

# 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

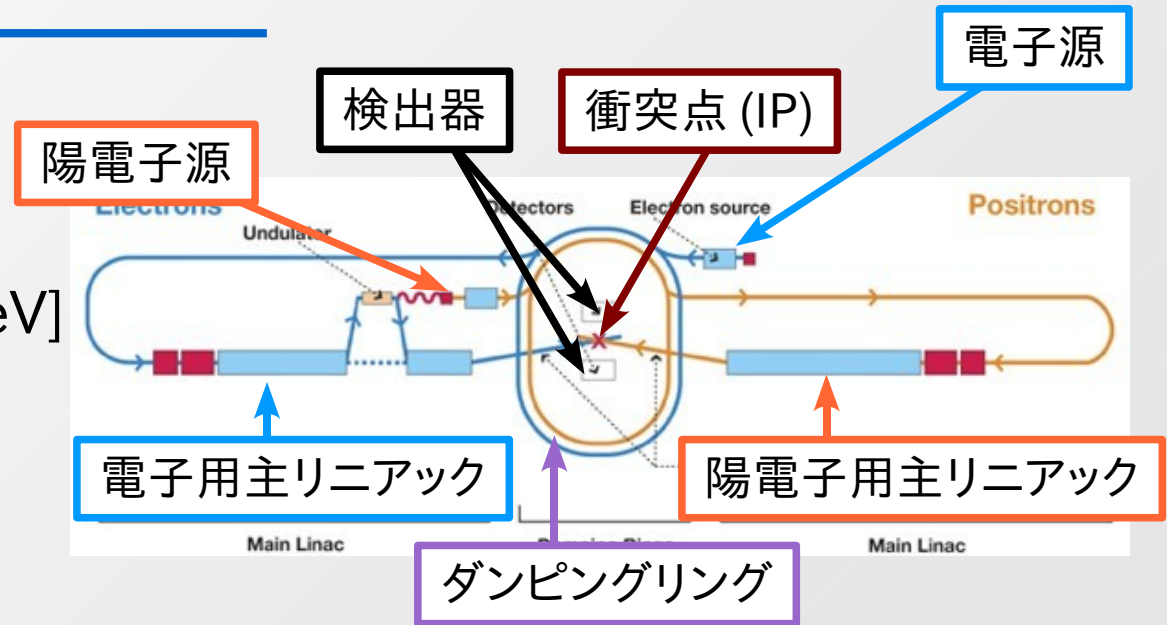
伊藤 和俊

2008年9月22日

# イントロダクション

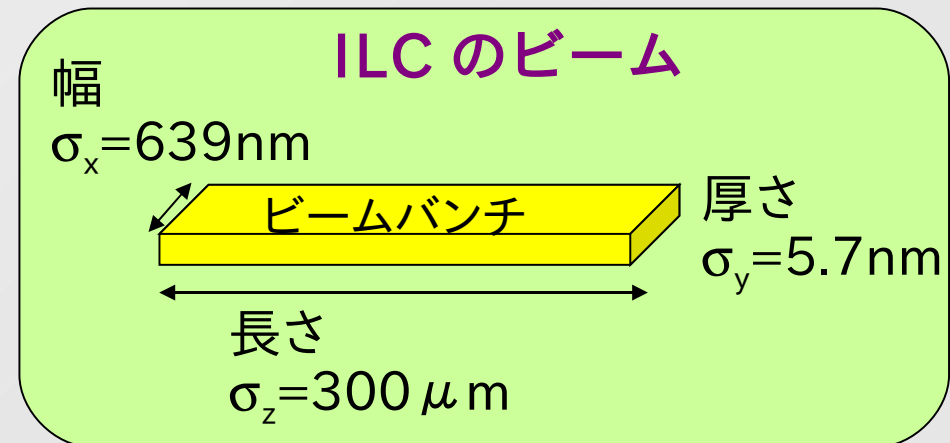
## ILC について

- 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

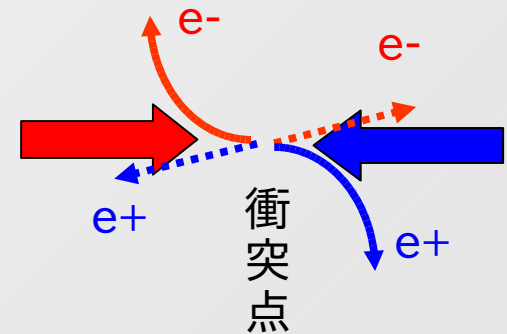


これらの要求を満たすのはペアモニタだけ

## ペアモニタ

### 電子・陽電子ペア

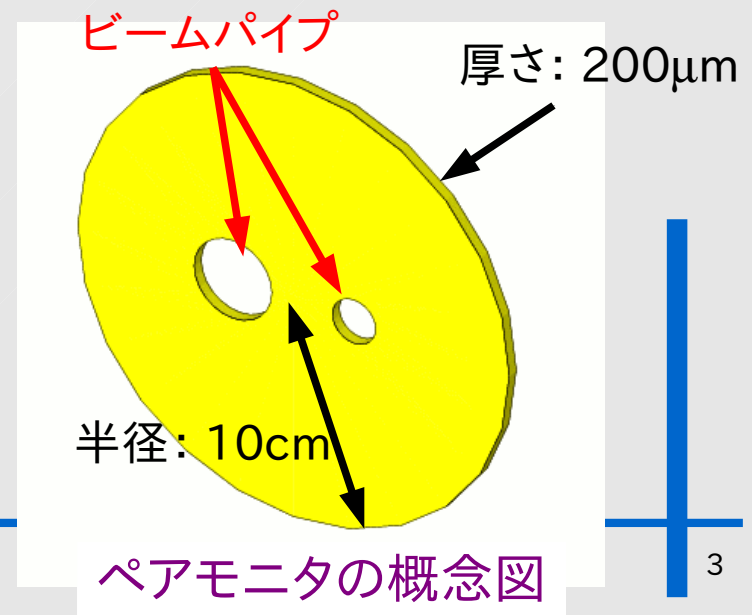
- 衝突点で光子が大量発生
- 光子とビームが反応し, 大量の電子・陽電子ペアが生成
  - ペア・バックグラウンド
- 対向するビームと同電荷の粒子は, ビームの電場により散乱



