

# Belle II実験におけるシリコンストリップ型 崩壊点検出器の機械精度の追求と性能評価

東京理科大学 修士1年

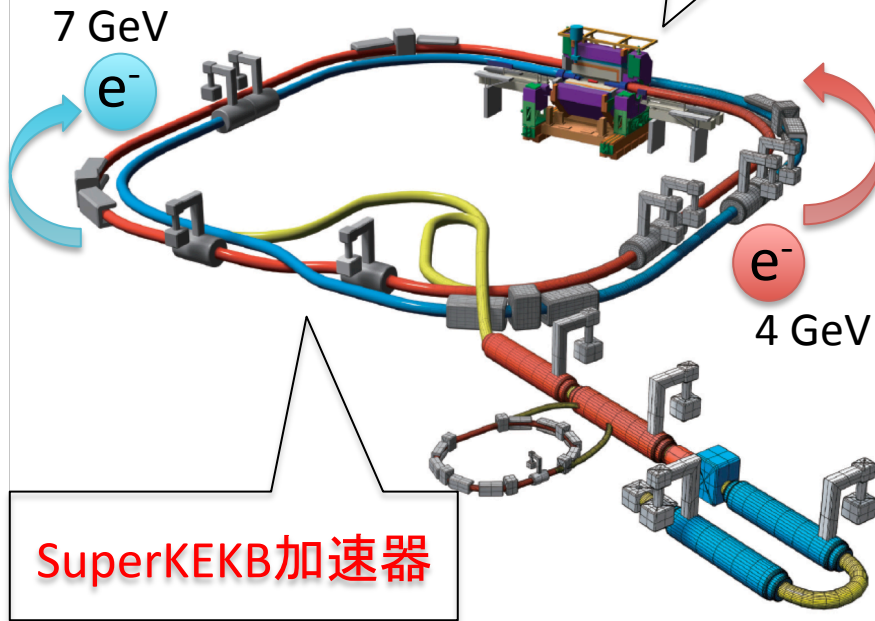
吉延 俊輝

@21<sup>st</sup> ICEPP Symposium

# Belle II実験

高エネルギー加速器研究機構(KEK)

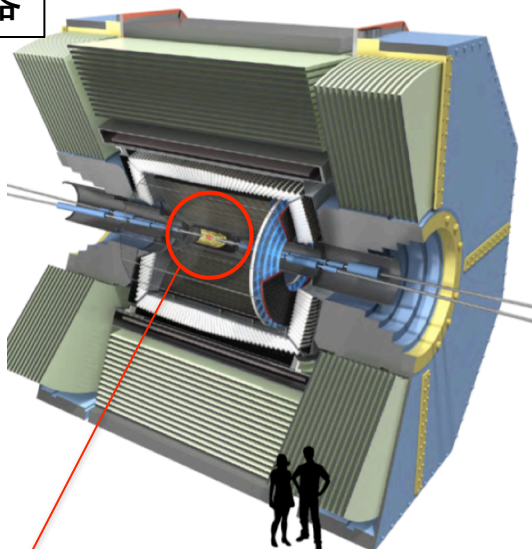
Belle II測定器



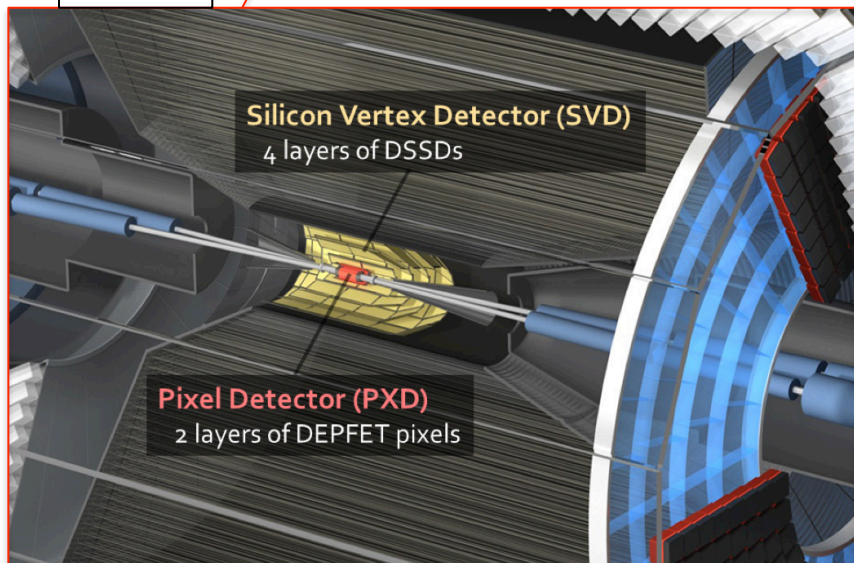
- 茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構(KEK)で行われる素粒子実験。
- 2017年物理ラン開始予定。
- 電子・陽電子衝突型加速器 SuperKEKBで大量のB中間子対を生成し、それらの崩壊事象を Belle II測定器で測定。
- 重心エネルギー10.58GeV
- Belle実験の50倍である $50\text{ab}^{-1}$ の積分ルミノシティで荷電ヒッグス探索や新物理の寄与によるCPの破れなどを探索。

# 崩壊点検出器 VXD

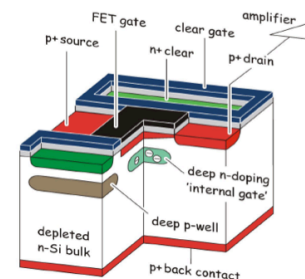
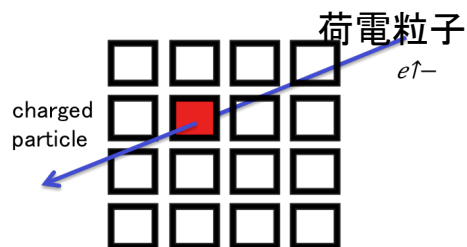
Belle II検出器



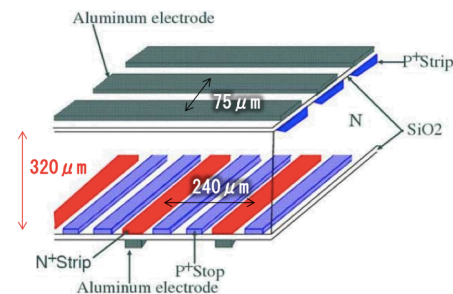
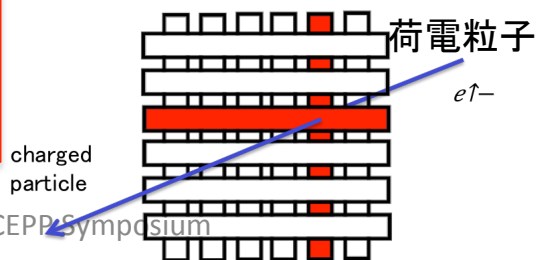
VXD



- VXD : Vertex Detector
  - 20 $\mu\text{m}$ の崩壊点位置分解能
  - CDC(Central Drift Chamber)とともに崩壊点と軌跡を再構成
  - **PXD**(L1,L2) + **SVD**(L3,L4,L5,L6)
- **PXD** : Pixel Detector
  - DEPFET ピクセル 半導体検出器

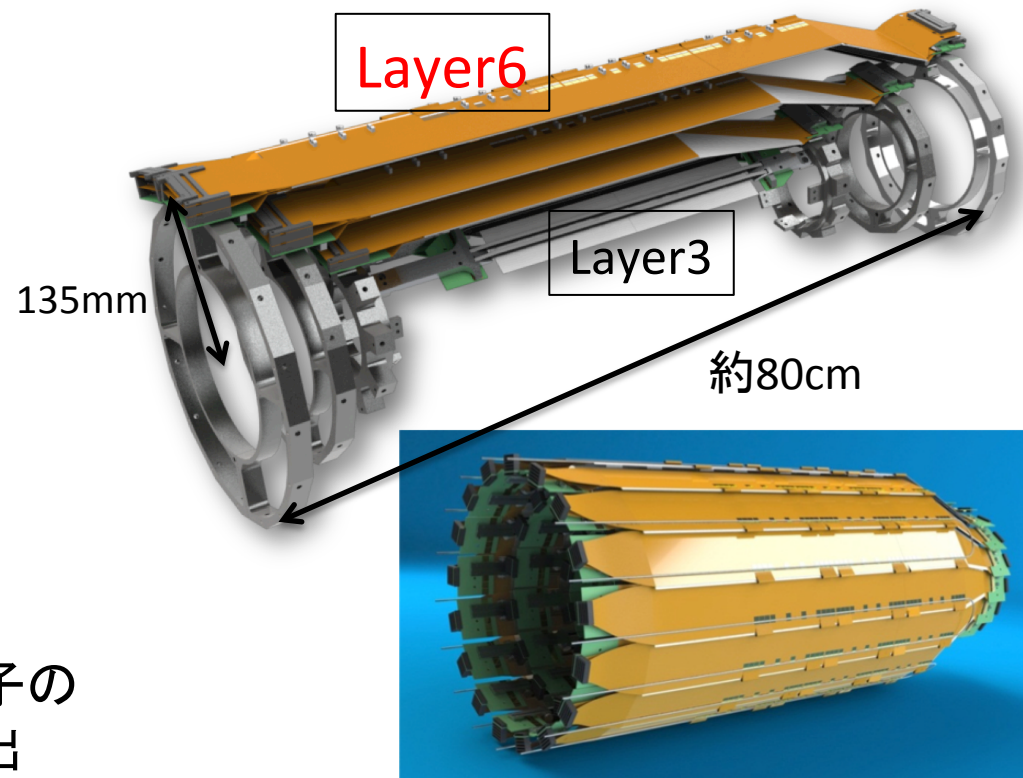


- **SVD** : Silicon Vertex Detector
  - ストリップ型シリコン検出器(DSSD)



