

ILC 衝突点ビームモニターに関する シミュレーション評価

東北大学

伊藤 和俊

2008年9月22日

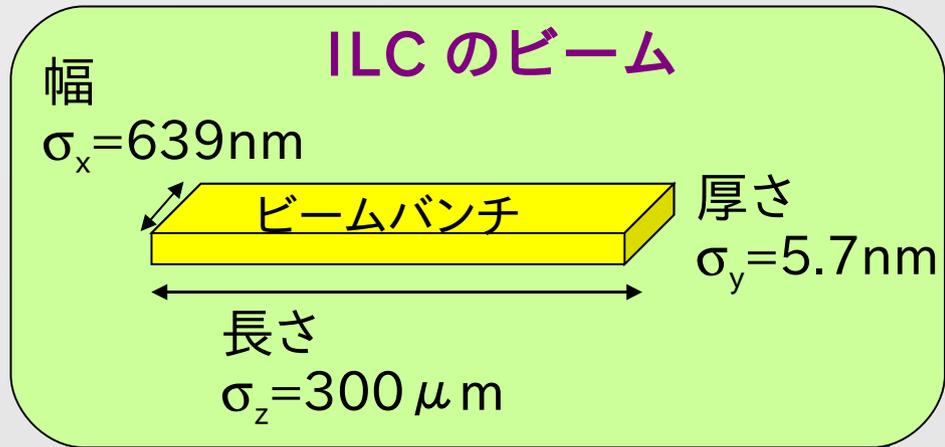
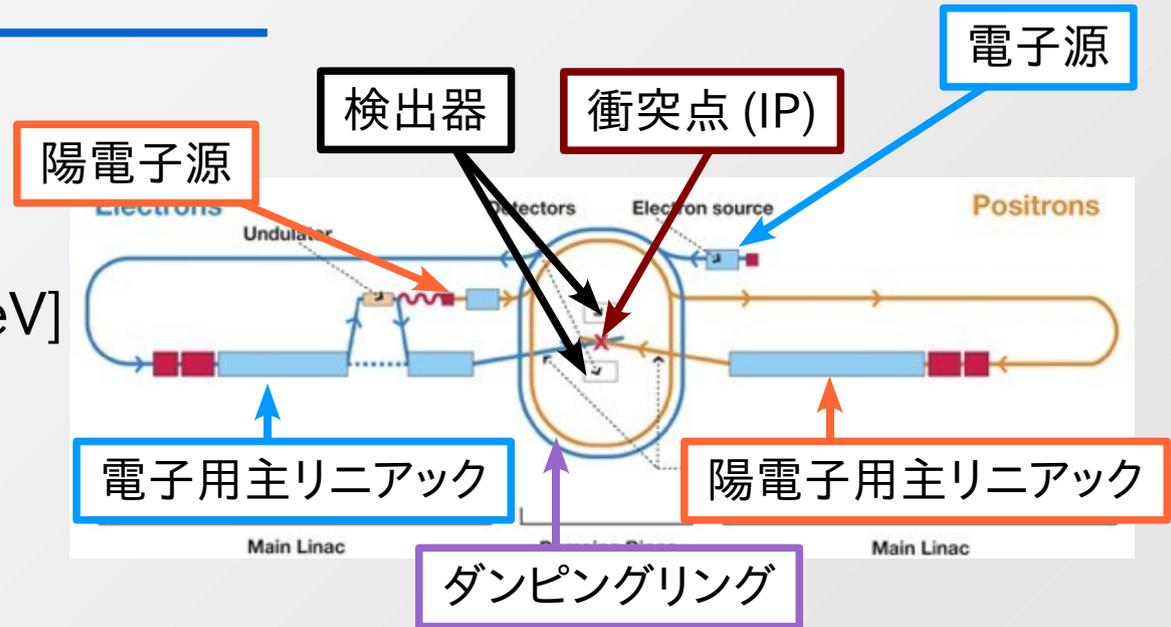
イントロダクション

ILC について

- 重心エネルギー : 500[GeV]
- 全長 : 約 30km
- 衝突角 : 14mrad

ビームプロファイルモニタ

- 1 回の衝突で高ルミノシティを得るためには、ビームサイズを非常に小さくする必要がある。
- 要求性能
 - ✓ ビームサイズを 10% 以下の精度で測定
 - ✓ 衝突点でのビーム形状情報を得ること
 - ✓ 他の粒子検出器の障害にならないこと

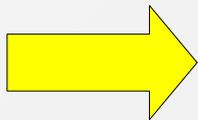
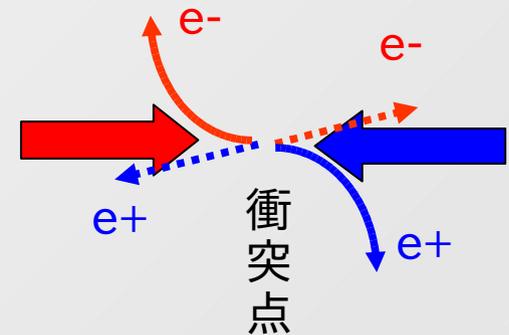


これらの要求を満たすのはペアモニタだけ

ペアモニタ

電子・陽電子ペア

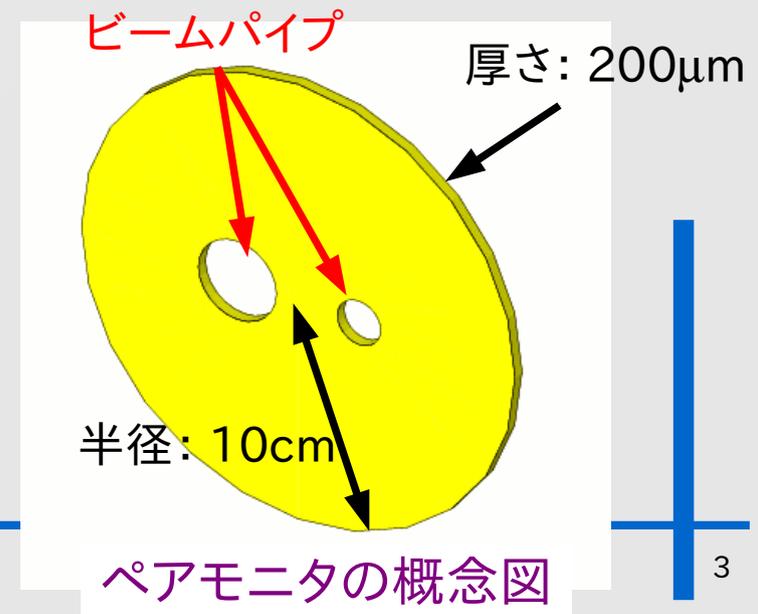
- 衝突点で光子が大量発生
- 光子とビームが反応し, 大量の電子・陽電子ペアが生成
 - ペア・バックグラウンド
- 対向するビームと同電荷の粒子は, ビームの電場により散乱