散乱された粒子は、ビーム形状の情報を持っている

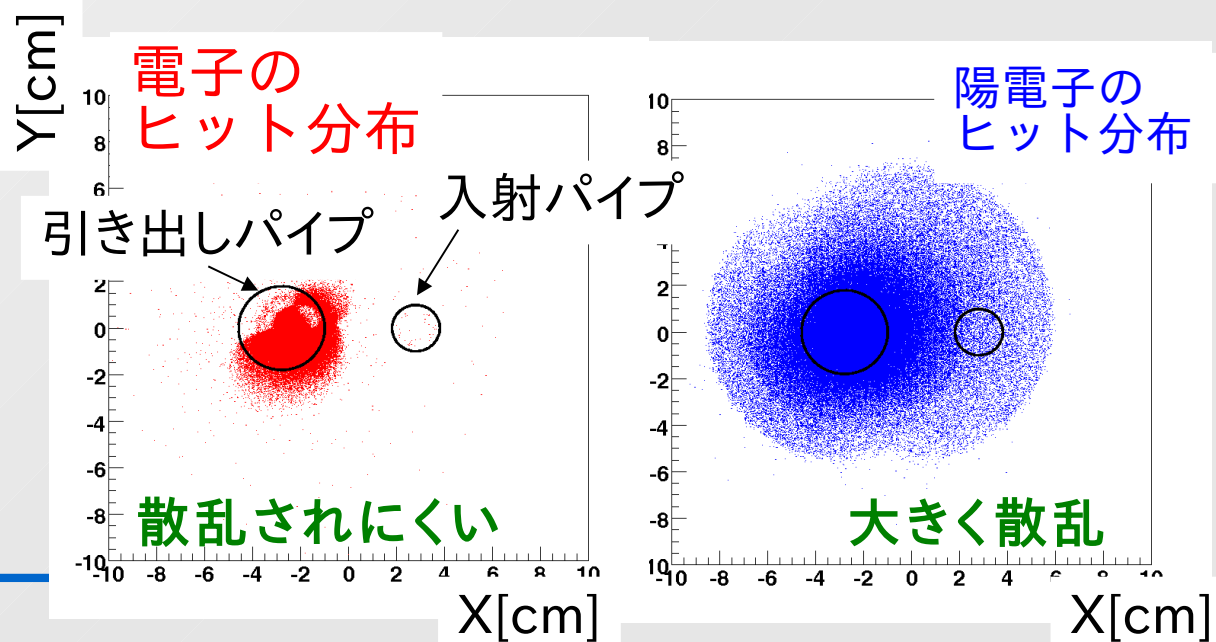
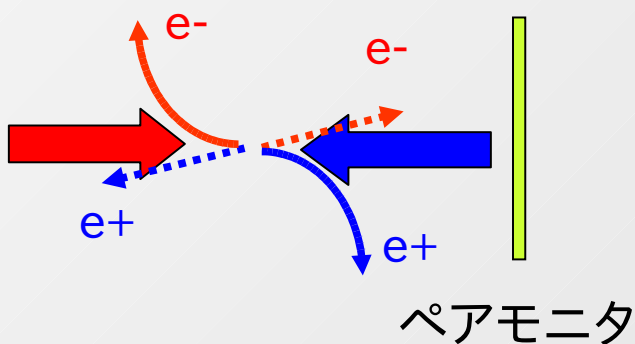
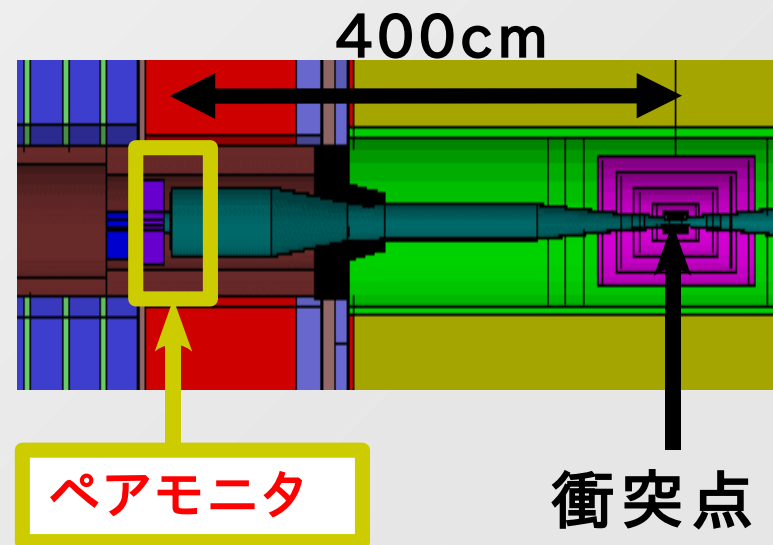
### ペアモニタ

- 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)  $\uparrow$

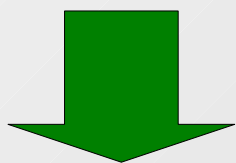
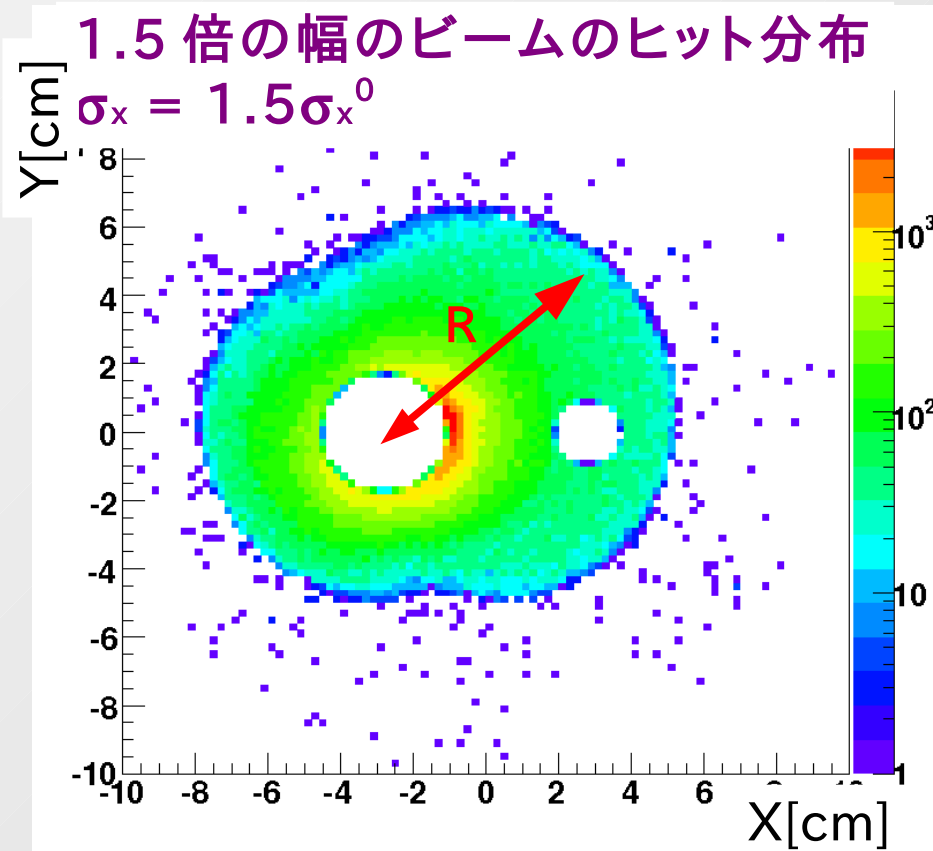
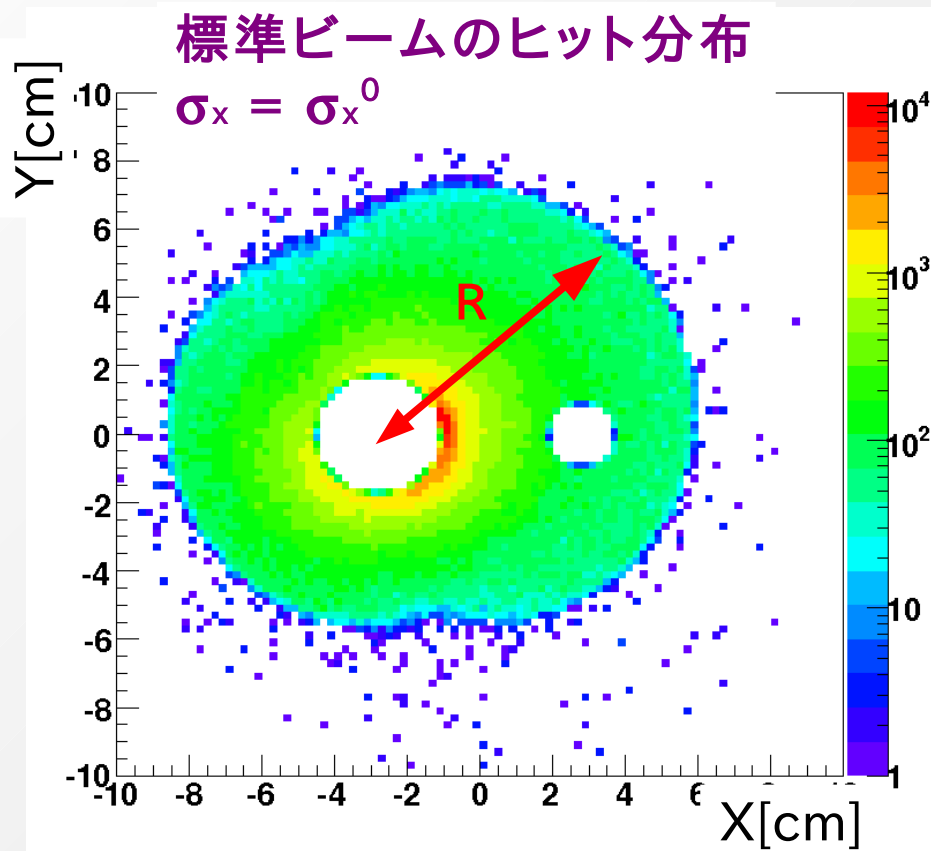
ビームサイズ (X)  $\leftarrow$