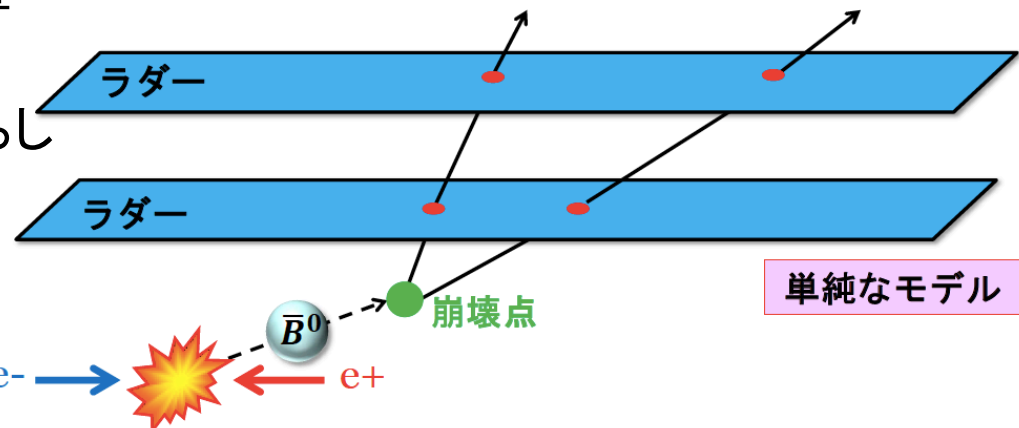
# SVD検出器 : Silicon Vertex Detector

- VXDの3～6層がSVD
  - L3(Melbourne@Australia)
  - L4(TIFR@India)
  - L5(HEPHY@Austria)
  - **L6(IPMU@Japan)**  
(東京大学Kavli IPMU)



## ラダー構造

1. それぞれのラダーで粒子の通過位置を2次元で検出
2. 複数のラダーの通過位置から軌跡を求める
3. それらの軌跡のもっともらしい交点が崩壊点



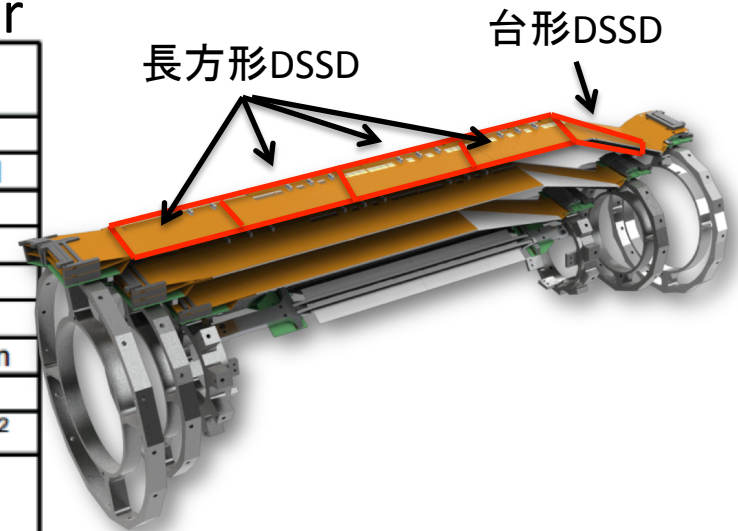


# Siストリップセンサー : DSSD

**DSSD** = Double-sided Silicon Strip Detector

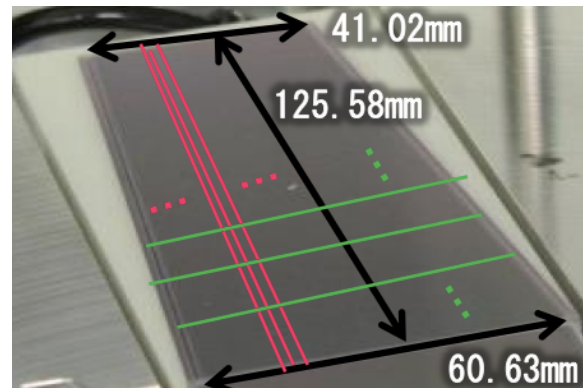
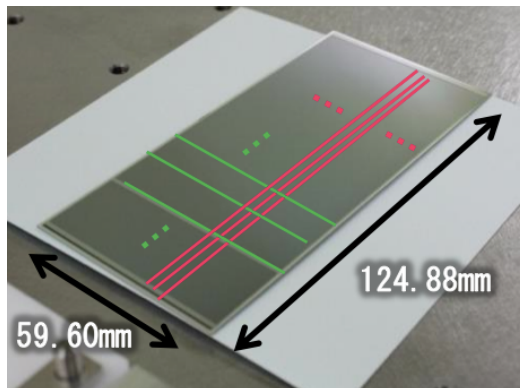
|                               | Barrel sensors                                        |                                  | Forward sensors                                                 |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Layer                         | 3                                                     | 4 to 6                           | 4 to 6                                                          |
| Shape                         | rectangular                                           |                                  | trapezoidal                                                     |
| # strips p-side               | 768                                                   | 768                              | 786                                                             |
| # strips n-side               | 768                                                   | 512                              | 512                                                             |
| # intermeditate strips p-side | 767                                                   | 767                              | 767                                                             |
| # intermeditate strips n-side | 767                                                   | 511                              | 511                                                             |
| Pitch p-side                  | 50 $\mu\text{m}$                                      | 75 $\mu\text{m}$                 | 75 ... 50 $\mu\text{m}$                                         |
| Pitch n-side                  | 160 $\mu\text{m}$                                     | 240 $\mu\text{m}$                | 240 $\mu\text{m}$                                               |
| Area (total)                  | 5048.90 $\text{mm}^2$                                 | 7442.85 $\text{mm}^2$            | 6382.6 $\text{mm}^2$                                            |
| Area (active)                 | 4737.80 $\text{mm}^2$<br>(93.8%)                      | 7029.88 $\text{mm}^2$<br>(94.5%) | 5890 $\text{mm}^2$<br>(92.3%)                                   |
| Base material                 | Si n-type 8 $\text{k}\Omega\text{cm}$                 |                                  |                                                                 |
| Full depletion voltage (FD)   | $\sim 60\text{V}$ (<120V)                             |                                  | 40 V (typ),<br>70 V (max)                                       |
| Polysilicon resistor          | 4 $\text{M}\Omega$ (min.), 10 $\text{M}\Omega$ (typ.) |                                  | 10 $\text{M}\Omega$ (min),<br>15 $\pm 5$ $\text{M}\Omega$ (max) |