散乱された粒子は、ビーム形状の情報を持っている

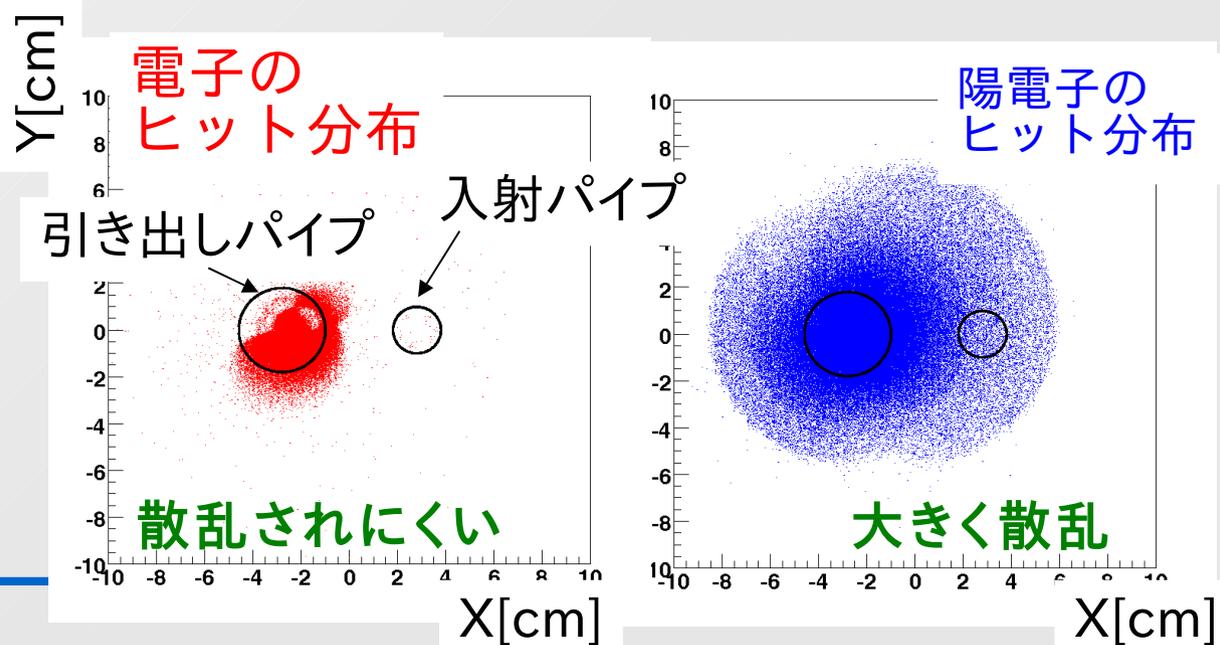
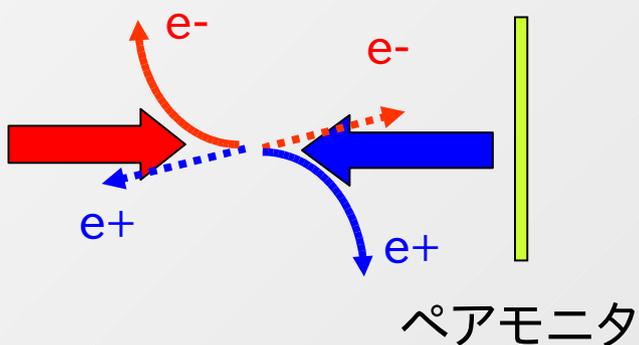
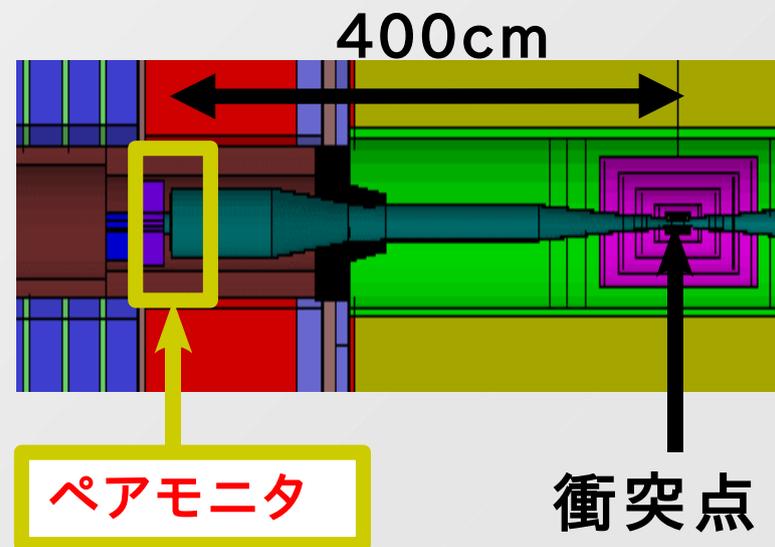
ペアモニタ

- 電子・陽電子ペアを用いてビーム形状を測定する
- シリコンピクセル検出器
- 前方検出器グループで開発が進んでいる
 - 11カ国, 14研究機関が参加



シミュレーションのセットアップ

- ビームエネルギー : 重心系 500GeV
- ペア・バックグラウンド生成ツール : CAIN
- トラッキングエミュレータ : Jupiter (Geant 4 ベース)
- ペアモニタ : 衝突点 (IP) から 400cm
- 衝突角 : 14mrad
- 磁場 : ソレノイド磁場 3T + anti-DID



行列計算

- テーラー展開を使ってビームサイズを測定する。

$$\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{pmatrix} = \underset{\substack{\text{1 次の項 (nx2 行列)}}}{A} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} + [\sigma_x, \sigma_y] \underset{\substack{\text{2 次の項 (行列)}}}{B} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} + \dots$$

測定値 (m) \uparrow

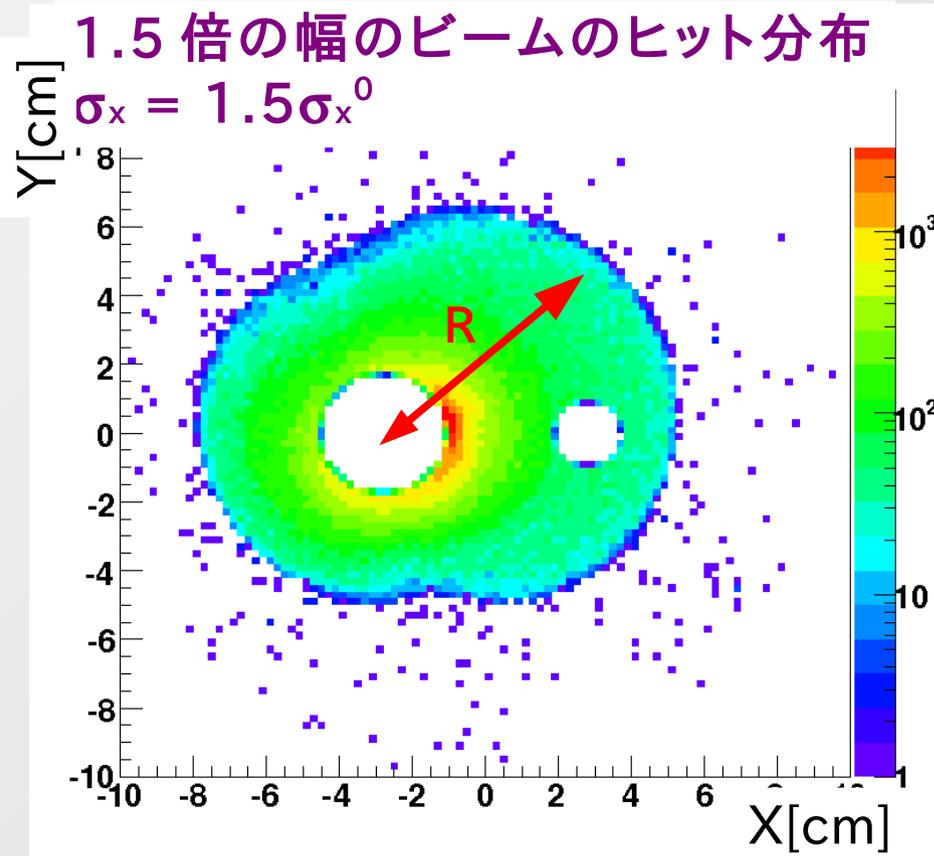
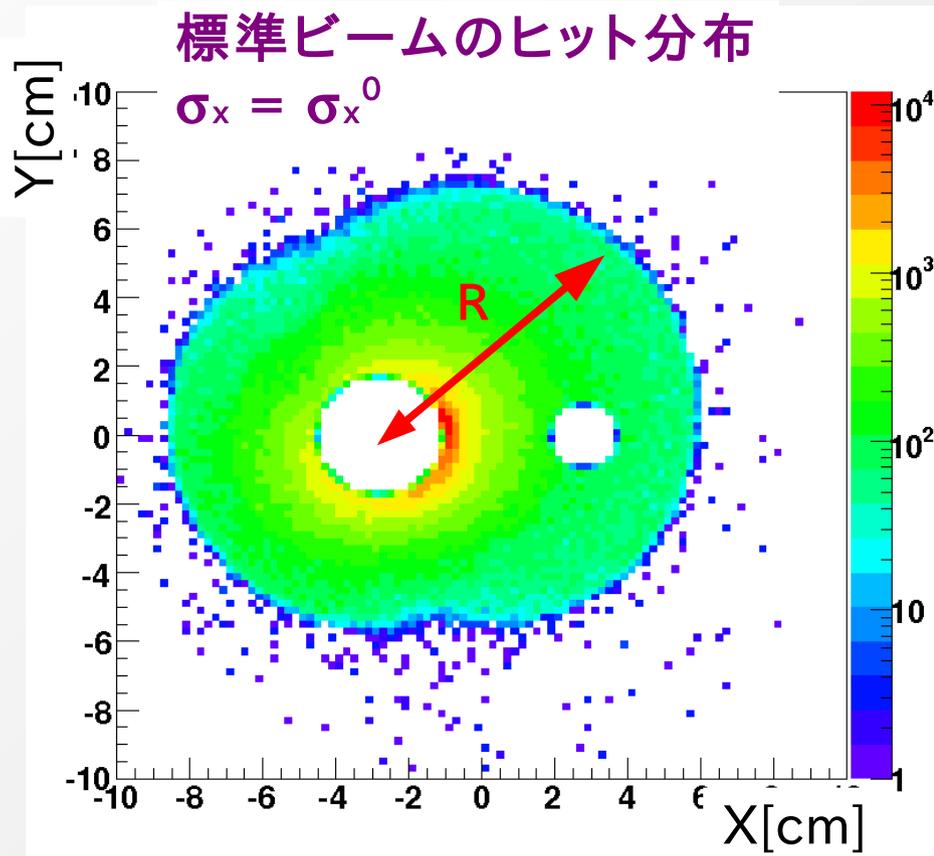
ビームサイズ (X) \leftarrow