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)



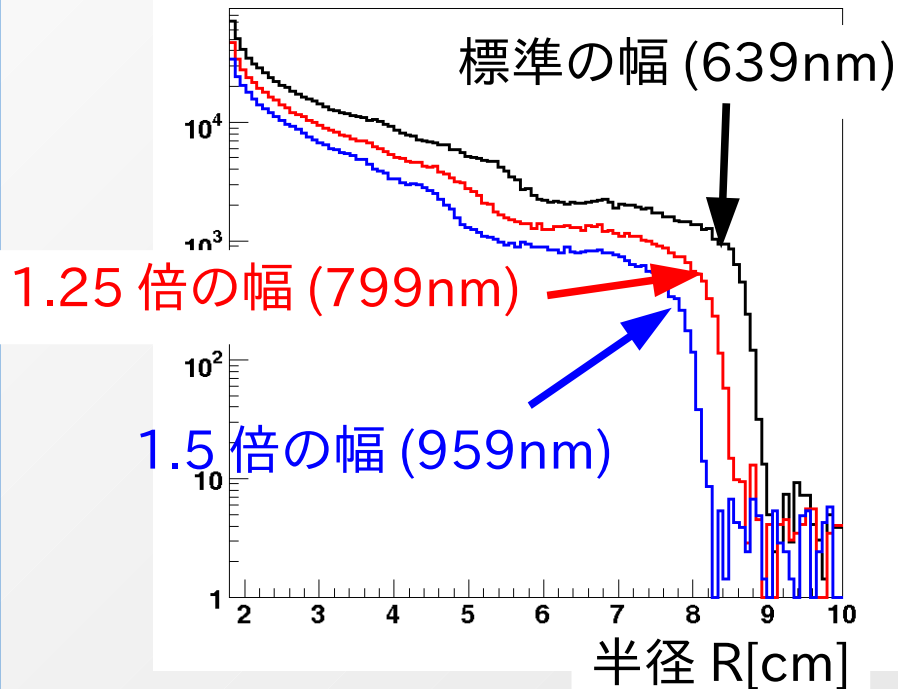
幅が大きくなると、ビーム表面の電磁場が弱くなり、散乱されにくくなる。

最大半径に注目する

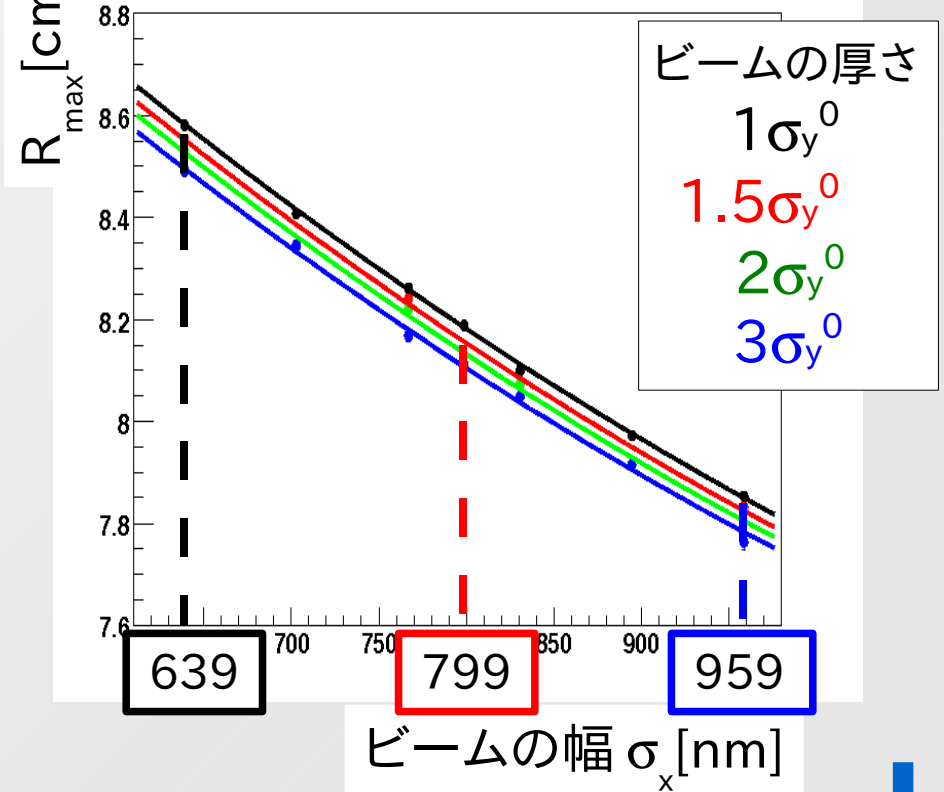
# 測定値1:最大半径

- 最大半径 ( $R_{\max}$ ): 99.8% のヒット数を含む領域

半径分布 ( $\sigma_y = 1\sigma_y^0$ )



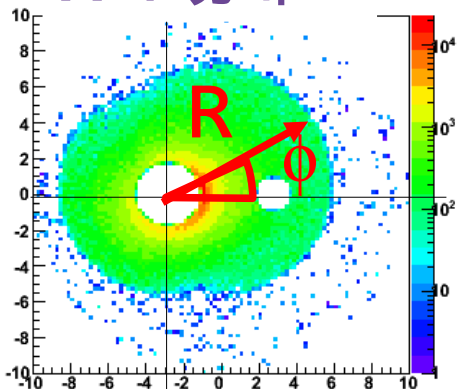
$R_{\max}$  VS  $\sigma_x$



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)