Specifications of the three DSSD types



## Layer 6のDSSD

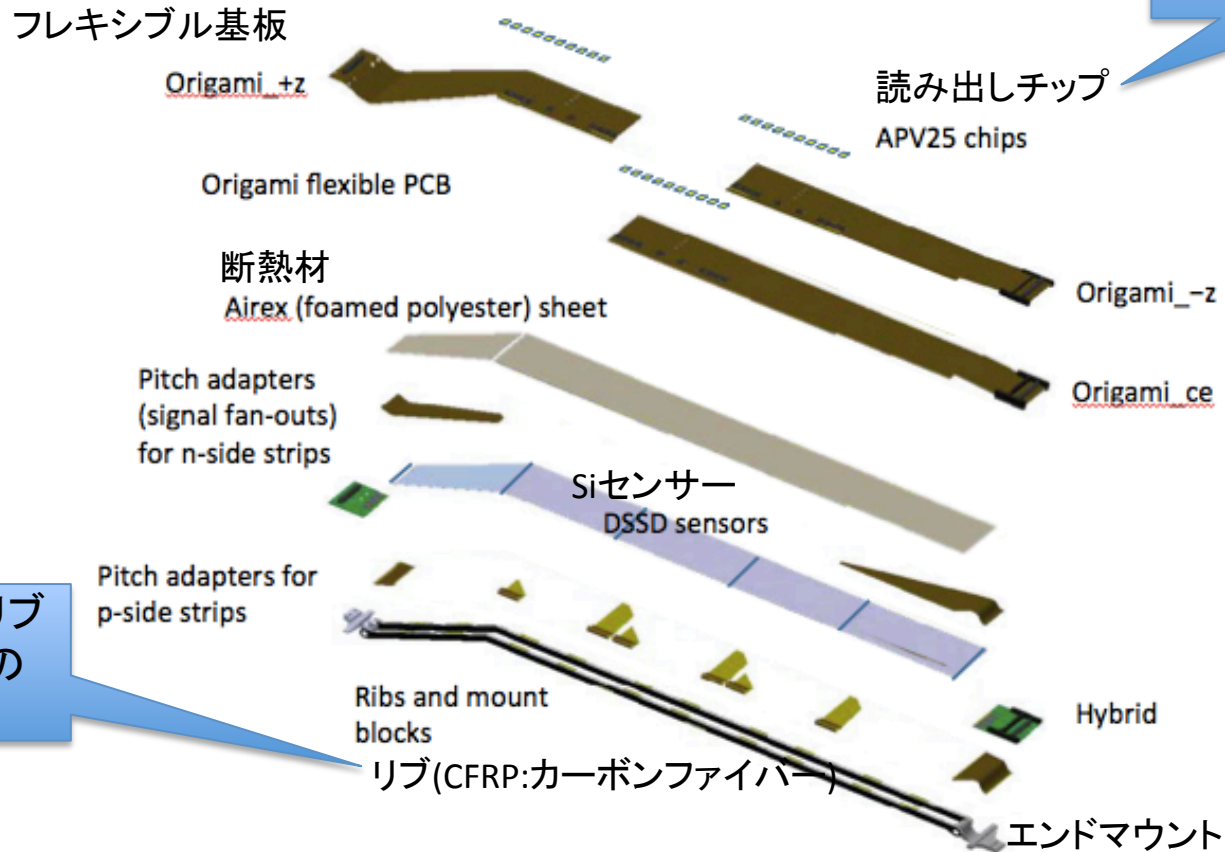
- 長方形DSSD 4枚, 台形DSSD
- 厚み 300 $\mu\text{m}$
- z方向に512本、 $r\phi$ 方向に768本のストリップ
- ピッチはz方向が160-240 $\mu\text{m}$ ,  $r\phi$ 方向が50-75 $\mu\text{m}$



