

定例報告@1/23 ビーム像シミュレータ “Backhands*” 開発報告

中村研究室 河田鷹介

平成 21 年 1 月 23 日

概要

デバッグと改善の記録。

1. ビームラインを1つの要素として扱った状態(細分前)でプログラムの正当性をチェック
2. ビームラインをいくつかの要素に分割した状態(細分後)でプログラムの正当性をチェック
3. δ_p を実際の運動量中心ではなくビームラインの要求 $B\rho$ を元にして算出する
4. ビームライン細分前と細分後の整合性チェック

計算の検証(ビームライン細分前)

条件

前回と同じ(再掲)。

粒子数	1次ビーム	2次ビーム	入力	フィルタリング
40000	^{48}Ca 345MeV/u	^{22}C	C-Narrow(六極入り) 3次まで	PT直後で $ \delta < 0.03$

前回からの修正点

1. 1次ビーム分布を $\sigma_x = \sigma_y = 0.001[\text{m}]$ の Gaussian とした。
2. 生成標的において、同じ「標的厚さ」の数値を、反応位置や位置変位の計算時には m 単位で、エネルギーロス計算時には cm 単位で見ていたというバグを修正。この数値は cm 単位で与えていたので、結果的に標的内における X,Y の変位を 100 倍過大に見積もっていたことになる。

XY 像

トランスフォーマトリクス適用の際に考慮する次数を変えて、系終端での XY のプロットの形状を見た(図1)。

1次

入力の RMS は XY とともに約 0.001m である。

1次のマトリクスを参照すると、

(i=x	a	y	b	t	j=xaybtd)
-2.665108	-0.3299720	0.000000	0.000000	-0.3033274E-02	100000
-0.2122863E-01	-0.3778477	0.000000	0.000000	-0.4294640E-02	010000
0.000000	0.000000	-2.371622	-0.3714310	0.000000	001000
0.000000	0.000000	0.3051384E-02	-0.4211745	0.000000	000100
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	000010
0.1138129E-01	0.2709954E-03	0.000000	0.000000	32.68437	000001

$i = x, y$ のカラムを見ると、それぞれ $(x|x), (y|y)$ だけが主要な寄与をもたらすことがわかる。従って、1次の X,Y それぞれの RMS は 0.001 の $(x|x), (y|y)$ 倍になっている筈であり、実際の値を見ると確かにそれぞれ 0.0029, 0.0024[m] となっている。

*乱射ボーイの世を忍ぶ仮の名前

2次

前回は X の正方向に偏っていたが、今回は負の方向に偏っている。
 しかしこうなる理由は前回と同じである。

```

20.19693      -8.442467      0.5277695E-13-0.2441607E-12  5.059122      200000
-10.02093     -2.237687      0.1548746E-13-0.1007580E-12-0.1991476      020000
 6.396257      125.0919      0.1911432E-12  0.2669628E-11 -204.5202      002000
 2.862373      0.6755403      0.9294292E-14-0.2253158E-14 -4.061982      000200
 0.1631225     0.2391324E-01  0.4006569E-14-0.3641825E-13 -26.15315      000002
    
```

2 次のマトリクスのうち $j = k$ となる成分は上の通りである。
 修正点 2 により、前回に比べて X,Y は 1/100 の大きさになった。従って X に対する $(x|xx)$, $(x|yy)$ の寄与も 1/100 と
 なる。また、 a, b は同程度の大きさとなるので、成分の大きさから最も主要な項は $(x|aa)$ であり、これは負の方向への
 偏りを与える。

