
S_2 &= \frac{12 h_2 Q_2}{\pi R^2 + 12 f_2 P_2} = \frac{12 h_2}{\pi R^2} Q_2,\\
S_3 &= \frac{12 h_3}{\pi R^3} Q_3.
\end{aligned} \tag{8}
$$

ここで、実効開口半径 $R_{*n*n'}$ を以下のように定義する。

$$
\begin{aligned}
&R_{C1P1} = \frac{\pi}{6f_1} R,\ R_{C1P2} = \sqrt{\frac{\pi}{6f_2}} R,\\
&R_{C1P3} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6f_3}} R,\ R_{S1AQ1} = \frac{\pi}{12h_1} R,\\
&R_{S1AP2} = \sqrt{\frac{\pi}{12f_2}} R,\ R_{S1AQ3} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6h_3}} R,\\
&R_{S1BQ1} = \frac{\pi}{6h_1} R,\ R_{S1BP2} = \sqrt{\frac{\pi}{6f_2}} R,\\
&R_{S1BQ3} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6h_3}} R,\ R_{C2P2} = \sqrt{\frac{\pi}{9f_2}} R,\\
&R_{S2Q2} = \sqrt{\frac{\pi}{6h_2}} R,\ R_{S3Q3} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6h_3}} R.
\end{aligned} \tag{9}
$$

Equations (9) を Eqs. (8) へ代入すると、以下のようになる。

$$
\begin{aligned}
C_1 &= \frac{2}{R_{C1P1}} P_1 \left(1 - \frac{2}{R_{C1P2}^2} P_2\right) + \frac{2}{R_{C1P3}^3} P_3,\\
S_{1A} &= \frac{2}{R_{S1AQ1}} Q_1 \left(1 + \frac{2}{R_{S1AP2}^2} P_2\right) - \frac{2}{R_{S1AQ3}^3} Q_3,\\
S_{1B} &= \frac{2}{R_{S1BQ1}} Q_1 \left(1 - \frac{2}{R_{S1BP2}^2} P_2\right) + \frac{2}{R_{S1BQ3}^3} Q_3,\\
C_2 &= \frac{2}{R_{C2P2}^2} P_2,\ S_2 = \frac{2}{R_{S2Q2}^2} Q_2,\ S_3 = \frac{2}{R_{S3Q3}^2} Q_3.
\end{aligned} \tag{10}
$$

計算された実効開口半径は Table 1 の通りである。

Table 1: Effective Aperture Radii

R_{C1P1}	18.688 mm
R_{C1P2}	23.155 mm
R_{C1P3}	∞ mm
R_{S1AQ1}	16.184 mm
R_{S1AP2}	16.373 mm
R_{S1AQ3}	16.570 mm
R_{S1BQ1}	32.368 mm
R_{S1BP2}	23.155 mm
R_{S1BQ3}	16.570 mm
R_{C2P2}	18.906 mm
R_{S2Q2}	17.594 mm
R_{S3Q3}	16.570 mm

Equations (10) を見ればわかるが、C_1、S_{1A} 及び S_{1B} には一次及び三次（一次と二次の積も三次）モーメントの項が寄与している。一方、C_2 及び S_2 は二次のモーメントのみ、S_3 は三次のモーメントのみが寄与している。

円形断面の場合、各電極に現れる電場は解析的に得られるので、必要であれば高次項は簡単に計算出来る。Equations (5) に於いて、五次のモーメントまで考慮すると、C_1、S_{1A} 及び S_{1B} は一次、三次及び五次まで、C_2 及び S_2 は二次及び四次まで、S_3 は三次及び五次のモーメントを含む表式となる。

3. ビーム位置測定に於ける三次モーメントの影響

本章では、ビーム位置測定に於ける三次モーメントの影響をシミュレートする。

3.1 絶対・重心・相対モーメント

Equations (10) 中の P_n 及び Q_n は絶対モーメントと呼ばれるものである。絶対モーメントは重心モーメント p_{Gn}, q_{Gn}、相対モーメント P_{gn}, Q_{gn} 及び他の項との和で表される（Eqs. (11) 参照）。

$$
\begin{aligned}
P_1 &= p_{G1},\ P_{g1} \equiv 0,\ Q_1 = q_{G1},\ Q_{g1} \equiv 0,\\
P_2 &= p_{G2} + P_{g2},\ Q_2 = q_{G2} + Q_{g2},\\
P_3 &= p_{G3} + 3b_G a_{g2}^2 \cos(\beta_G + 2\alpha_{g2}) + P_{g3},\\
Q_3 &= q_{G3} + 3b_G a_{g2}^2 \sin(\beta_G + 2\alpha_{g2}) + Q_{g3},\\
p_{Gn} &= b_G^n \cos n\beta_G,\ q_{Gn} = b_G^n \sin n\beta_G,\\
P_{gn} &= a_{gn}^n \cos n\alpha_{gn},\ Q_{gn} = a_{gn}^n \sin n\alpha_{gn}.
\end{aligned}
\tag{11}
$$