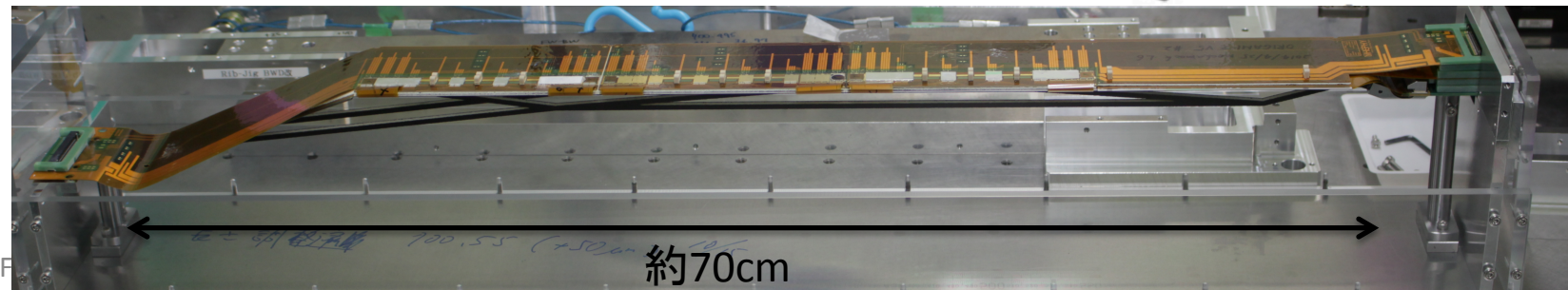
# ラダーの構造

- ラダー

搬送ノイズを軽減するためラダー上に読み出しチップを配置

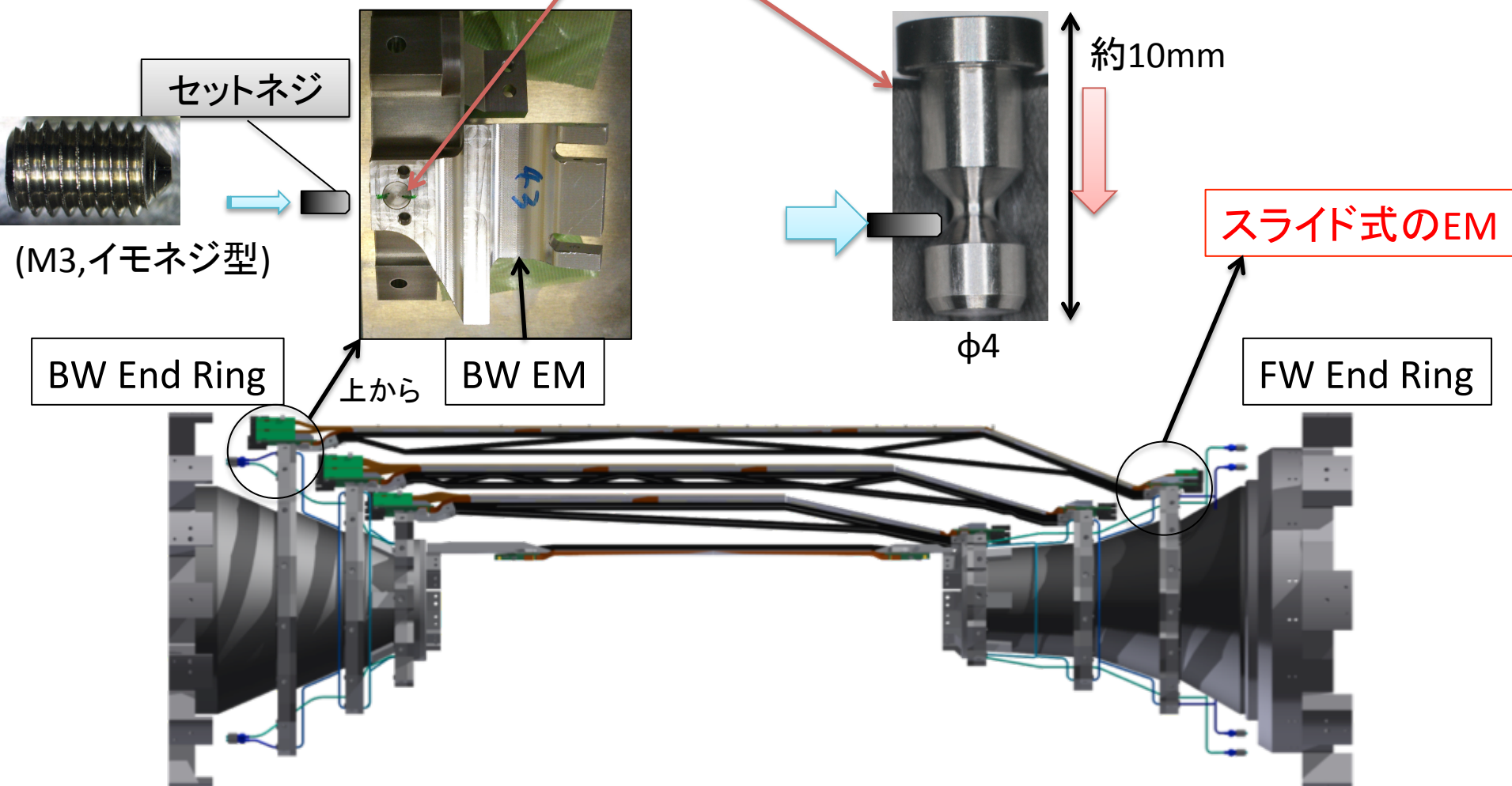


ラダーを支えるリブは熱膨張係数の小さいCFRP



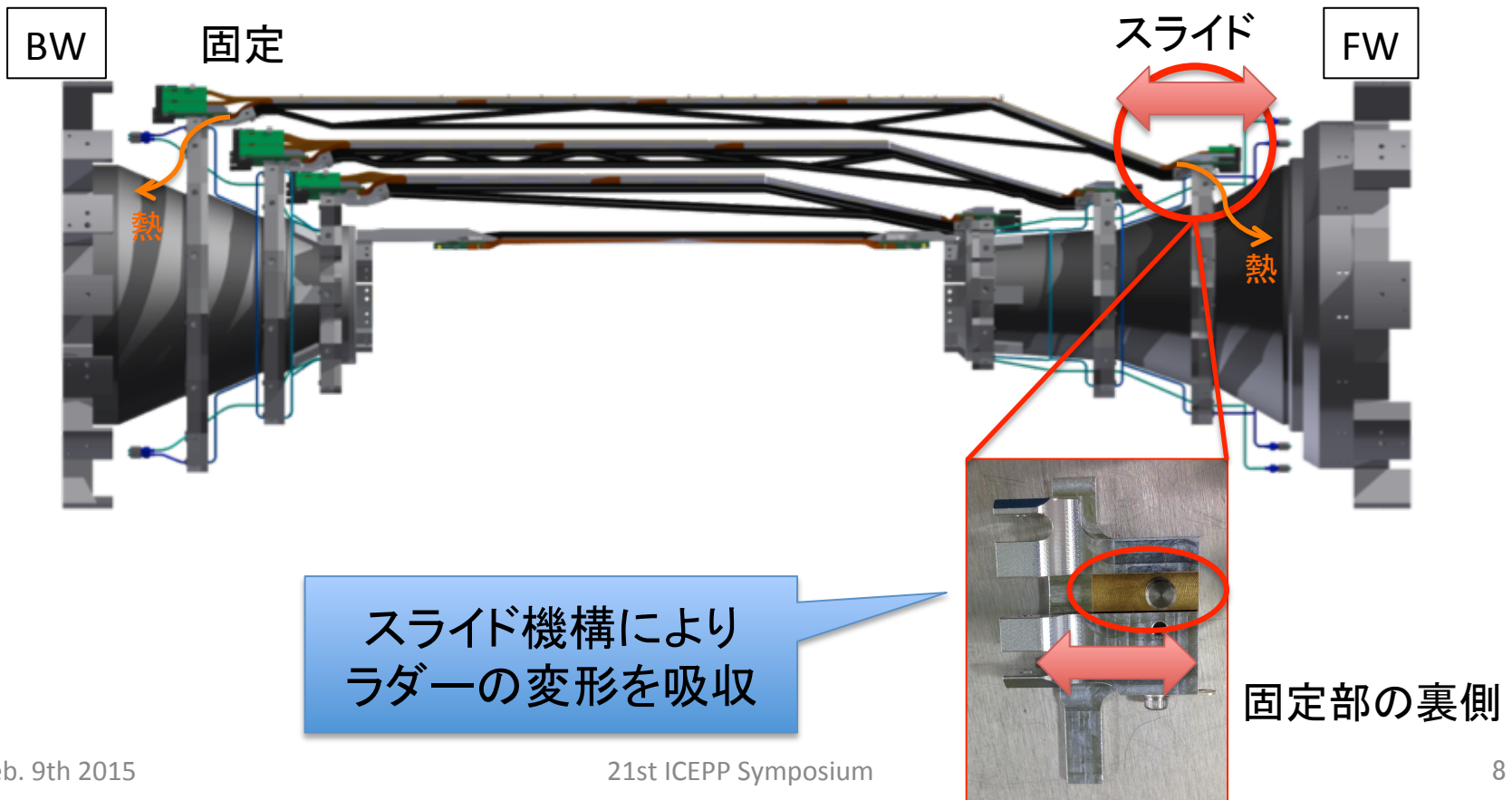
# End Mount によるMount

- EM(End Mount)とKokeshi-pinによりラダー一端をEnd ringに固定
- Kokeshi-pinをセットネジで固定(ネジを締めるほど下に押される)



# スライド機構

- 固定部の一端はスライド機構が備えられている
  - 熱膨張・収縮によるラダーの変形を緩和する目的
    - End Mountを通してEnd ringに熱を逃がしたい→スライド部の負荷大きくしたい
- VS
- ラダーの変形を防ぎたい→スライド部分の負荷を弱くしたい





# スライド機構

「ラダーの変形を防ぐためにスライド部分の負荷をできるだけ弱くしたい」

V.S.

「熱伝導の確保からスライド部分の負荷を出来るだけ強くしたい」



130gWでスライドする負荷が熱伝導の観点から許容範囲



しかし...変形を防ぐのに130gWが十分かどうかは証明されていない！！



ラダー端にどのくらいの力がかかると

ラダー端がどれだけ変位して  
ラダーがどのように変形するか

を調べる必要がある。



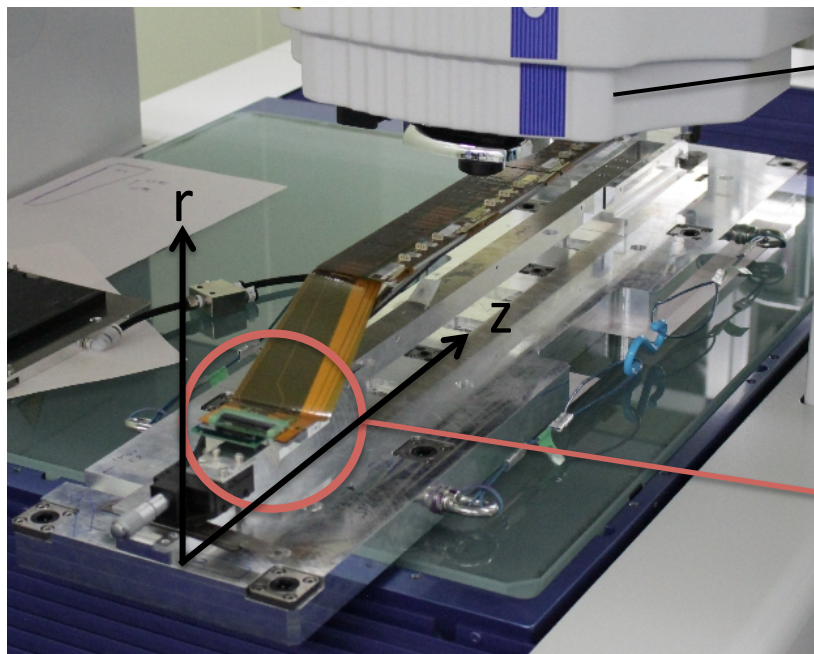
# ラダー端の変位と変形の測定

- スライド機構の働きが十分か検証するための測定
  - スライド部の変位に対してどのようにラダーが変形するか

## 測定方法

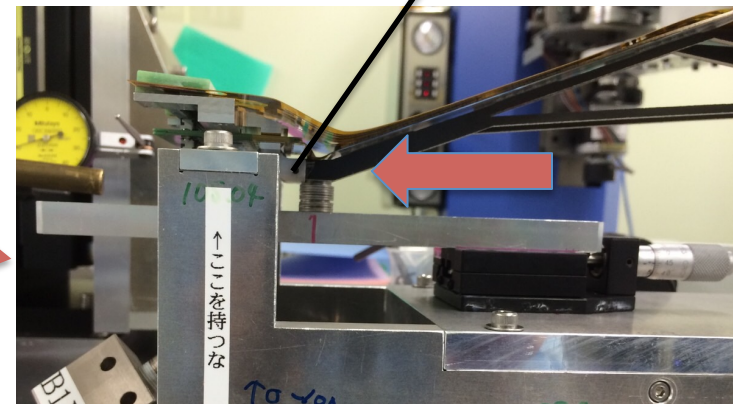


- ラダー端のエンドマウントを内側からマイクロメータで $20\mu\text{m}$ ずつ( $200\mu\text{m}$ まで)押す
- 4枚のSiセンサーのそれぞれ四隅の座標( $z, r$ )を測定



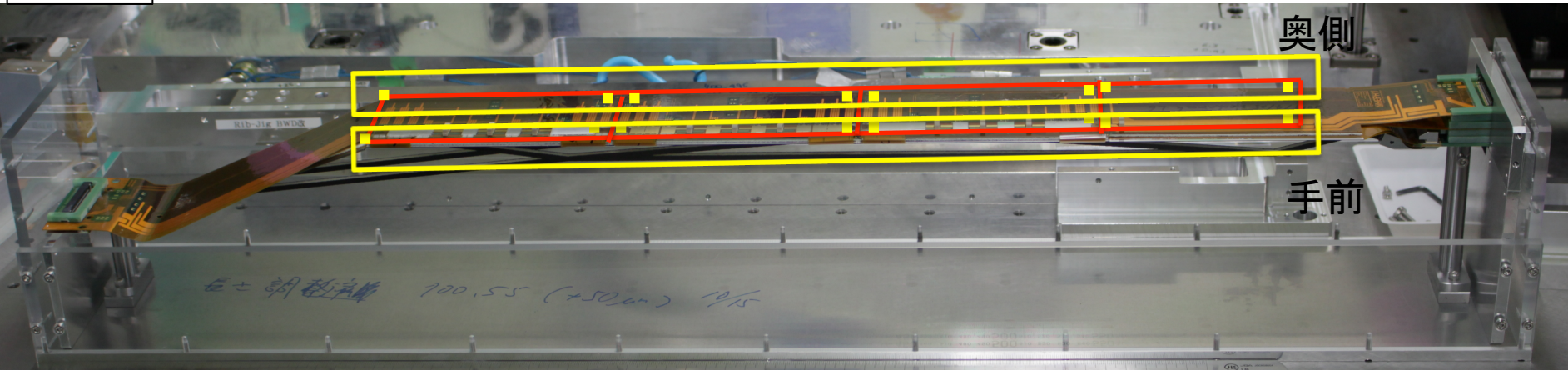
三次元座標測定器  
( $> \text{数}\mu\text{m}$ )