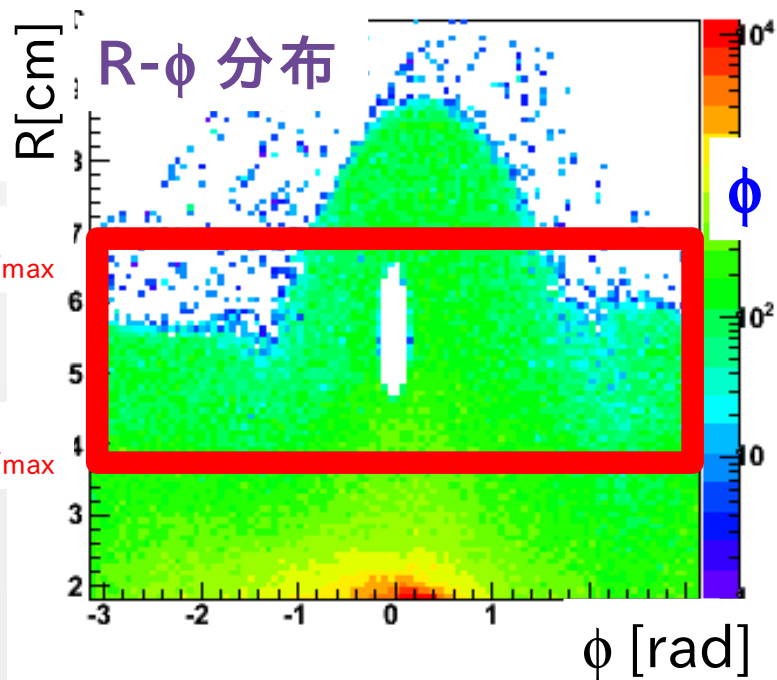
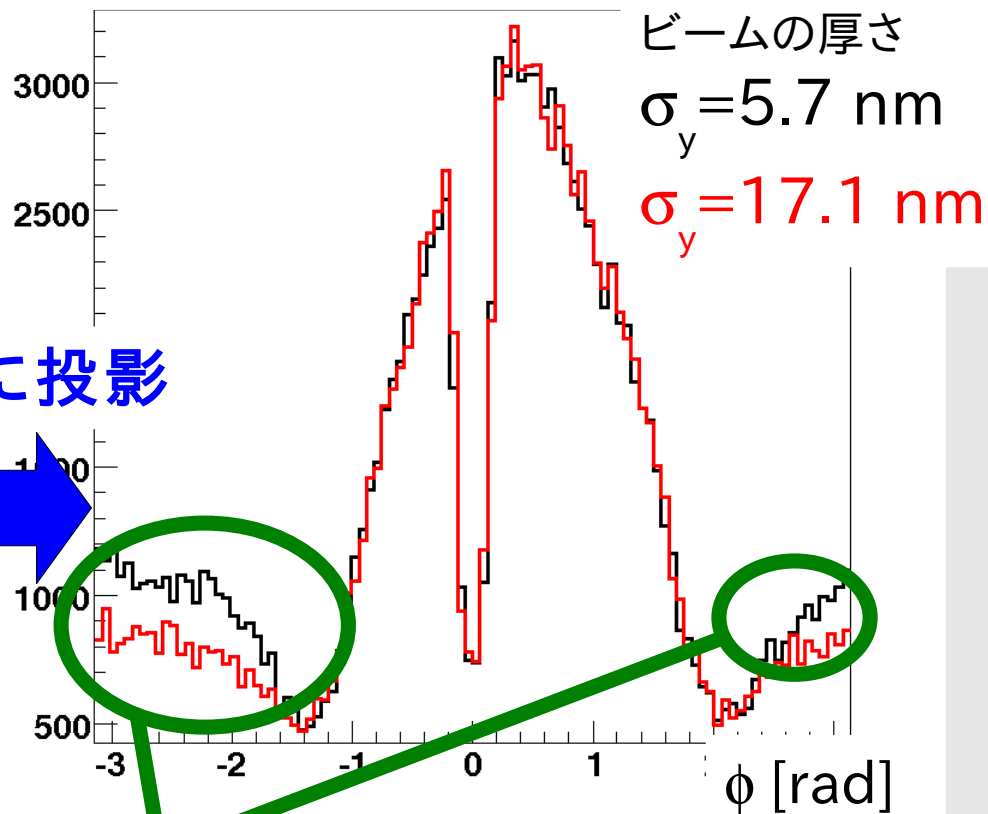
X-Y 分布



- ビーム情報を引き出すため、 $\phi$  軸に投影する。

座標変換

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



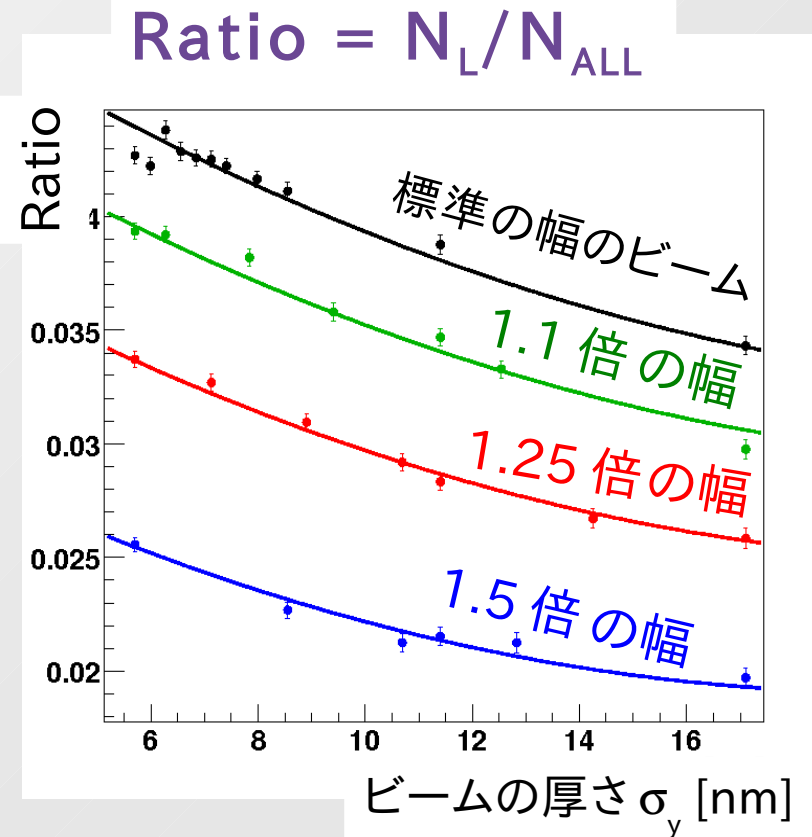
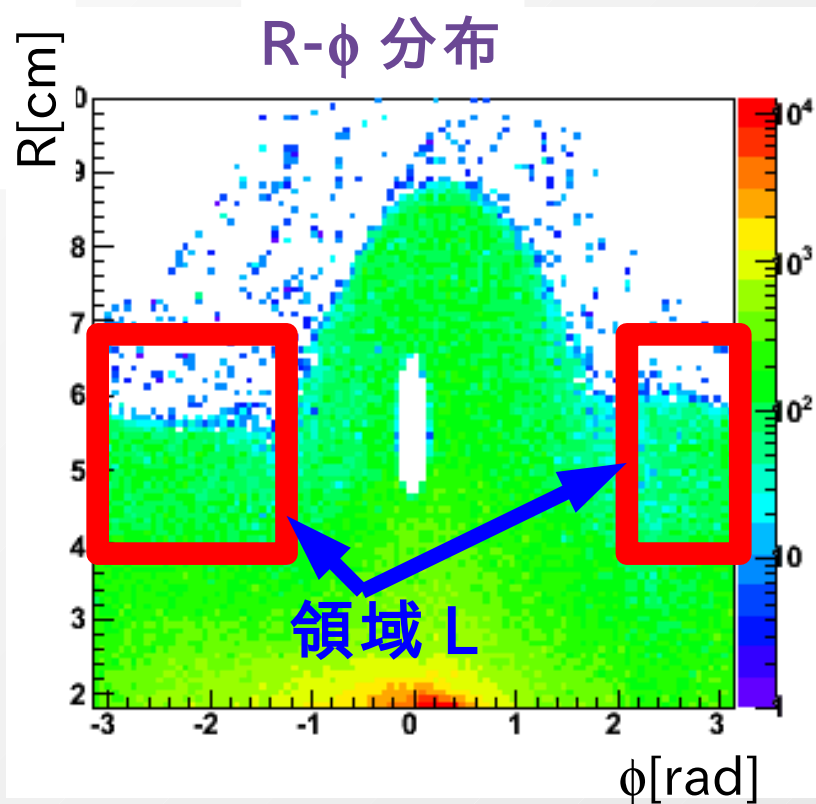
$\phi$  軸に投影