本稿では議論の見通しを良くするため、一番簡単な相対モーメント P_{gn}, Q_{gn} がゼロである場合を扱う。相対モーメントがゼロであるとは、ビームの拡がりが無い点電荷の場合か、電荷分布が完全に円形の場合である。相対モーメントがゼロの場合、Eqs. (11) は以下のように簡単になる。

$$
\begin{aligned}
P_1 &= p_{G1},\ Q_1 = q_{G1},\ P_2 = p_{G2},\ Q_2 = q_{G2},\\
P_3 &= p_{G3},\ Q_3 = q_{G3},\\
p_{G2} &= P_1^2 - Q_1^2,\ q_{G2} = 2P_1Q_1,\\
p_{G3} &= P_1^3 - 3P_1Q_1^2,\ q_{G3} = 3P_1^2Q_1 - Q_1^3,\\
&\quad (\text{when } P_{gn} = 0,\ Q_{gn} = 0),
\end{aligned}
\tag{12}
$$

3.2 シミュレーション

Equations (12) の絶対モーメント P_n, Q_n を Eqs. (10) へ代入する。その結果、(C_1, S_{1A}) の組み合わせによる測定位置 (P_{1A}, Q_{1A}) または (C_1, S_{1B}) の組み合わせによる測定位置 (P_{1B}, Q_{1B}) は以下の連立三次方程式 Eqs. (13) または Eqs. (14) の解として得られることがわかる。

$$
\begin{aligned}
C_1 =& \frac{2}{R_{C1P1}} P_{1A} \left\{ 1 - \frac{2}{R_{C2P2}^2} \left(P_{1A}^2 - Q_{1A}^2 \right) \right\}\\
&+ \frac{2}{R_{C1P3}^3} \left(P_{1A}^3 - 3P_{1A}Q_{1A}^2 \right),\\
S_{1A} =& \frac{2}{R_{S1AQ1}} Q_{1A} \left\{ 1 + \frac{2}{R_{S1AP2}^2} \left(P_{1A}^2 - Q_{1A}^2 \right) \right\}\\
&- \frac{2}{R_{S1AQ3}^3} \left(3P_{1A}^2Q_{1A} - Q_{1A}^3 \right),
\end{aligned}
\tag{13}
$$

$$
\begin{aligned}
C_1 =& \frac{2}{R_{C1P1}} P_{1B} \left\{ 1 - \frac{2}{R_{C2P2}^2} \left(P_{1B}^2 - Q_{1B}^2 \right) \right\}\\
&+ \frac{2}{R_{C1P3}^3} \left(P_{1B}^3 - 3P_{1B}Q_{1B}^2 \right),\\
S_{1B} =& \frac{2}{R_{S1BQ1}} Q_{1B} \left\{ 1 - \frac{2}{R_{S1BP2}^2} \left(P_{1B}^2 - Q_{1B}^2 \right) \right\}\\
&+ \frac{2}{R_{S1BQ3}^3} \left(3P_{1B}^2Q_{1B} - Q_{1B}^3 \right).
\end{aligned}
\tag{14}
$$

実際のシミュレーションでは、電極内側表面に発生する電場を積分して、その差分を取る作業が必要である。電極内側表面に発生する電場はコンピュータによる数値計算が望ましいが、今回は計算する時間が無かったので Eqs. (5)V_d の十次項までを使用した。測定位置 (P_{1A}, Q_{1A}) 及び (P_{1B}, Q_{1B}) を計算した結果を Fig. 4 に示す。

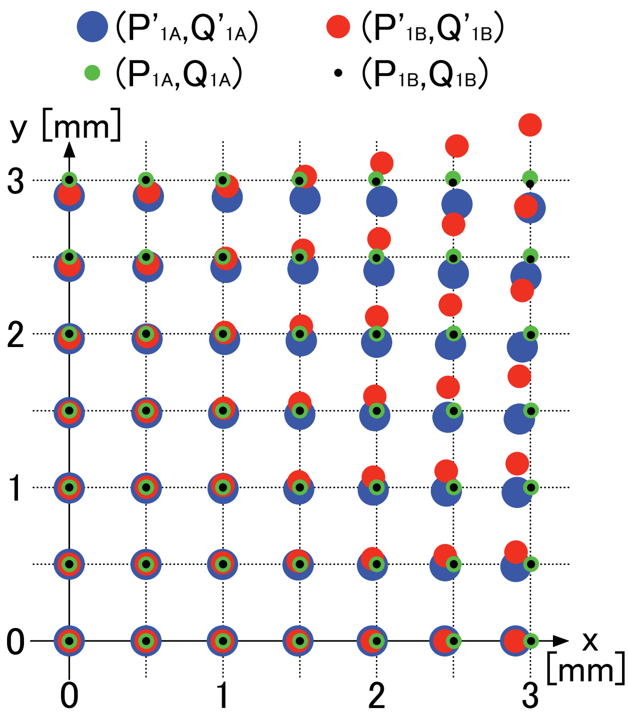

Figure 4: Calculated measured beam position.