エンドマウント



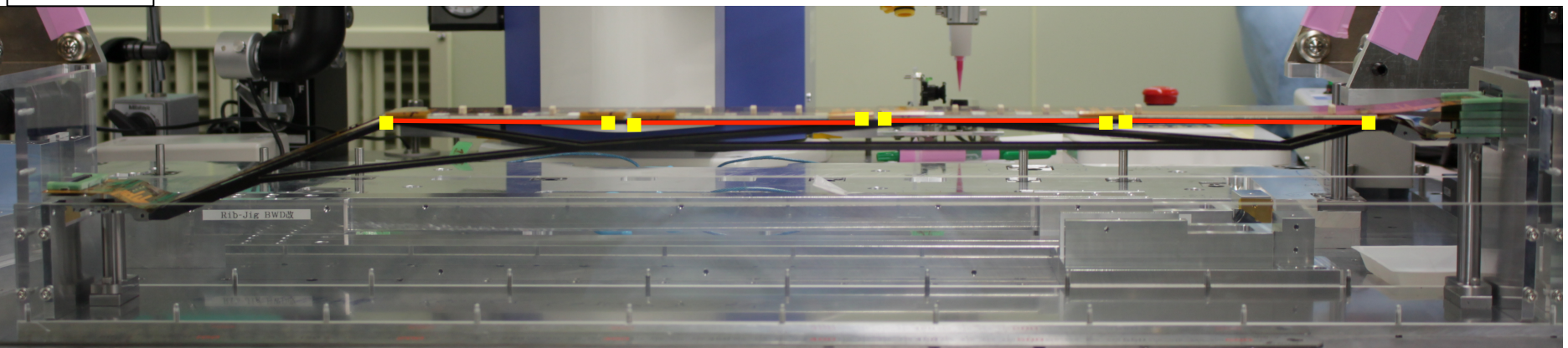
# ラダー端の変位と変形の測定

上から



横から

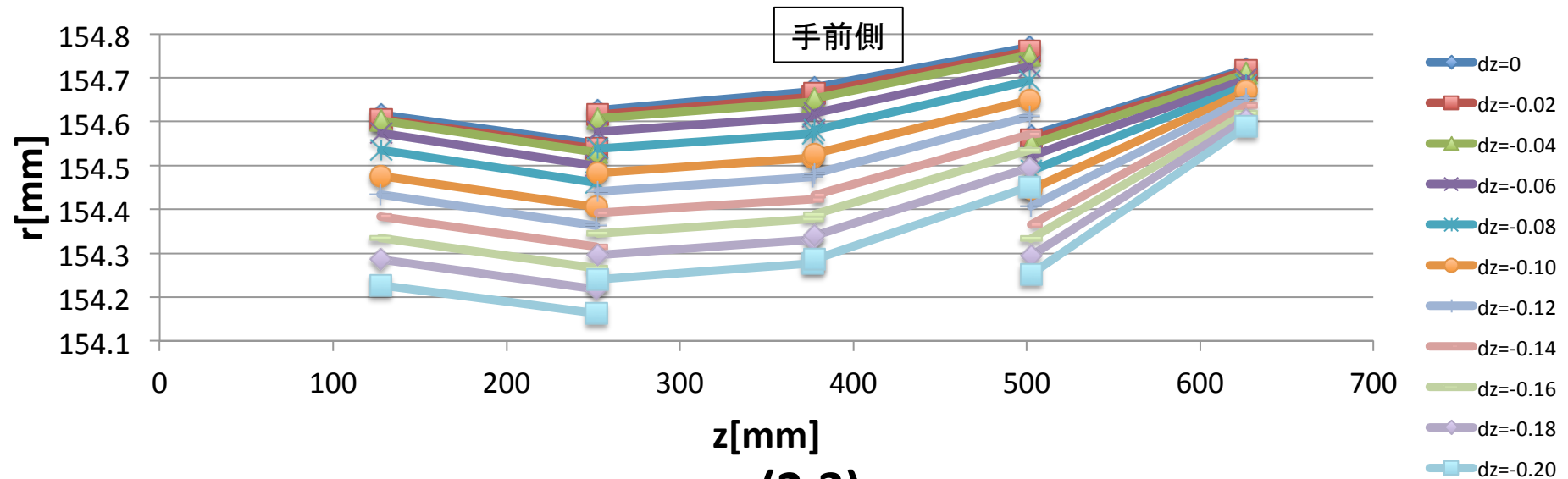
手前のラインと奥側のラインに分けて結果を表示する



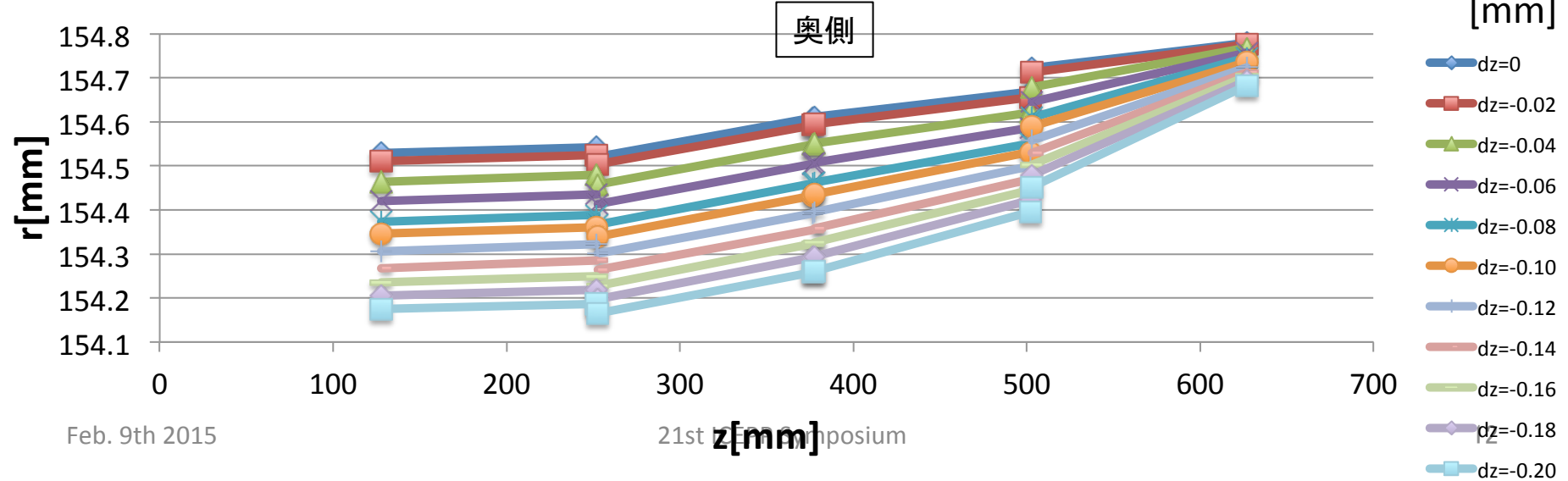
# 測定結果

横から見たSiセンサー位置の変位の様子

$z-r(1,4)$



$z-r(2,3)$

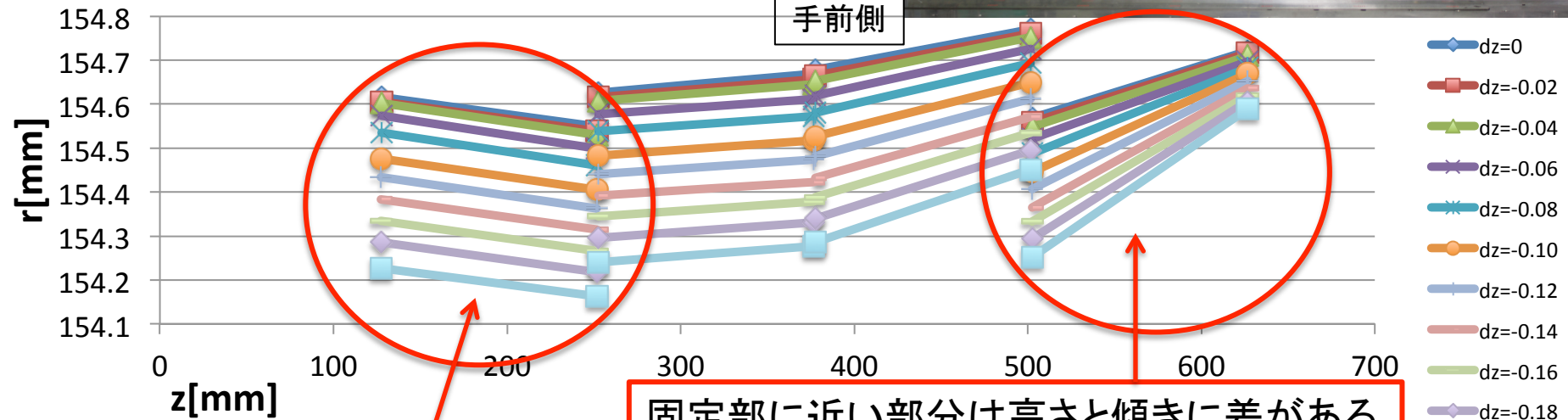
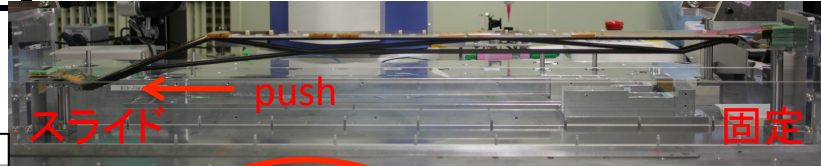