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)

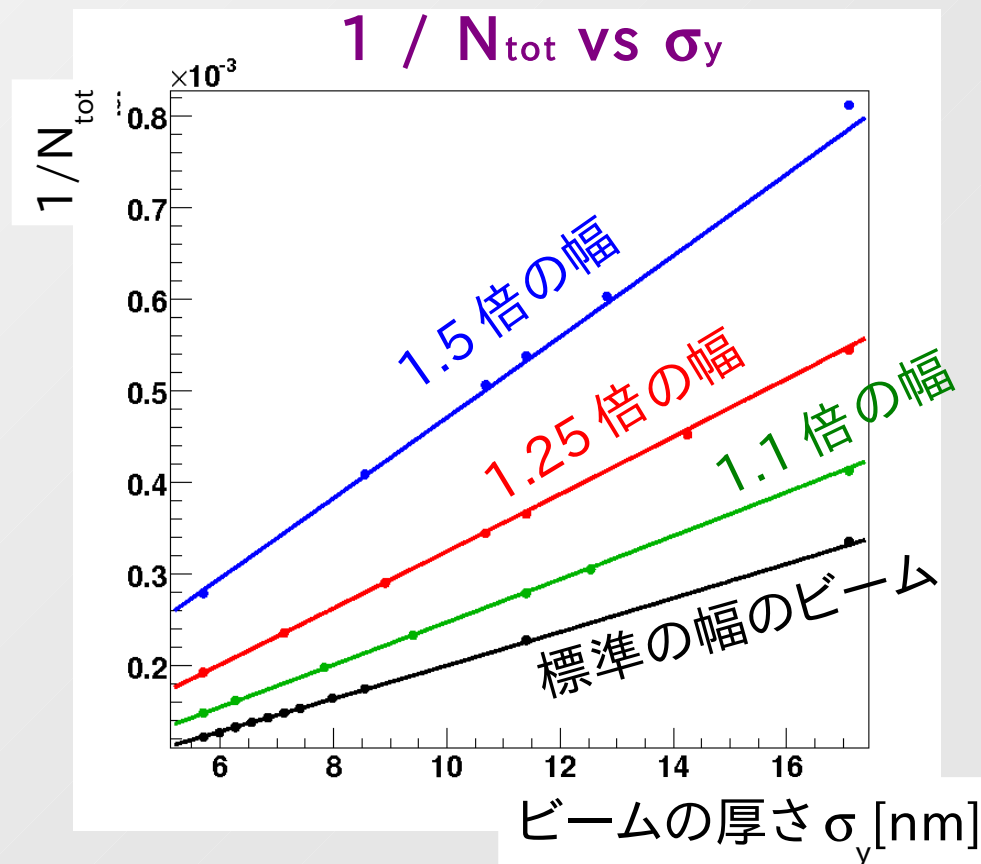
- ペア・バックグラウンドとルミノシティは比例しているので、全ヒット数にはビーム形状情報がある。

ルミノシティ  $L$

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

全ヒット数  $N_{\text{tot}}$

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



**1 /  $N_{\text{tot}}$  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,  $1/N_{\text{tot}}$  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

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

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

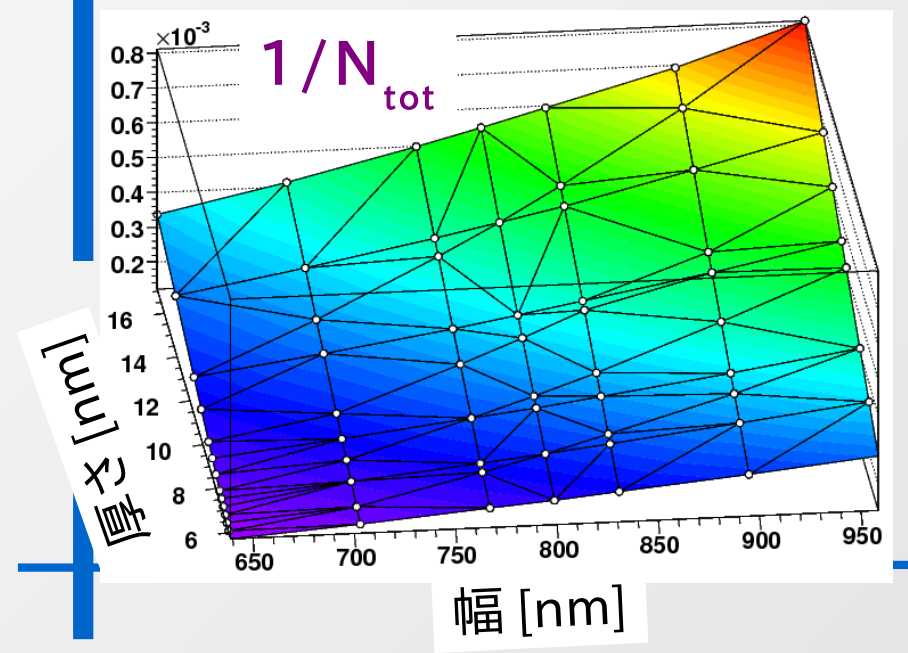
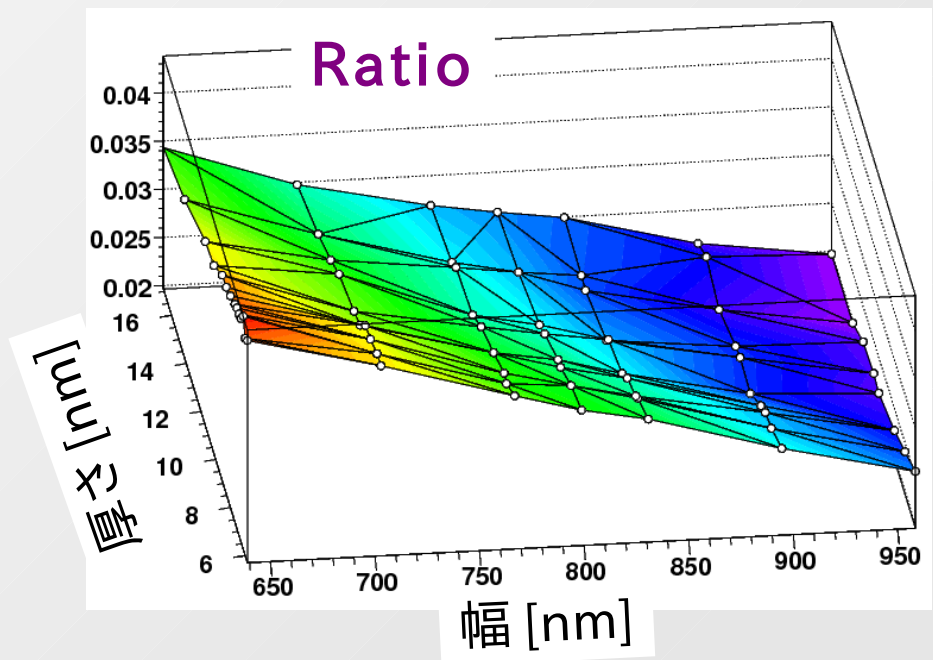
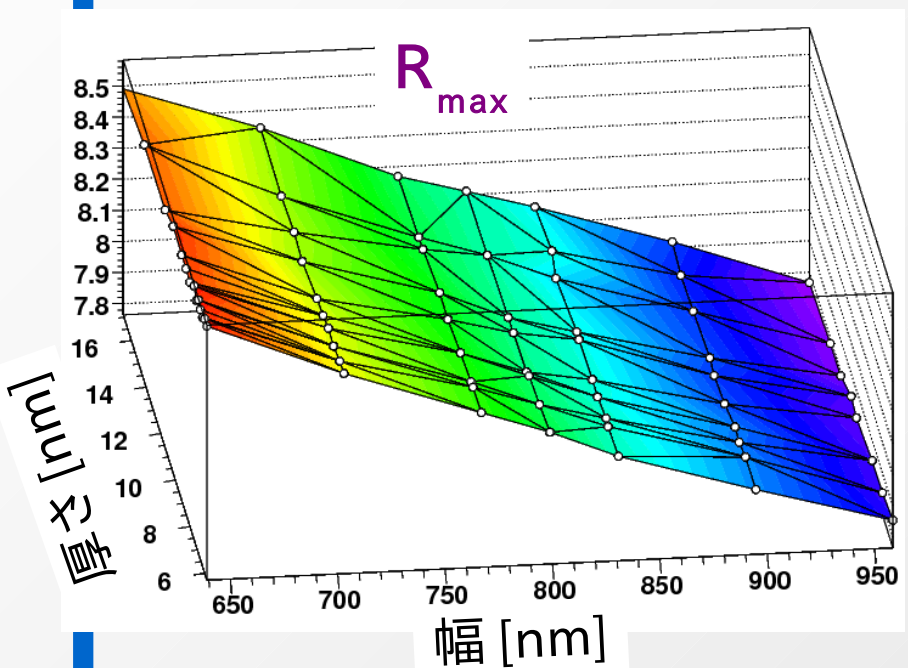
$$x \equiv \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \end{pmatrix} = [A + x^T B]^{-1} m$$