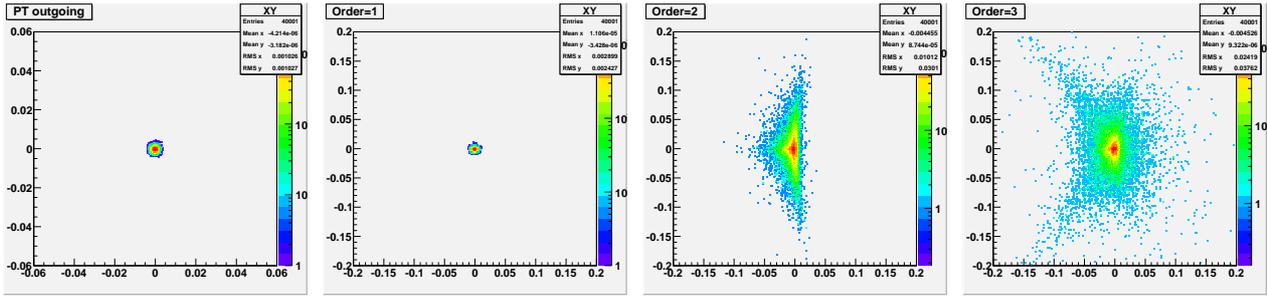


図 1: 左から:入力、マトリクスを 1 次のみ、2 次まで、3 次まで考慮した結果

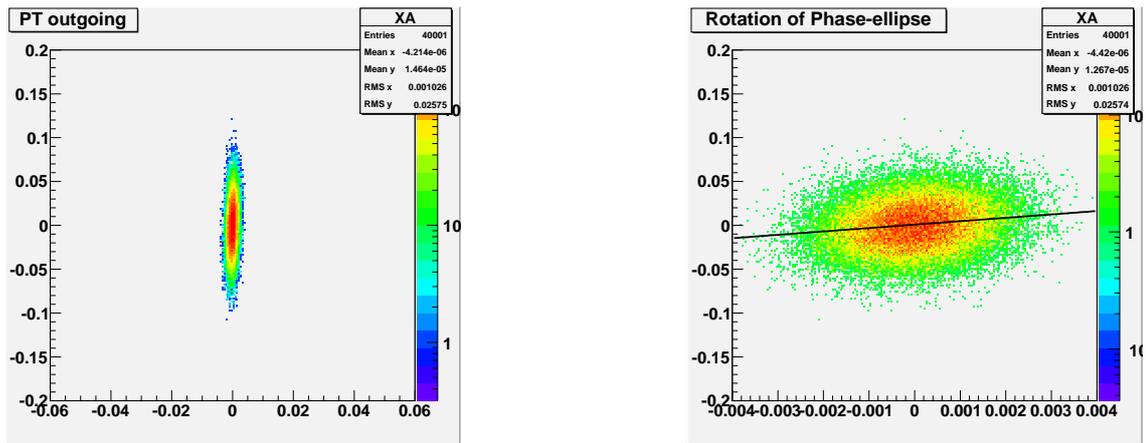


図 2: 入力の X-A 相関。右はその拡大図。線形フィットすると、位相楕円の回転の度合がわかる。

付記

図 2 の右の図は、左の図を拡大して 1 次関数でフィットしたものである。その傾きは約 3.88 であった。
 以下に ROOT の出力をそのまま記載する。

```

Minimizer is Linear
Chi2          = 1.60246e+06
Ndf          = 7301
Par_0        = 0.000881385 +/- 3.47833e-05
Par_1        = 3.88006 +/- 0.019805
    
```