# 測定結果

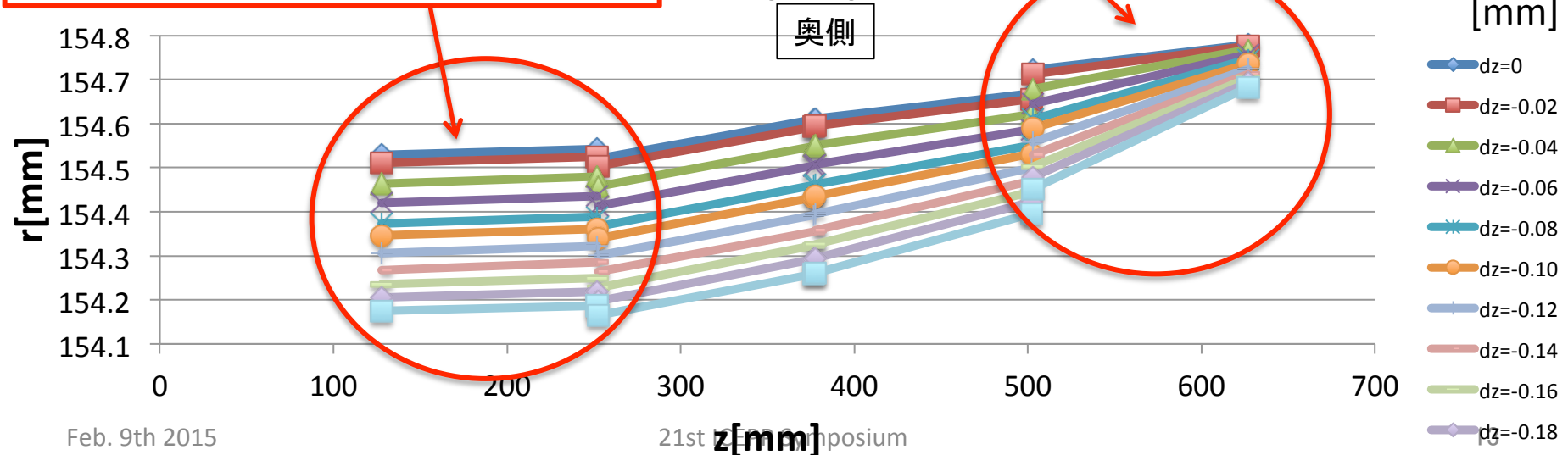
横から見たSiセンサー位置の変位の様子

z-r(1,4)



スライド部に近い部分は平行移動？

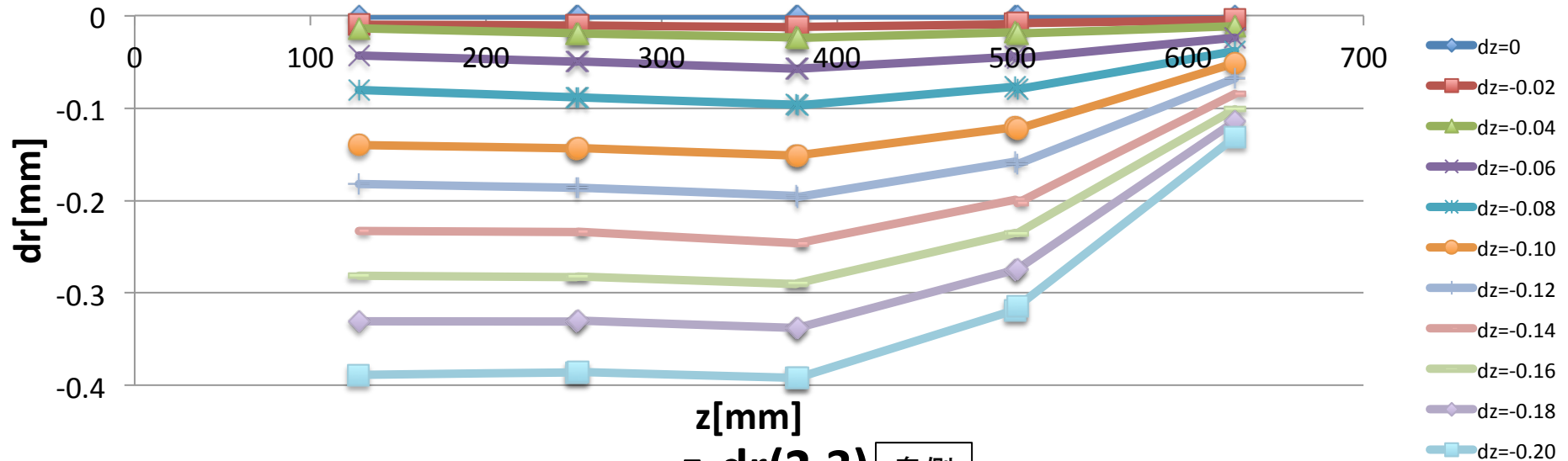
z-r(2,3)



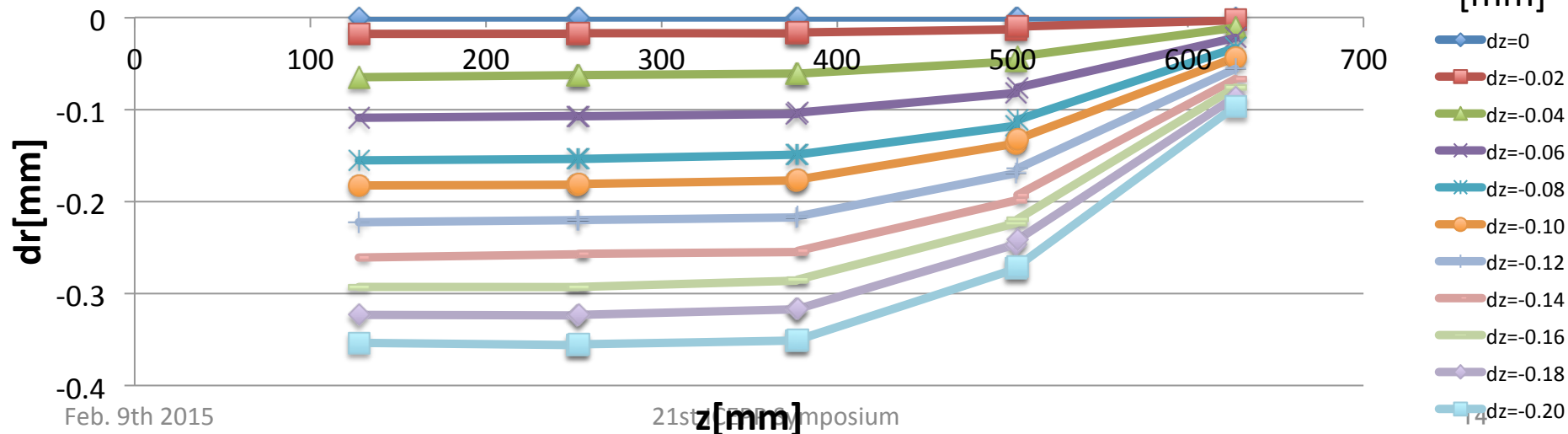
# 測定結果

初期位置からの変位量の推移

$z\text{-}dr(1,4)$  手前側



$z\text{-}dr(2,3)$  奥側

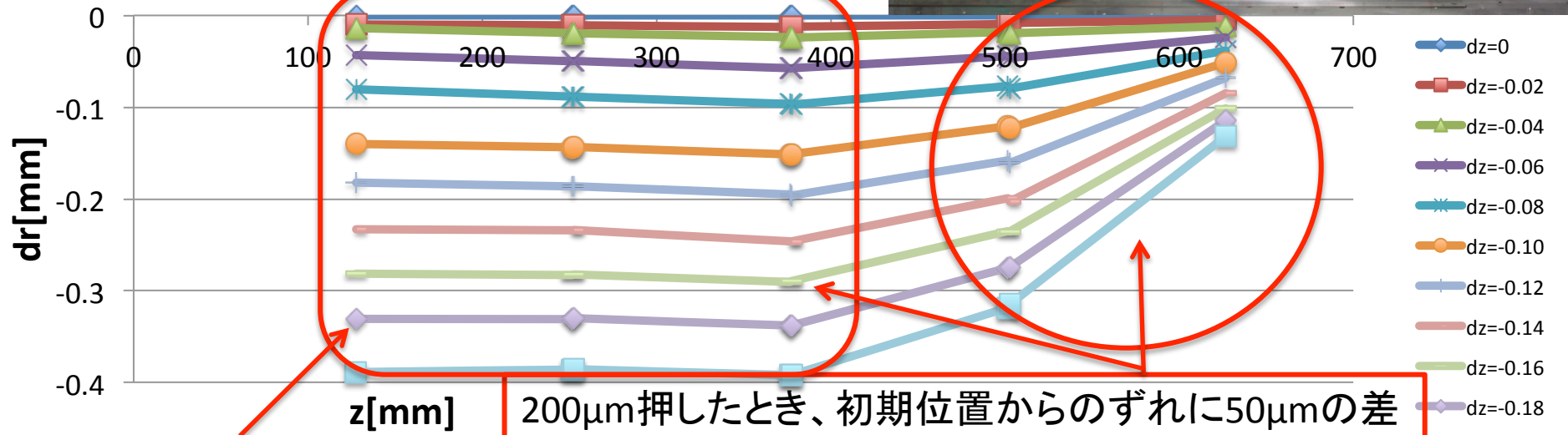
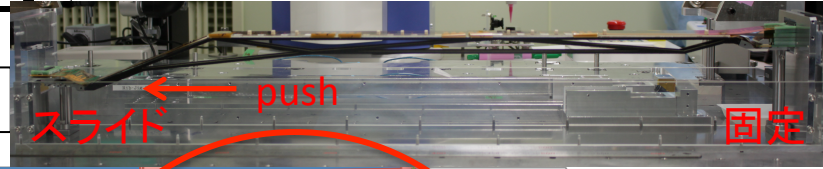