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

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

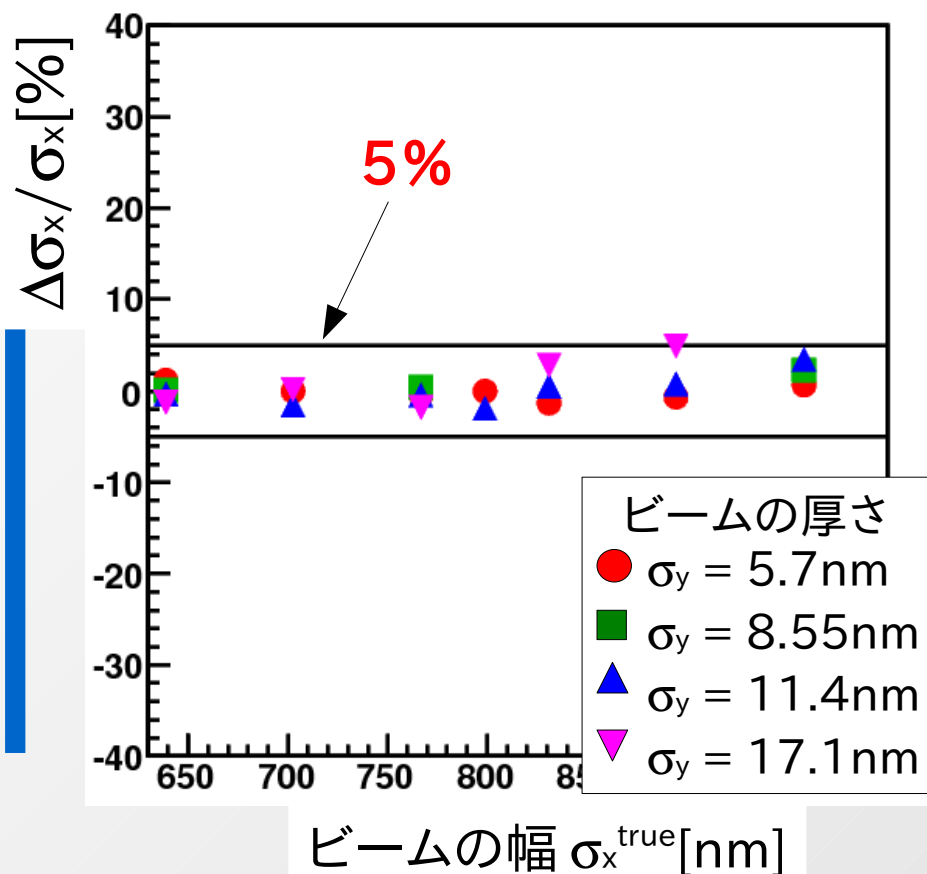
測定値 (m)