逆行列を用いて
ビームパラメータを求める

$$x \equiv \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} = [A + x^T B + \dots]^{-1} m$$

行列計算のための測定値を探した。

測定値1 : 最大半径 (ビームの幅に依存)



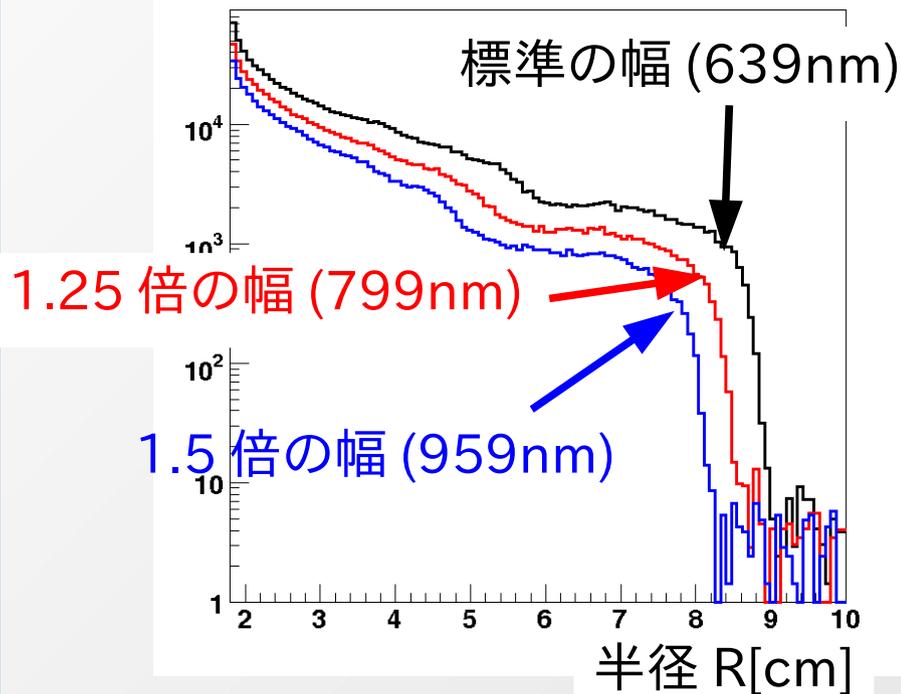
幅が大きくなると、ビーム表面の電磁場が弱くなり、散乱されにくくなる。

最大半径に注目する

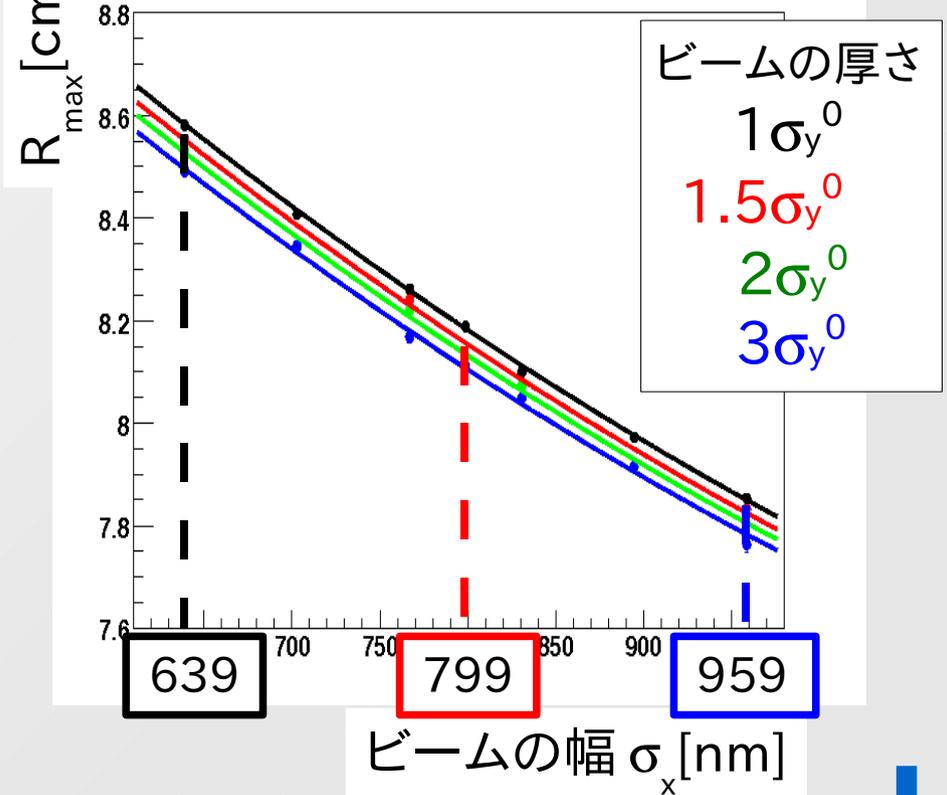
測定値1:最大半径

- 最大半径 (R_{max}): 99.8% のヒット数を含む領域

半径分布 ($\sigma_y = 1\sigma_y^0$)