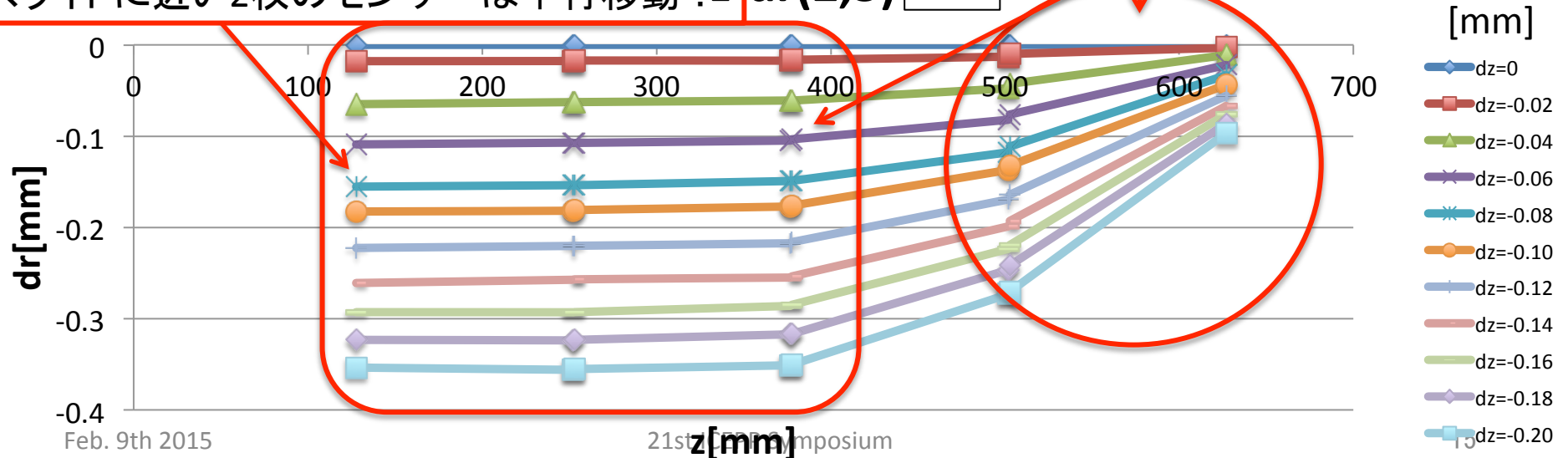
# 測定結果

初期位置からの変位量の推移

$z\text{-}dr(1,4)$  手前側



スライドに近い2枚のセンサーは平行移動?  $z\text{-}dr(2,3)$  奥側



# 結果のまとめ

- スライド部に近いセンサー2枚はほぼ平行移動。
- 固定部に近いセンサー2枚は線形的に傾きが増加。
- 変位 $dz=0\sim0.10$  mmあたりの変形が非線形的。
  - どうやら130gWでのラダー端の変位は $dz=0.02\sim0.05$ mmあたり...
- $200\mu\text{m}$ 押したとき、どのセンサーとも手前側、奥側で $50\mu\text{m}$ の変位量の差があり、変化の仕方がわずかに違う。
  - センサーの初期位置が違うことによる影響？
  - より機械精度の良い(デザイン通りの)ラダーの製作の必要
  - ラダーのデザインがビーム軸に対して左右対称でない(Siセンサーは左右対称だがセンサー上のフレキシブル基板が左右非対称)ことが影響？
  - フレキ基板を貼る前後での変形の比較

# まとめと今後の課題

## まとめ

- ラダー端を20 $\mu$ mずつ押し、それに対するラダーの変形を測定した。
- 今回の測定で変形のおおまかな様子がわかった。(→変位量の非対称性の原因追及、測定回数を増やし変形の様子を関数化)
- 130gWでの変形を考えるための最初のステップを終わらせた。

## 今後の課題

- 130gWではどれだけラダー端が変位し、それが今回の結果からどういった変化を生み出すか
- その変形から、130gWでスライド機構がはたらくことが適切か
- 実際の実験環境での温度変化でどれだけのラダーの変形原因があり得るか(ラダーやエンドリングの熱膨張、接着剤の変形、重力によるラダーの歪み、etc...)

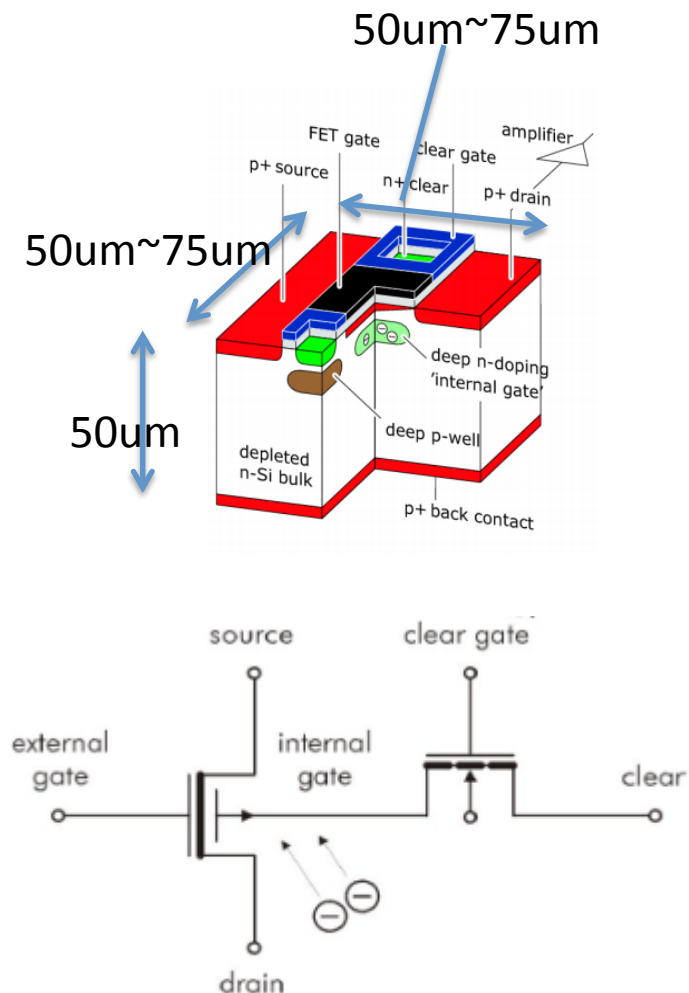
# Back up



# Belle SVDとBelle II SVDの違い

|           | Belle II          | Belle  |
|-----------|-------------------|--------|
| X-angle   | 83mrad            | 22mrad |
| Beam Pipe | $r = 10\text{mm}$ | 15mm   |
| DEPFET    |                   |        |
|           | Layer 1r = 14mm   |        |
|           | Layer 2r = 22mm   |        |
| DSSD      |                   |        |
|           | Layer 3r = 38mm   | 20mm   |
|           | Layer 4r = 80mm   | 43.5mm |
|           | Layer 5r = 104mm  | 70mm   |
|           | Layer 6r = 135mm  | 88mm   |