1 次の成分

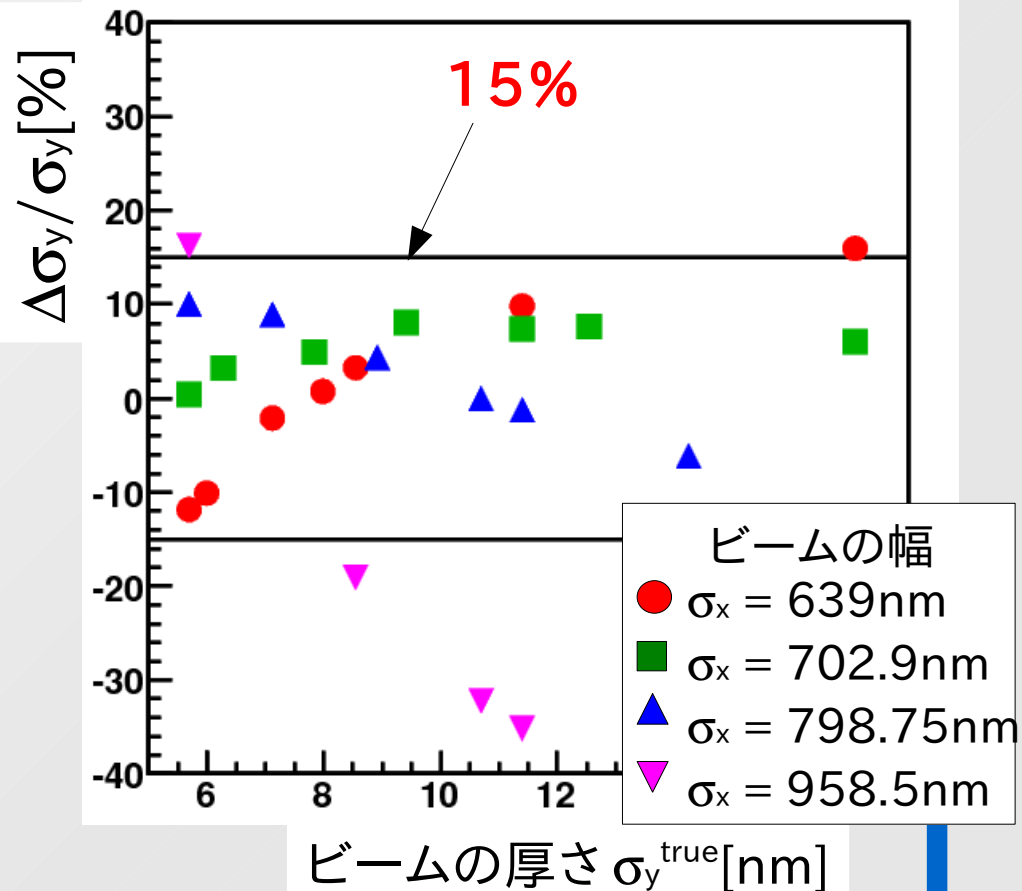
2 次の成分

# 前回の結果 1次の項のみを使用

## ビームの幅 ( $\sigma_x$ ) の測定精度



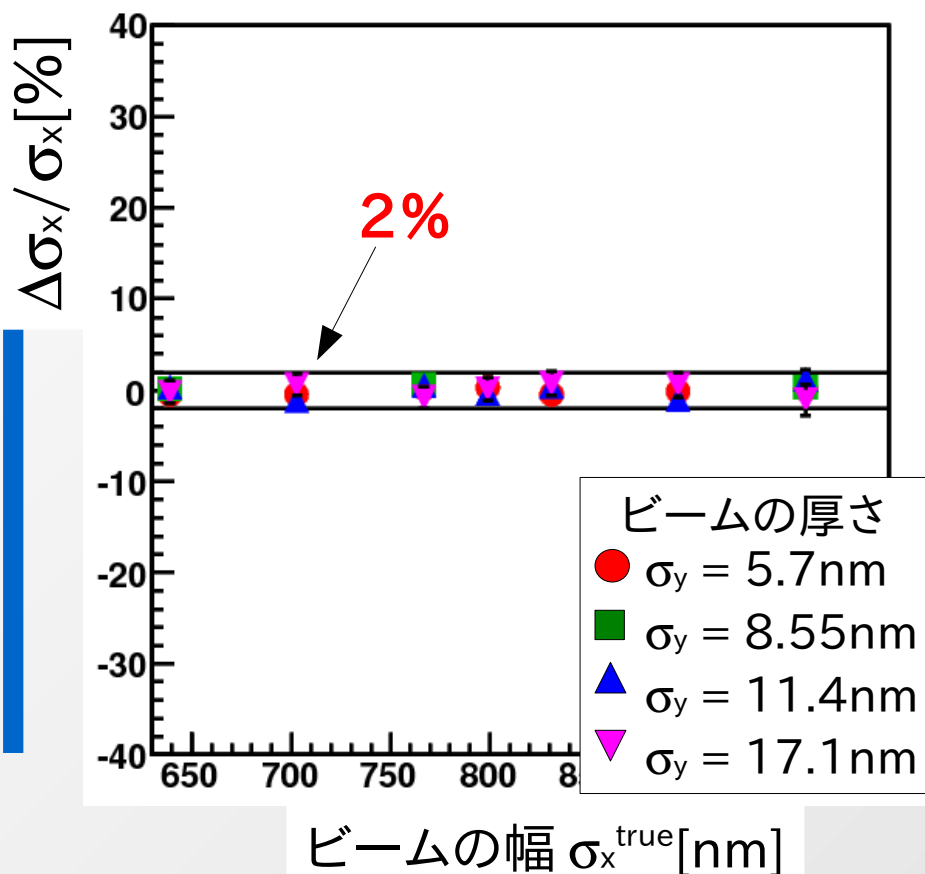
## ビームの厚さ ( $\sigma_y$ ) の測定精度



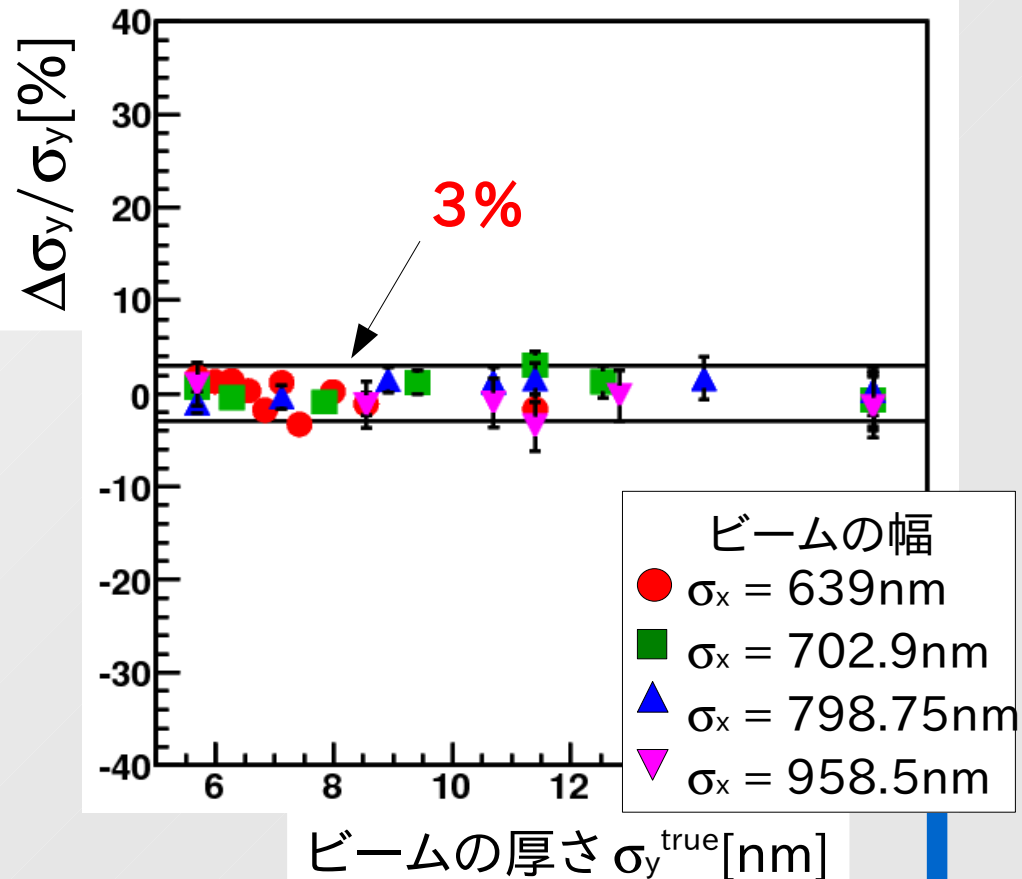
- 要求性能である10%をクリアできていなかった(厚さ)。  
➡ 2次の項までを使用する。