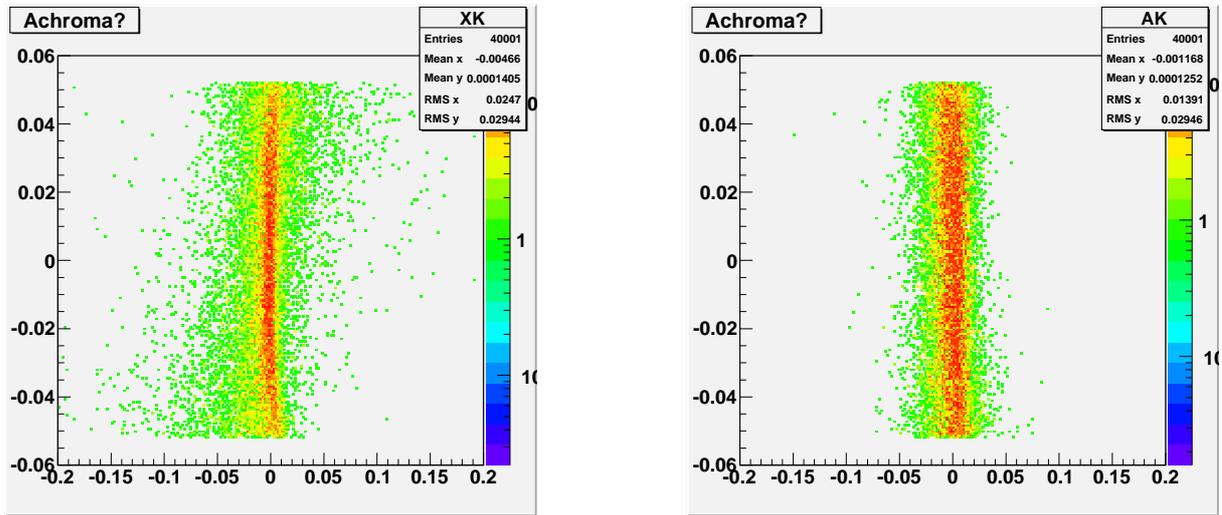


図 3: X-P,A-P 相関

Achromaticity

続いて、系終端での X-P,A-P 相関を見る (図 3)。

この図によれば、 δ の変動 ± 0.03 に対し、X,A の主要な領域はそれぞれ $\pm 0.1[\text{m}], \pm 0.04[\text{rad}]$ 程度の幅で変動する。

なお、Backhands はビームベクトルには運動エネルギーを使用し、必要に応じて運動量に変換して扱う。

計算の検証 (細分後)

以前までは、ビームラインを 3 つの要素、すなわち生成標的、運動量フィルタ、そしてビームライン (F0-F7) そのものから構成されるとしてきた。

しかしこの扱いは、例えば F3 や F5 での像を見たいときや、途中でディグレーダを入れたりするときに不都合である。そこで、ビームラインを構成する個々の STQ やダイポールを並べたものとしてビームラインを細分化する。

1/N! 問題

この検証では 1/N! を導入している。

DL(DriftLength:自由空間) の取り扱い

DL のマトリクスは簡単な構造を持つ。長さが 1, L の 2 つの DL がある時、後者のマトリクスの成分は、前者のそれに対して

- 1 次対角成分:1
- 1 次非対角成分と高次成分:L 倍

となる。従って、基準として長さ 1 メートルの DL のマトリクスを使い、長さが異なる DL のマトリクスは基準から計算で求める。

フォーカルプレーンでの検証 (1 次)

F1,F2,F3,F5,F7 での XY 像を示す (図 4:F4,F6 は偽焦点なので省略)。

F1,F5 は Dispersive、F3,F7 は Achroma になっていることがわかる。

補足:F7Dispersive 問題

21 日に報告した「F7 が Dispersive になっている」問題は、D6 の位置に間違えて D5 を入れていたことが原因であった。

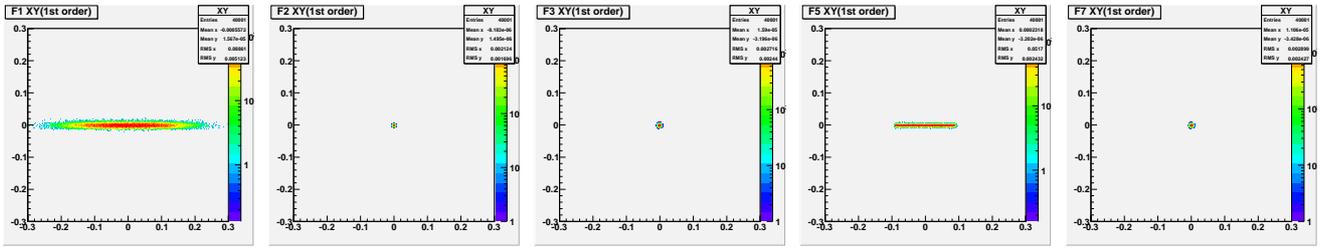


図 4: フォーカルプレーンにおける像 (1次)