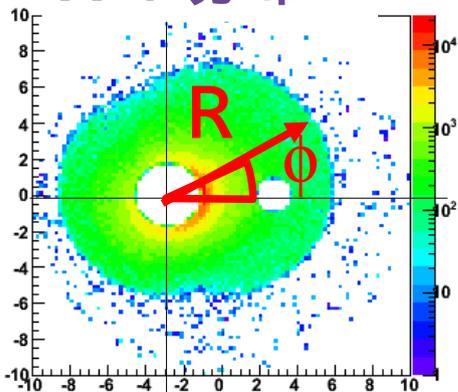
R_{max} VS σ_x



最大半径 (R_{max}) はビームの幅に依存している。

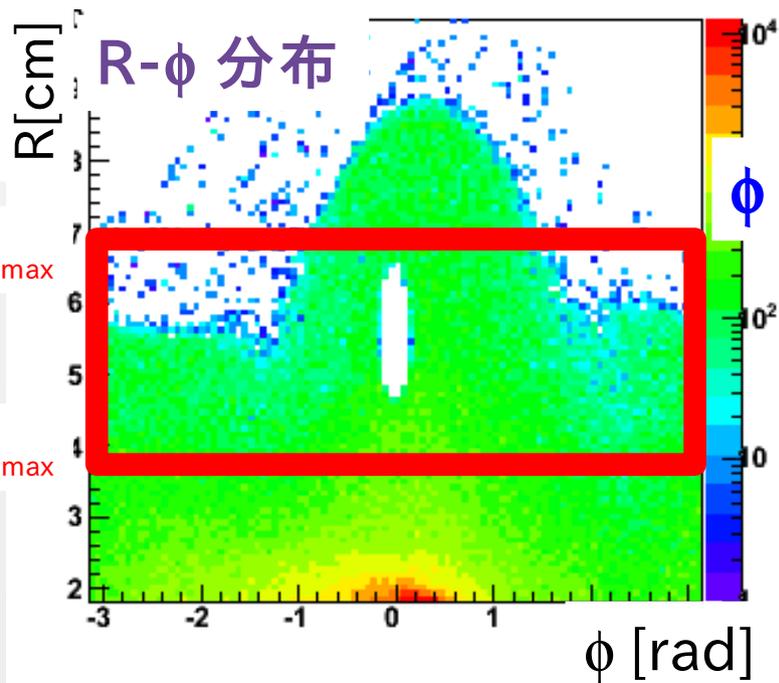
測定値2: Ratio (ビームの厚さ、幅に依存)

X-Y 分布

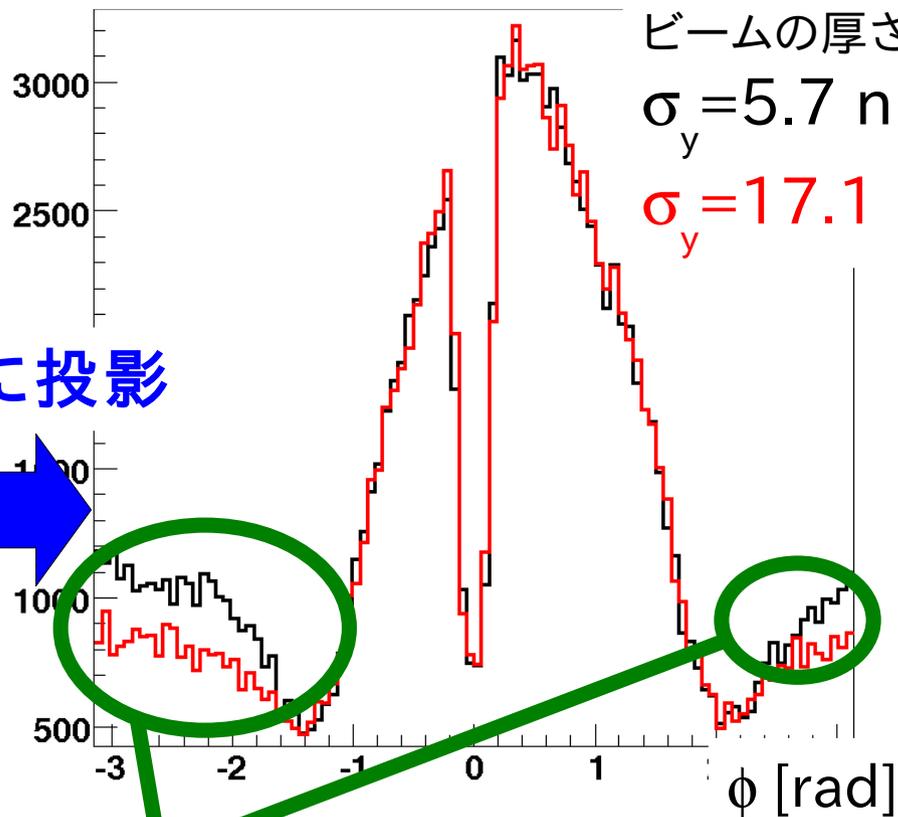


- ビーム情報を引き出すため、 ϕ 軸に投影する。

座標変換



ϕ 分布 ($0.5 \times R_{max} < R < 0.8 \times R_{max}$)



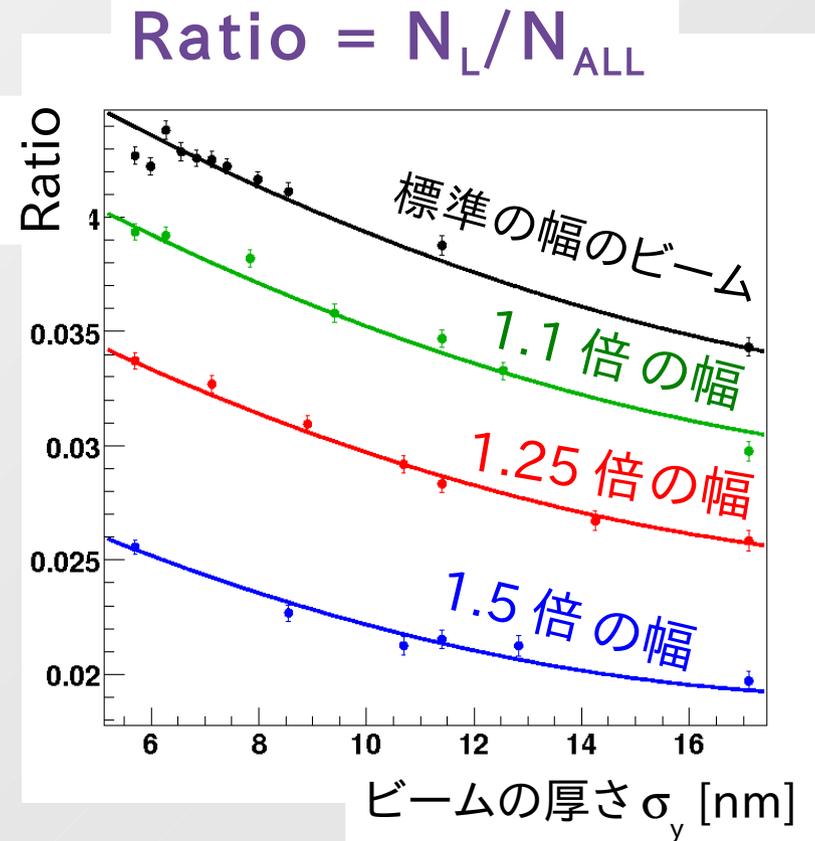
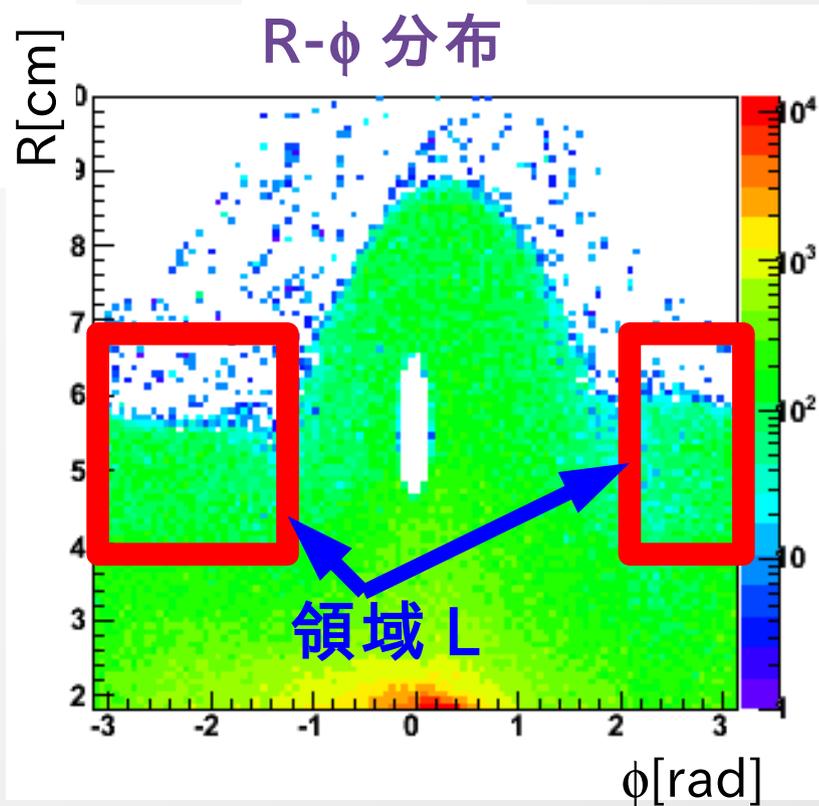
ビームの厚さ
 $\sigma_y = 5.7 \text{ nm}$