# 結果 2次の項までを使用

## ビームの幅 ( $\sigma_x$ ) の測定精度



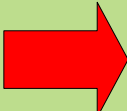
## ビームの厚さ ( $\sigma_y$ ) の測定精度

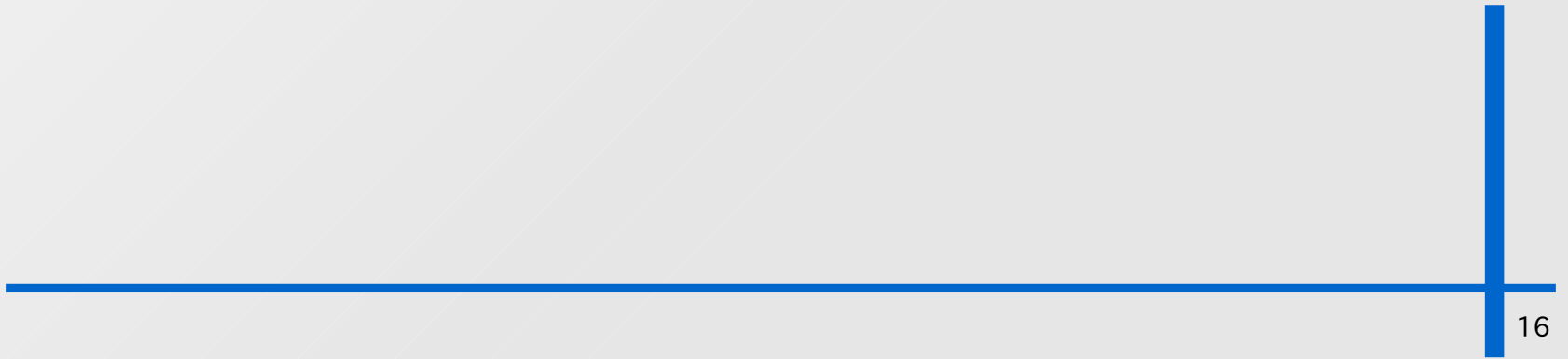


- ビームの幅は2%の精度で測定可能。
  - ビームの厚さは3%の精度で測定可能。
- ➡ 要求性能の10%をクリア。

## 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  $\sigma_x$  は 2% (~14nm) の精度
  - ビームの厚さ  $\sigma_y$  は 3% (~0.2nm) の精度

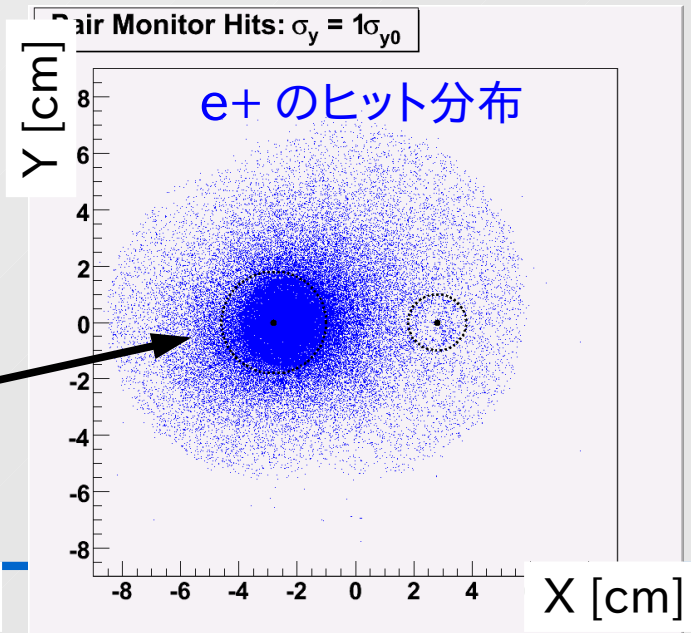
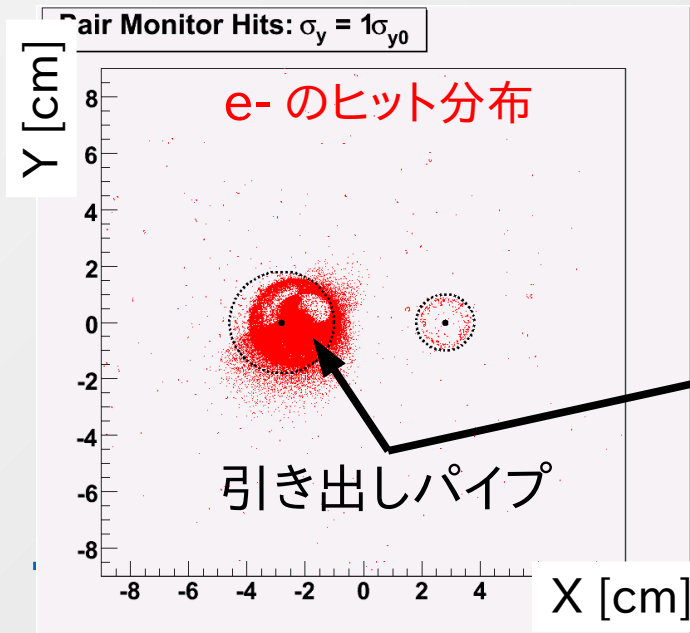
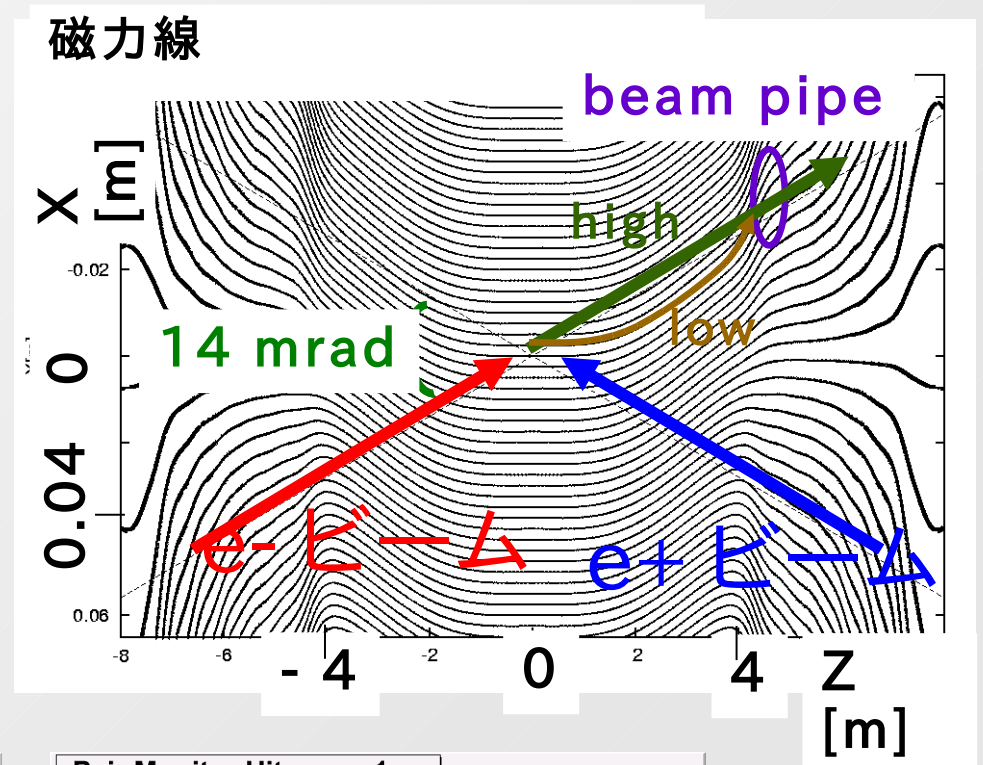
$$m = A x + x^T B x$$

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





## 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)