フォーカルプレーンでの検証 (3次)

3次までの計算で、前節と同様の図を示す (図5)。

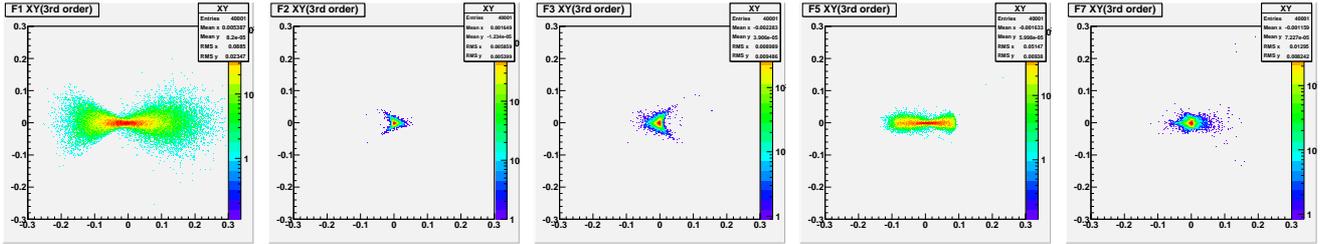


図 5: フォーカルプレーンにおける像 (3次)

Achromaticity Check

XYで見える限りでは、3次でも、Dispersive なところは Dispersive に、Achroma なところは Achroma に見える。そこで、本当に Dispersive あるいは Achroma なのかを、 δ_p (実際は δ_K) とのプロットで確認する。

まず Achroma な F3 と F7 で検証する (図6)。

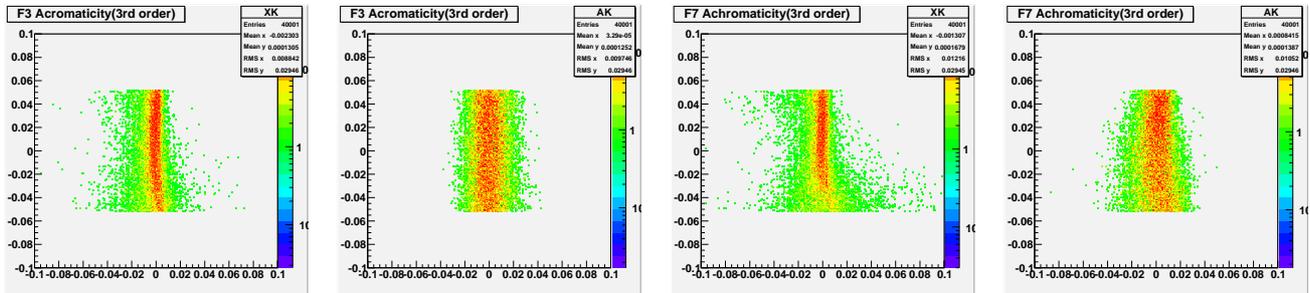


図 6: F3,F7 の X-K,A-K 相関

F1 の直後で $|\delta_p| < 0.03$ のフィルターをかけており、以後 δ_p は変化しない。よって、各画像の横軸の幅が δ_p に対する x, a の変動を表している。

これによると、 $\delta_p = \pm 0.03$ に対し $a \sim \pm 0.01[\text{rad}], x \sim \pm 1[\text{cm}]$ となっている。高次であることを考えれば、この結果は十分 Achroma であると言えるだろう。