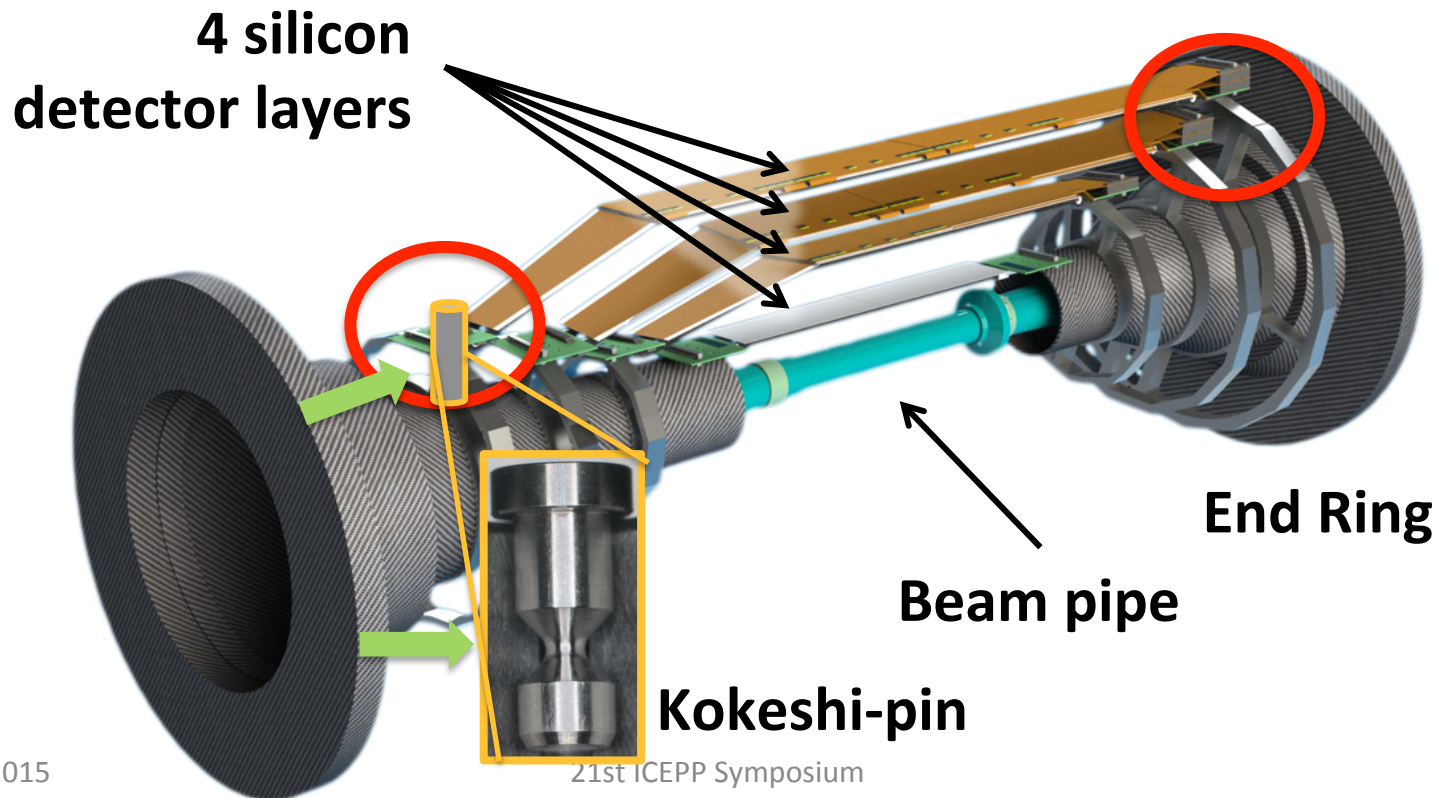
# PXDとは



- PXDはDEPFET (=Depleted Field Effect Transistor)と言われる半導体素子を採用している。空乏層で励起された電荷をそのままトランジスタで増幅するような構造をしている。
- 外部のゲート (external gate) をONにすると、内部のゲート (internal gate) に蓄えられた電化に比例する電流が流れる。このQ-I変換率がゲインに対応し、その値は $\sim 0.5\text{nA/e}$
- 内部に蓄えられた電荷は、クリアー用のFETによってdischargeされる。

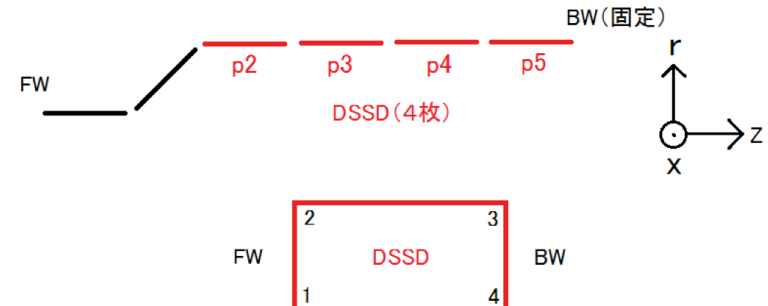
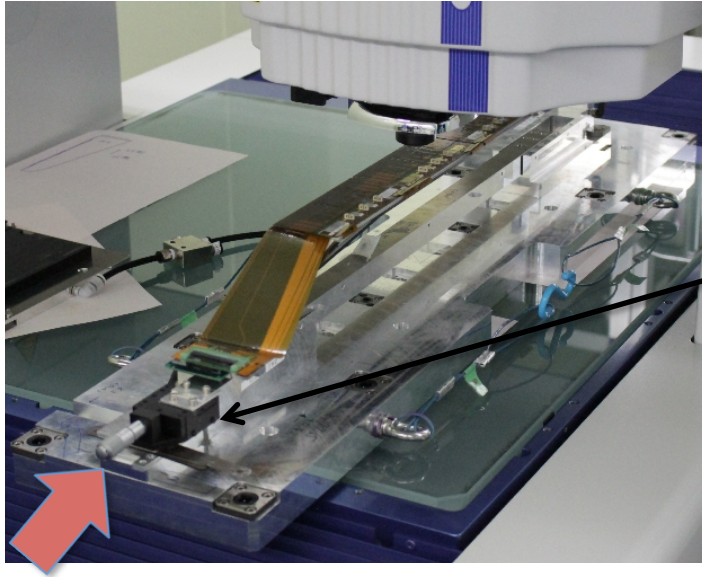
# SVDラダーのマウント

- 作成した各ラダーの端をEnd ringにマウント
- End Mount(ラダーの端の固定部)をKokeshi-pinとセットネジで固定

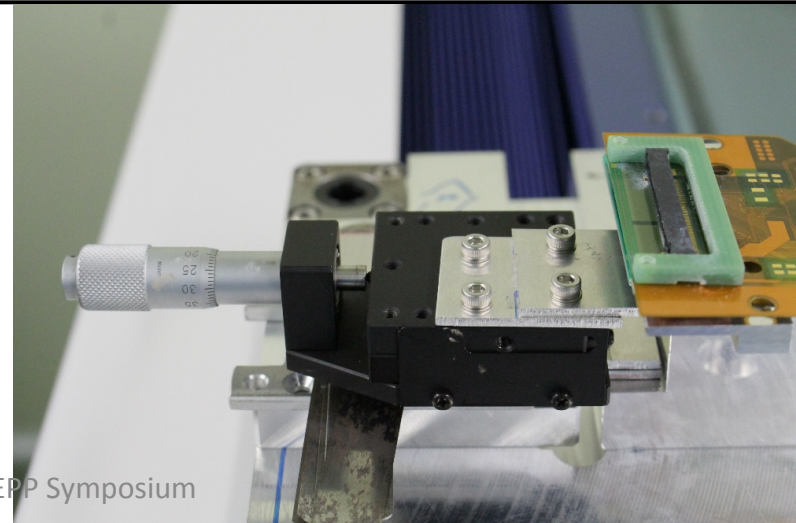
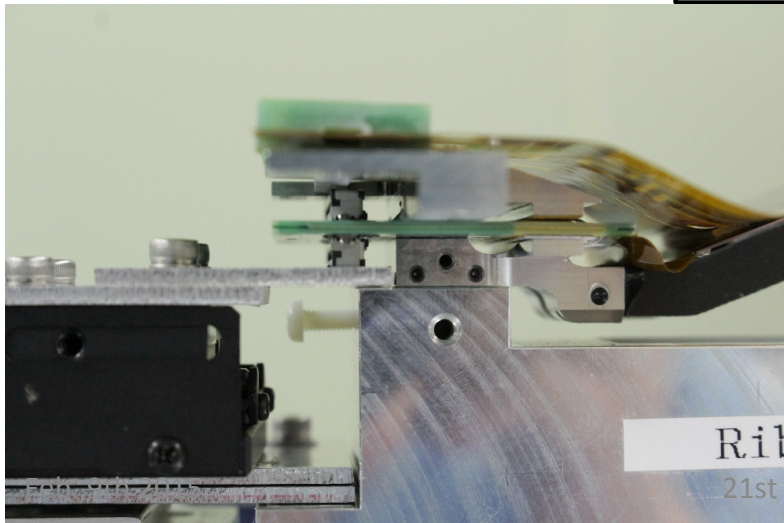


# ラダー端の変位とラダーの変形

## 測定方法



- ① ラダー端を押す
  - $20\mu\text{m}$ ずつ
  - $dz$ と定義
- ② DSSD (2~5) のFマークを測定
  - CMMで測定(原点はCMM座標原点)
  - $\text{CMM}(x, y, z) \rightarrow (x, z, r)$
  - $dr$ 、 $dx$ はそれぞれ $dz=0$ のときの $r, x$ のからの変位



Rib

21st ICEPP Symposium