$\sigma_y = 17.1 \text{ nm}$

ビームの厚さの情報がある

測定値2: *Ratio*

- $R_0 = N_L / N_{ALL}$ の Ratio を定義する



Ratio はビームの厚さ、幅に依存している。

測定値3: ヒット数 (ビームの厚さ、幅に依存)

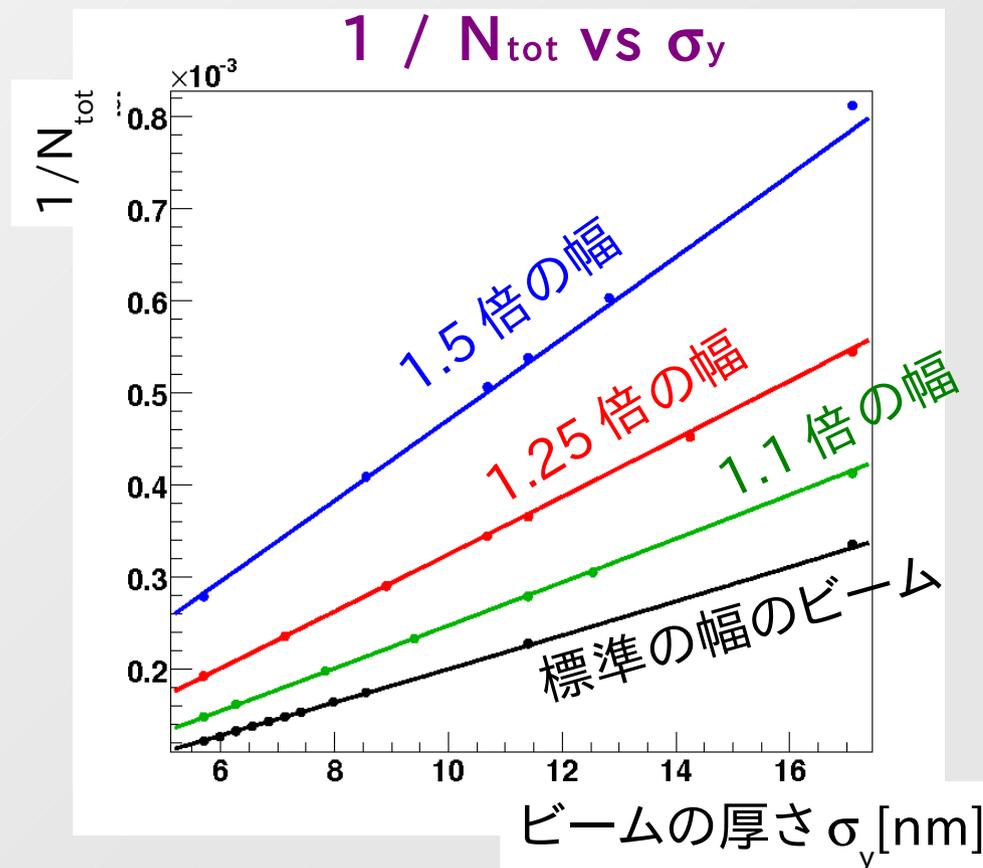
- ペア・バックグラウンドとルミノシティは比例しているので、全ヒット数にはビーム形状情報がある。

ルミノシティ L

$$L \propto 1/\sigma_x \sigma_y$$

全ヒット数 N_{tot}

$$1/N_{\text{tot}} \propto 1/L \propto \sigma_x \sigma_y$$



1 / N_{tot} はビームの厚さ、幅に依存している。

ビームサイズの測定

- R_{max} , Ratio, $1/N_{tot}$ を行列の各成分 (m 、 A 、 B) に代入し、2 次までの項を用いてビームサイズを測定する。
 - 前回は 1 次の項のみを使用

$$\begin{pmatrix} R_{max} \\ \text{Ratio} \\ 1/N_{tot} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_y} \\ \frac{\partial (\text{Ratio})}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial (\text{Ratio})}{\partial \sigma_y} \\ \frac{\partial (1/N_{tot})}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial (1/N_{tot})}{\partial \sigma_y} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_x & \sigma_y \end{pmatrix} B \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix}$$

測定値 (m) 1 次の成分 2 次の成分

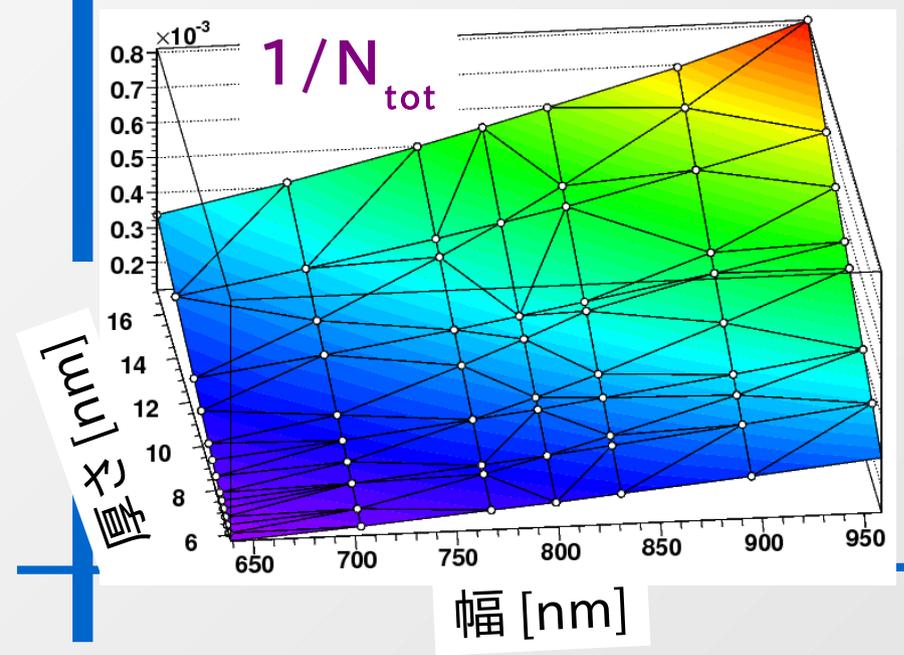
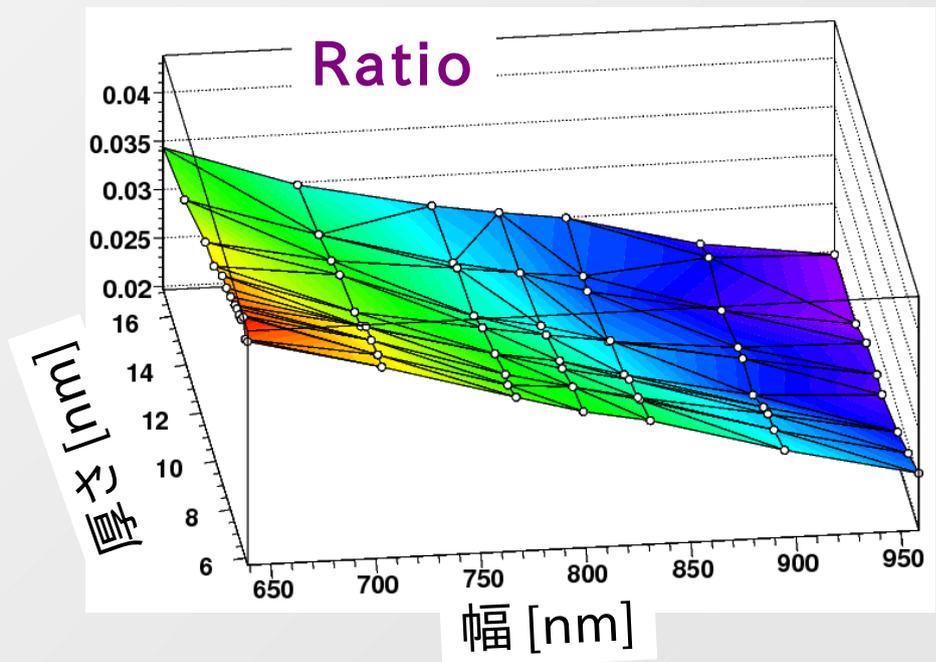
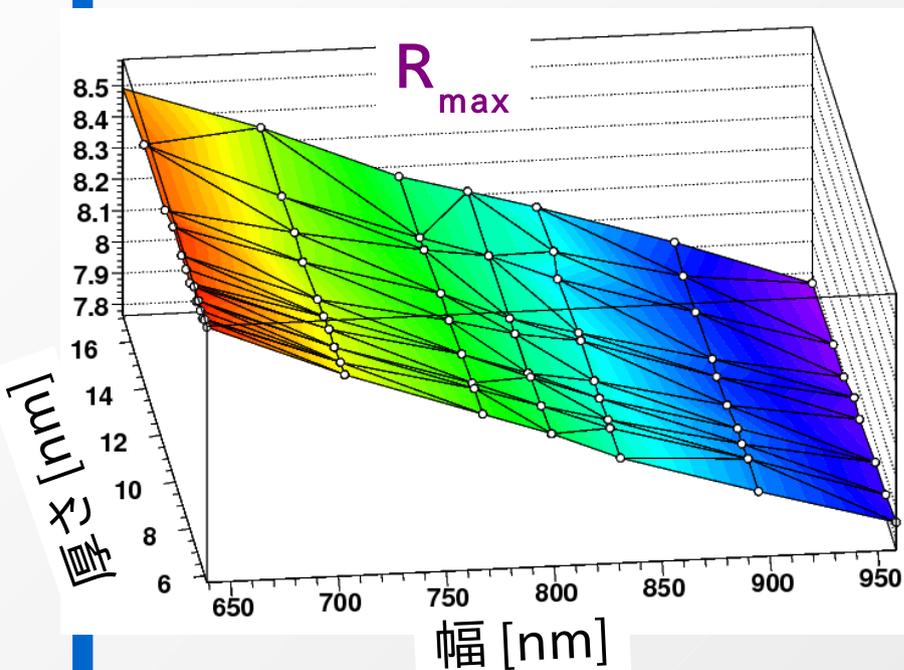
逆行列を用いてビームサイズを測定