Dispersion Check

続いて F1, F5 の Dispersive Focus をチェックする (図7)。

これを見ると、いずれも X と K が綺麗にほぼ1次で相関している様子がわかる。

F1 と F5 で傾きが逆なのは、両者の間に3つのフォーカルプレーンがあり、1つ通過する度に左右で運動量の高低が入れ替わるからである。

F1 に比べて F5 の縦軸範囲が狭いのは、前述の通り F1 直後で運動量によるカットオフを行っているからである。

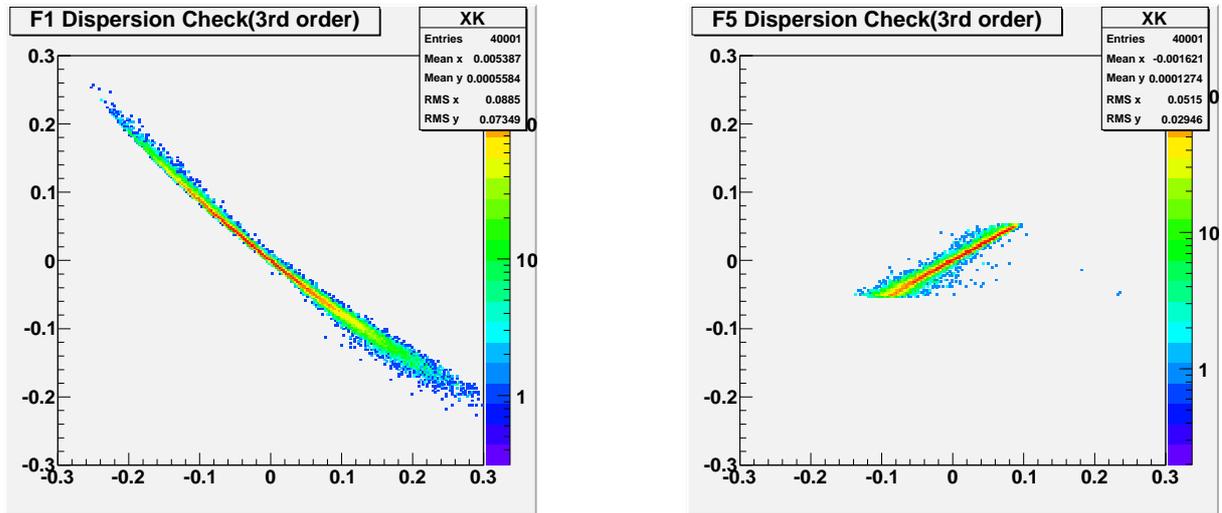


図 7: F1,F5 の XK 相関

δ_p 計算基準の変更

以前は、 $\delta_p(\delta_K)$ を計算するのに以下の方法を用いていた。

1. 100 個の粒子を生成標的に入射
2. 出射粒子の運動エネルギーの平均値を運動エネルギー中心 (K_0) とする
3. $\delta_K = \frac{K-K_0}{K_0}$ として計算

しかし実際の実験では、 K_0 を持つ粒子が中心軸上を通るとは限らない。実際、Backhands の現設定では $K_0 = 301\text{MeV/u}$ だが、下流側の要求 (^{22}C で 9.4Tm) から算出した運動エネルギーは $K_0 = 276\text{MeV/u}$ である。よって δ_K の計算に使う K_0 は実験系定義の時に与えるのが現実的である。

ビームライン細分前と細分後の整合性

現状では、細分前 (F0-F7 を 1つのマトリクスで表現) と細分後 (STQ,D,DL 単位のマトリクスで表現) の像は著しく異なる。これが単なる計算誤差の蓄積によるものなのかそうでないのかを調べるためのチェックを現在行っている。細分単位を大きくして、隣り合うフォーカルプレーン間を 1つのマトリクスで表現 (F0-F1,F1-F2 など) したものと細分後を比較すると、F2 で像の形がはっきり異なってくる。