Figure 4 中、点電荷を実線または破線の交点（格子点）に置いた。計算された測定位置 (P_{1A}, Q_{1A}) を緑丸で、測定位置 (P_{1B}, Q_{1B}) を黒丸で示している。この図は第一象限だけを示しているが、他の象限の分布はこの分布を折り返すことで得られる。

図からわかるように、中心（原点）から離れるほど位置のずれが大きくなっている。Table 2 は点電荷を $x = 3$ mm, $y = 3$ mm に置いたときの計算値である。ずれは

Table 2: Calculated Position Set at $x = 3, y = 3$ [mm]

(P_{1A}, Q_{1A})	$(2.998, 3.013)$
(P_{1B}, Q_{1B})	$(2.998, 2.976)$
(P'_{1A}, Q'_{1A})	$(2.999, 2.820)$
(P'_{1B}, Q'_{1B})	$(2.999, 3.360)$

最大で Q_{1B} の 24 μm である。

3.3 一次モーメントのみの測定位置計算

比較対象のため、一次モーメントのみが寄与する測定位置の計算を行った。計算された (C_1, S_{1A}) の組み合わせによる測定位置 (P'_{1A}, Q'_{1A}) または (C_1, S_{1B}) の組み合わせによる測定位置 (P'_{1B}, Q'_{1B}) は以下の方程式 Eqs. (15) または Eqs. (16) の解である。

$$C_1 = \frac{2}{R_{C1P1}} P'_{1A},\ S_{1A} = \frac{2}{R_{S1AQ1}} Q'_{1A}, \tag{15}$$

$$C_1 = \frac{2}{R_{C1P1}} P'_{1B},\ S_{1B} = \frac{2}{R_{S1BQ1}} Q'_{1B}. \tag{16}$$

これらの計算結果も Fig. 4 及び Table 2 に示す。計算された測定位置 (P'_{1A}, Q'_{1A}) を青丸で、測定位置 (P'_{1B}, Q'_{1B}) を赤丸で示している。ずれは最大で Q'_{1B} の 360 μm である。

Figure 4 を見ると、測定位置 (P'_{1A}, Q'_{1A}) 分布は x 方向糸巻き型 y 方向樽型の歪みを、測定位置 (P'_{1B}, Q'_{1B}) 分布は x 方向糸巻き型 y 方向糸巻き型の歪みを有している。これらは三次モーメントの寄与により形成されるものであり、歪みは出力信号電圧差分の方程式に三次補正項を付加することで緩和される。

実際に三次補正項を付加する場合は二次絶対モーメントや三次絶対モーメントの値を知らなければならないが、二電極若しくは四電極 BPM では高次絶対モーメントは測定できない。であるならば次善の策として、重心モーメントを絶対モーメントの代用として用いることになる。Eqs. (13) 及び Eqs. (14) は正に重心モーメントを使用した方程式なのである。

4． まとめと今後の課題

今回は解析的手法により、位置測定に於ける樽型歪み及び糸巻き型歪みが三次モーメントによる寄与で形成されるものであり、歪みは出力信号電圧差分の方程式に三次補正項を付加することで緩和されることがわかった。これにより全体較正に於いて ±3 mm 程度ビームを振った時でも、ビーム位置が比較的正確に得られ、プログラムによるバランス係数の算出が可能（誤動作が起きない）となった。

各電極の出力信号電圧計算には $b_N \ll R$ の範囲内で成り立つ近似式 Eqs. (5) を使用した。本来なら、コンピュータによる数値計算を行って確認すべきであり、今後行う予定である。

准楕円型断面六電極 BPM の場合、Table 1 で示されるような実効開口半径をコンピュータによる数値計算で求めることとなる。これも今後行う予定である。

参考文献

[1] K. Yanagida, et al., “Design of The Six-Electrode Circular Cross-Sectional BPM for Second-Order Moment Measurement”, Proc. of the 8th Particle Accel. Soc. of Japan, Tsukuba, August 2011, pp. 446-450, http://www.pasj.jp/web_publish/pasj8/proceedings/poster/MOPS063.pdf.

[2] R. H. Miller,et al., “Nonintercepting Emittance Monitor”, Proc. 12th Int. Conf. High-Energy Accel. (HEAC’83), Fermilab USA, 1983, pp. 603-605.

[3] K. Yanagida, et al., “Development of Six-Electrode BPM System in SPring-8 Linac”, Proc. of the 9th Particle Accel. Soc. of Japan, Osaka, August 2012, pp. 304-308, http://www.pasj.jp/web_publish/pasj9/proceedings/PDF/FRLR/FRLR10.pdf.

[4] K. Yanagida, et al., “Design and Beam Test of Six-electrode BPMs for Second-order Moment Measurement”, Proc. of the 26th Int. Linac Conf., Tel-Aviv Israel, Sept. 2012, pp. 464-466, http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/LINAC2012/papers/tuplb09.pdf.

[5] K. Yanagida, et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams **15**, 012801 (2012), http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTAB.15.012801.