$$x \equiv \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} = [A + x^T B]^{-1} m$$

右辺にもビームサイズ x がある

- **ビームサイズ計算法**
- 0) $x_0 = A^{-1} m$
- 1) $x_1 = [A + x_0^T B]^{-1} m$
- ⋮
- ⋮
- ⋮
- n) $x_n = [A + x_{n-1}^T B]^{-1} m$

行列成分



それぞれの測定値をフィットして行列成分に代入

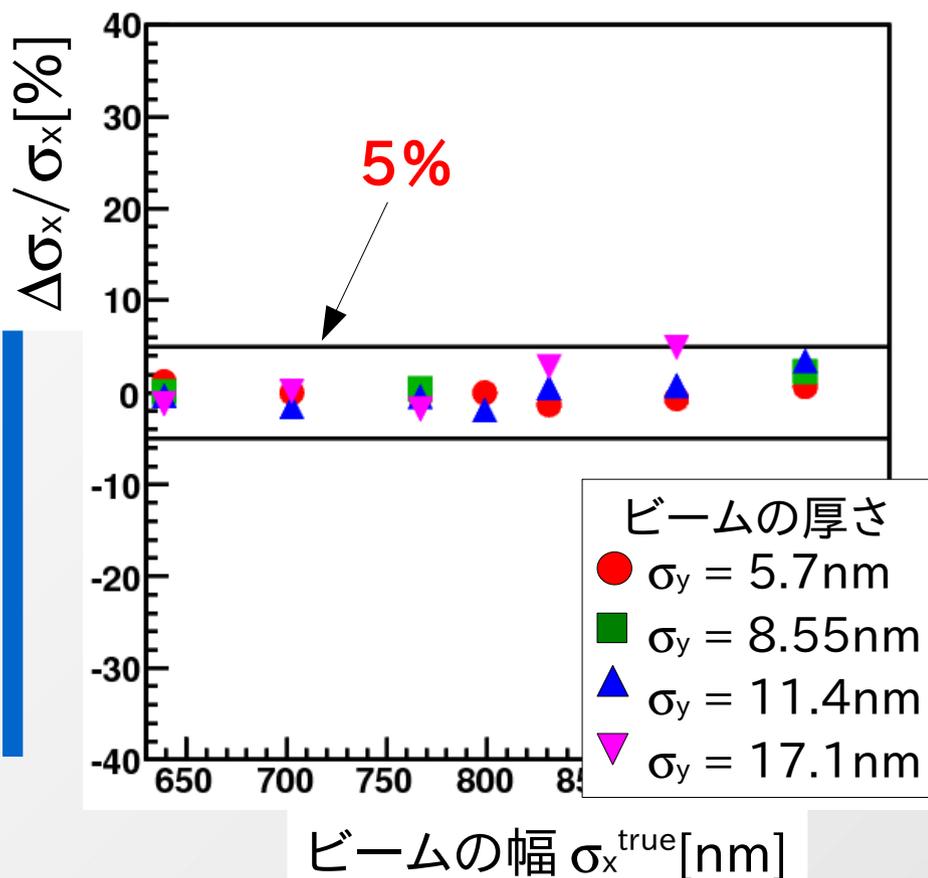
$$\begin{pmatrix} R_{max} \\ \text{Ratio} \\ 1/N_{tot} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_y} \\ \frac{\partial (\text{Ratio})}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial (\text{Ratio})}{\partial \sigma_y} \\ \frac{\partial (1/N_{tot})}{\partial \sigma_x} & \frac{\partial (1/N_{tot})}{\partial \sigma_y} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_x, \sigma_y \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{2 次の成分} \\ \mathbf{B} \end{matrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix}$$

測定値 (m)