計算誤差の累積がこれだけ大きな影響を及ぼすと、現在の細分化するという方針ではこれ以上進められない可能性が高くなる。

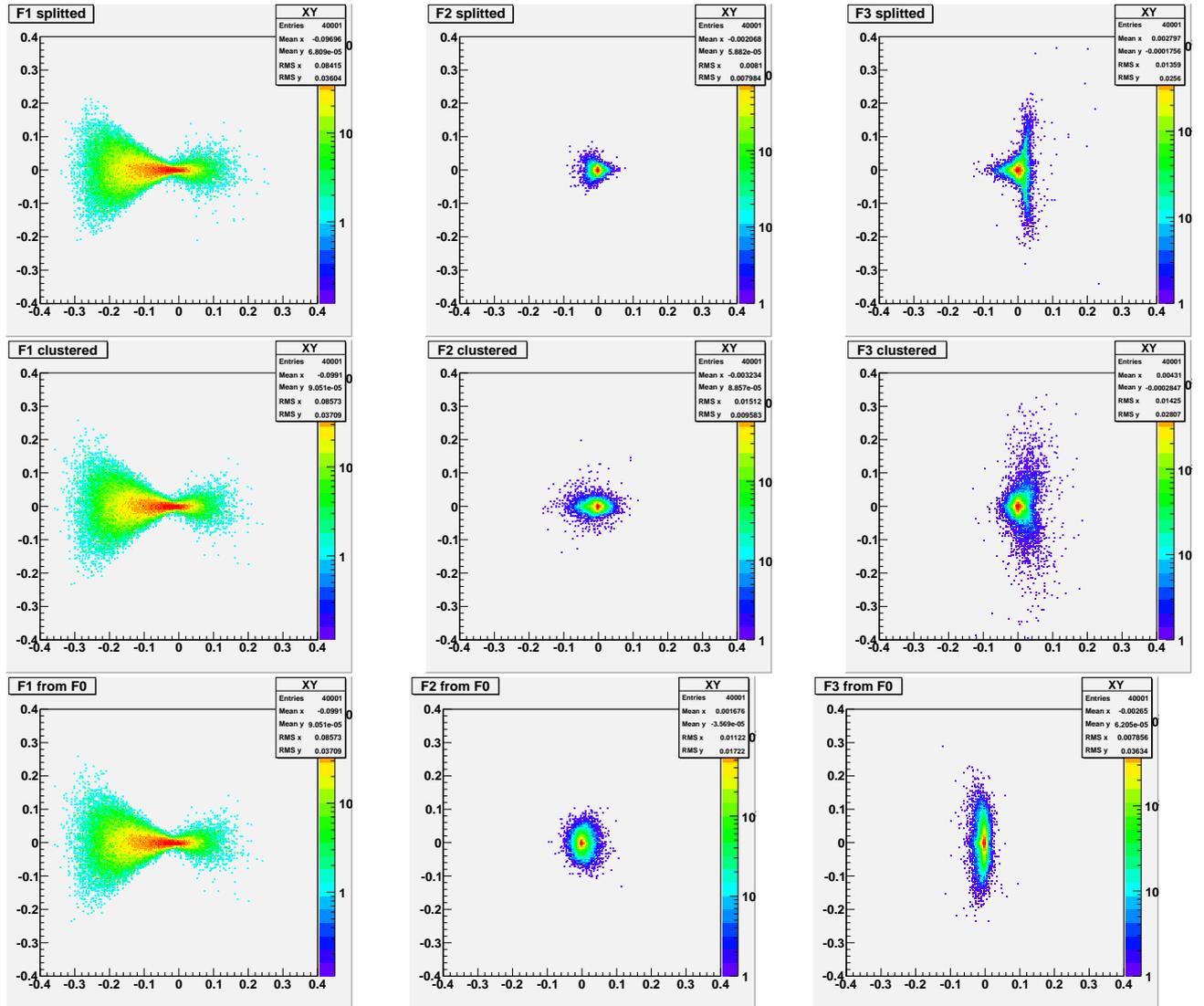


図 8: F1,F2,F3 におけるビームライン細分法の比較