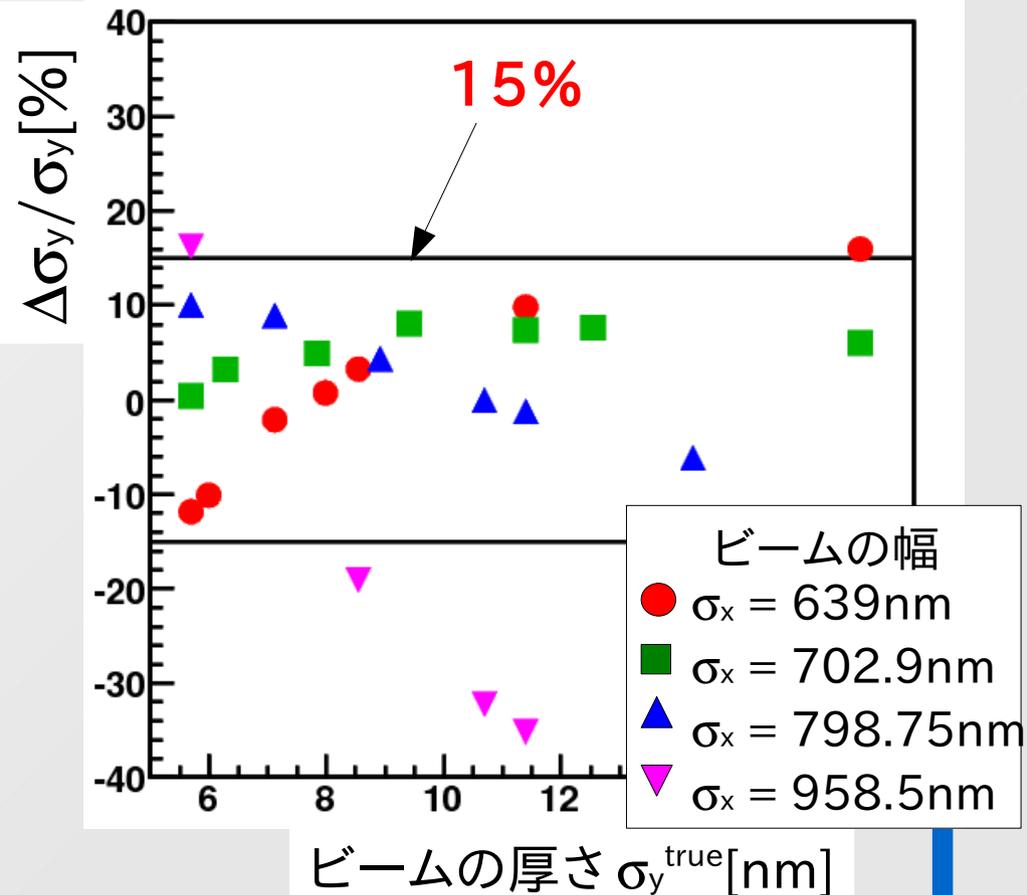
1 次の成分

前回の結果 1次の項のみを使用

ビームの幅 (σ_x) の測定精度



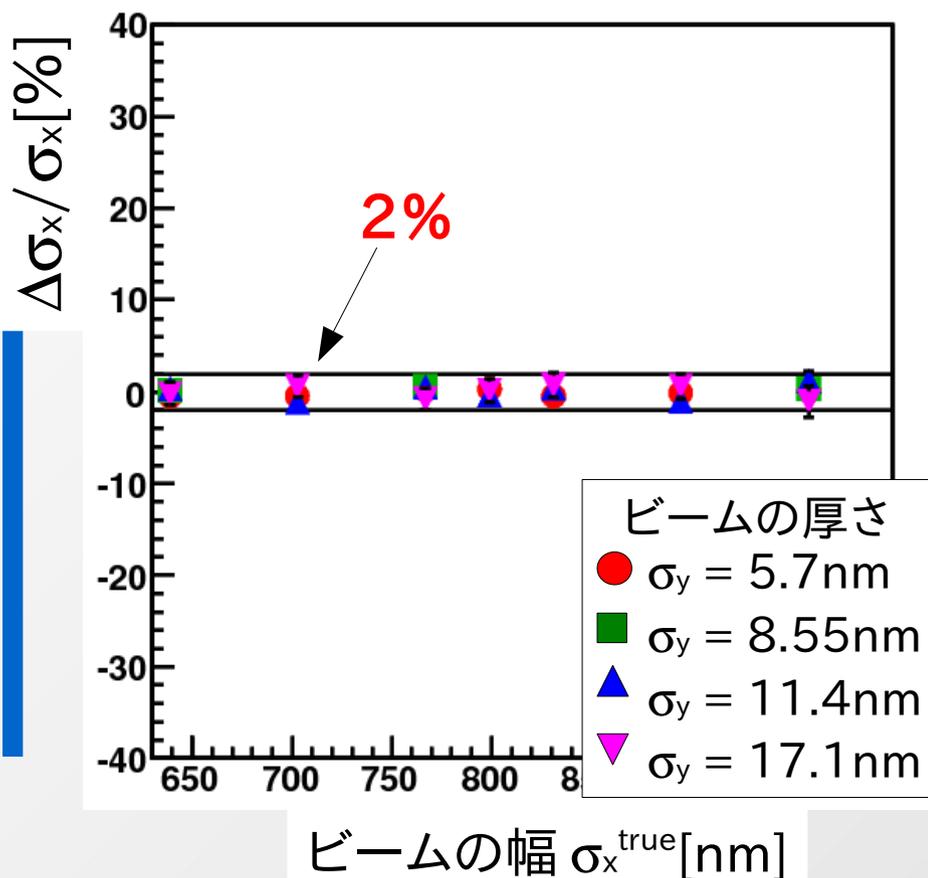
ビームの厚さ (σ_y) の測定精度



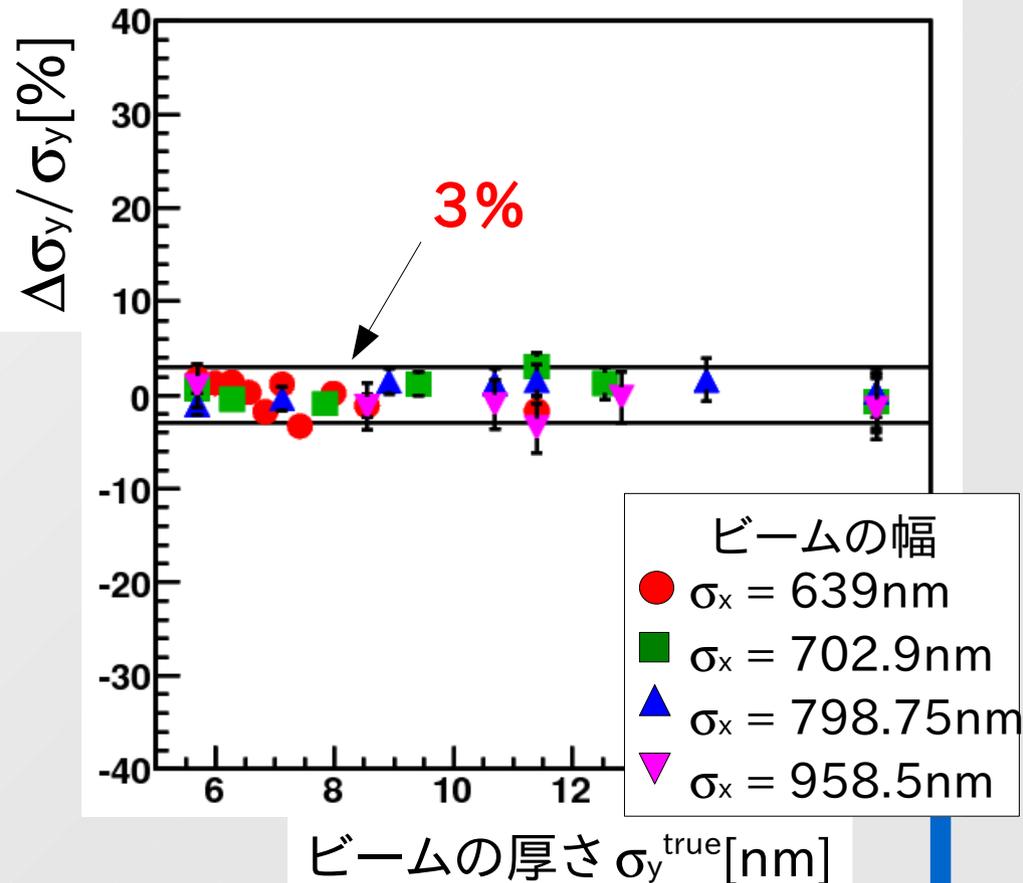
- 要求性能である10%をクリアできていなかった(厚さ)。
➡ 2次の項までを使用する。

結果 2次の項までを使用

ビームの幅 (σ_x) の測定精度



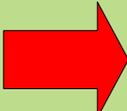
ビームの厚さ (σ_y) の測定精度

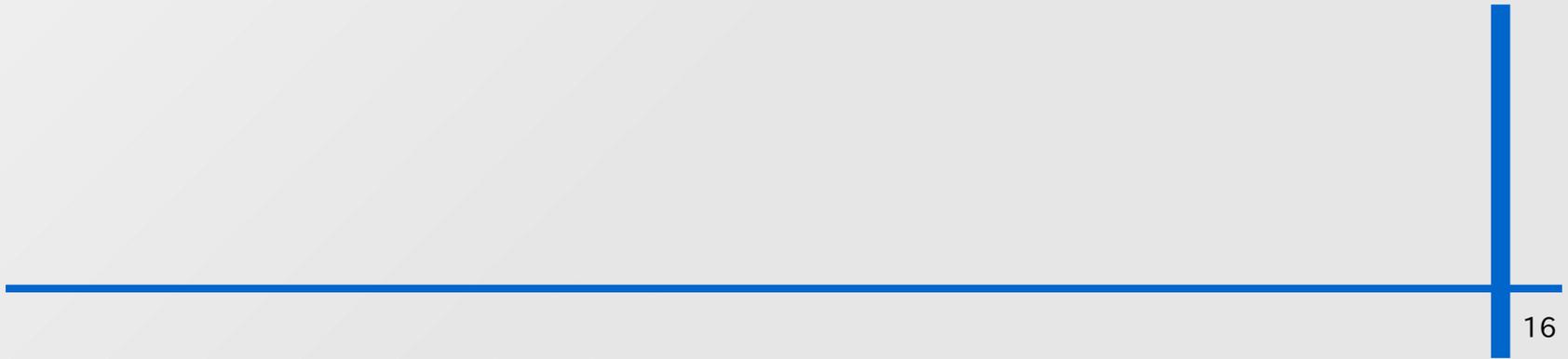


- ビームの幅は2%の精度で測定可能。
 - ビームの厚さは3%の精度で測定可能。
- ➡ 要求性能の10%をクリア。

まとめ

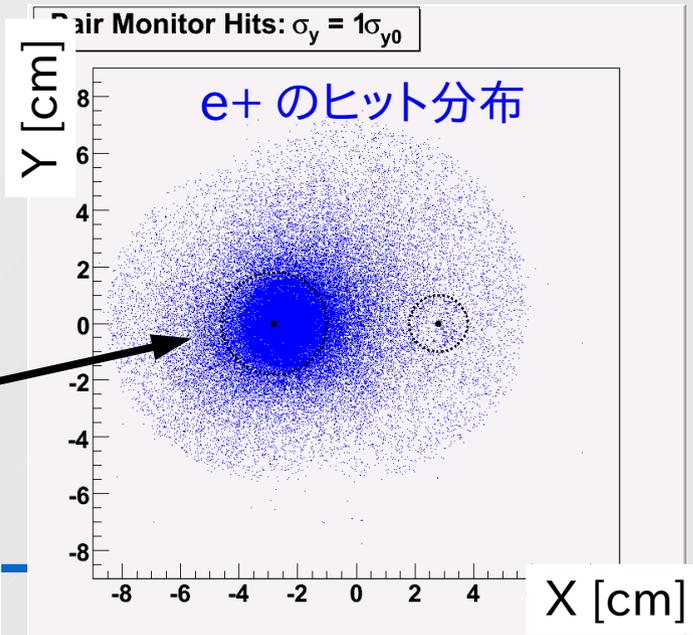
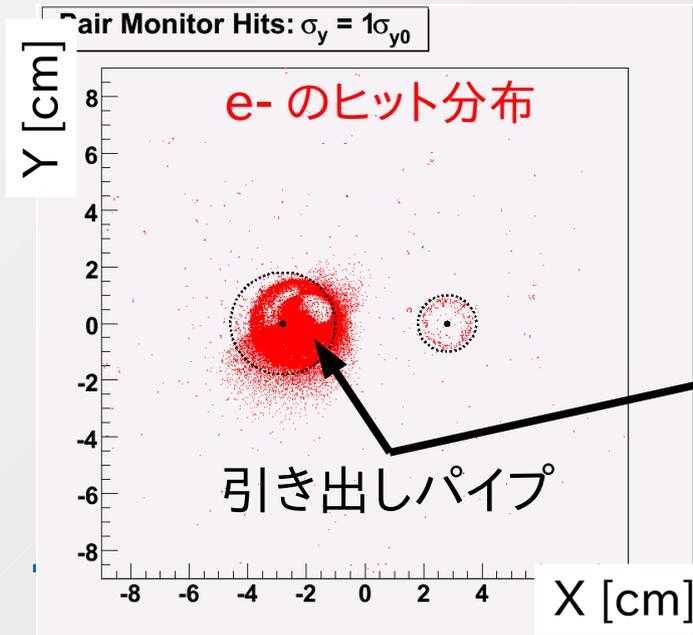
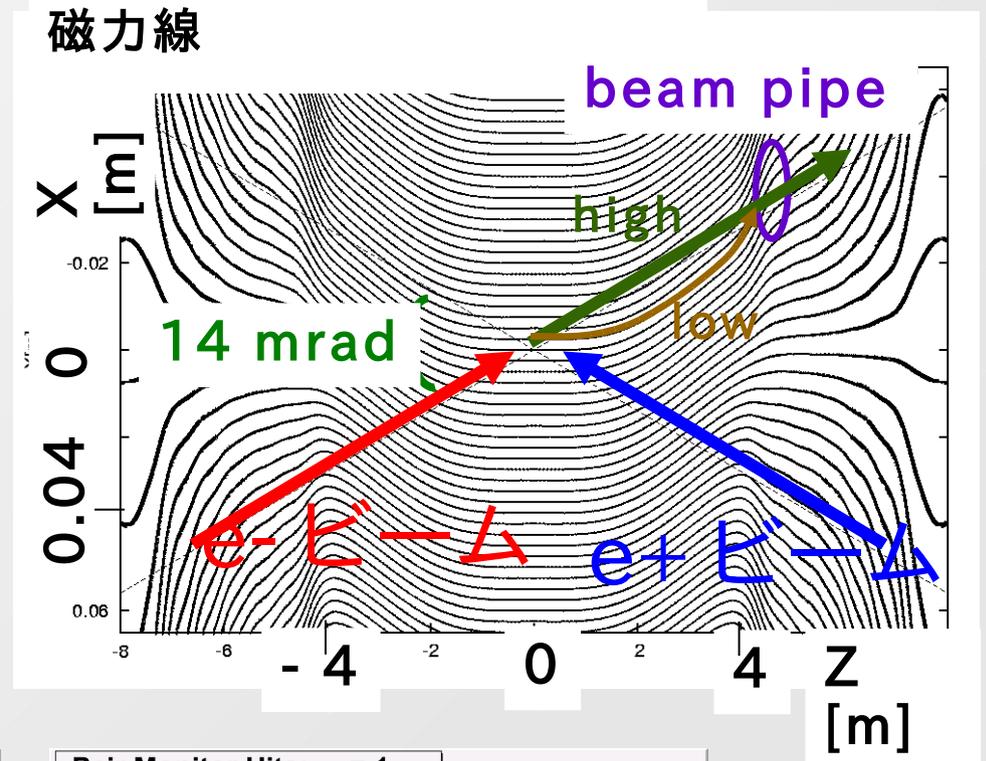
- 高ルミノシティ維持のためにビームプロファイルモニタが必要。
 - 要求性能を満たすのはペアモニタだけ
- ペアモニタは衝突点でのビームの形状を測定する。
 - 衝突点で発生する電子・陽電子ペアを用いる。
- ビームサイズ測定は、2次の行列計算を使用することで要求性能10%をクリア。
 - ビームの幅 σ_x は 2% (~14nm) の精度
 - ビームの厚さ σ_y は 3% (~0.2nm) の精度

$$m = A x + x^T B x$$

$$x = [A + x^T B]^{-1} m$$



anti-DID field

- anti-DID とはペアバックグラウンドをビームパイプに導くために加える磁場。
- 1次近似の anti-DID 磁場を用いた。



非正方行列の逆行列

非正方行列

$$m = Ax$$

$$(A^T A)^{-1} A^T m = (A^T A)^{-1} A^T Ax$$

$$(A^T A)^{-1} A^T m = x$$

$$x = A^+ m \quad [A^+ \equiv (A^T A)^{-1} A^T]$$

非正方行列の逆行列
(Moore Penrose)