

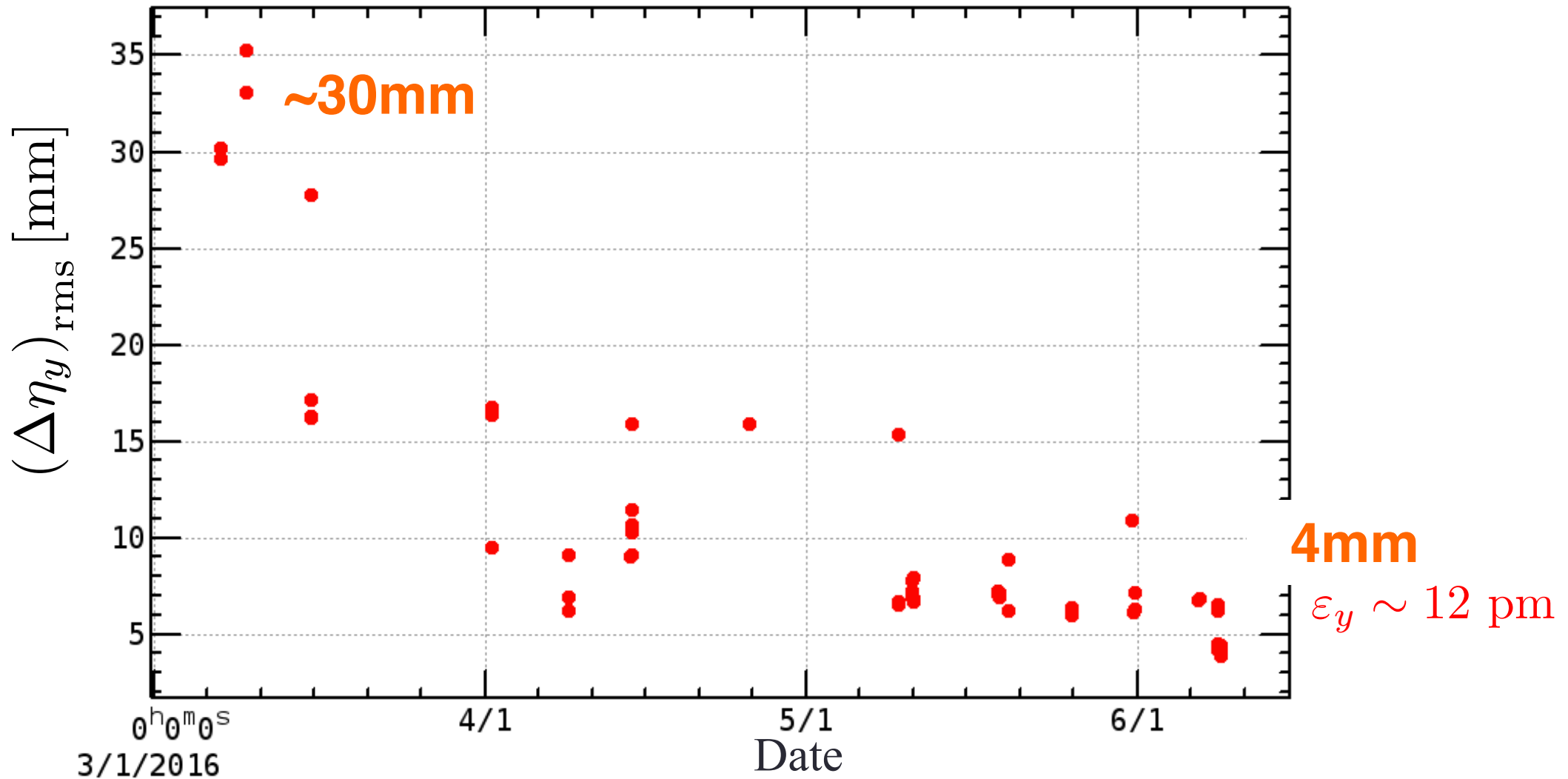
# Optics Correction and Low Emittance Tuning

---

Hiroshi Sugimoto

for SuperKEKB Optics&Commissioning Group

## History of residual vertical dispersion (LER)



- Optics correction and hardware calibration are iteratively repeated.
- Some details of optics correction are reported in this talk.

## Establish optics measurement and correction tools

- Optics and orbit servers to control the magnet system.
- Continuous Closed orbit correction
- Tune Changer
- Optics measurement and correction
- Local-bump control
- etc...

## Hardware calibration and bug hunt

- Polarity check of the magnet using beam measurement.
- Check BPM system (e.g. cabling, aging effect)
- Beam based alignment (BBA)
- etc...

## Others

- Check validity of the model lattice and correct the model if needed.

## Low emittance tuning (LET)

**Target vertical emittance is  $< 5\text{-}10$  pm.**

- **Optics measurement with orbit response analysis**
  - Horizontal-vertical (XY) coupling:  
Vertical leakage orbits induced by horizontal kicks.
  - Dispersion:  
Response with RF frequency change.
  - Beta function:  
Orbit response analysis with steering kicks.
- ~60 BPMs (per ring) can be used with turn by turn (TBT) mode.
  - Results are preliminary and not presented this report.



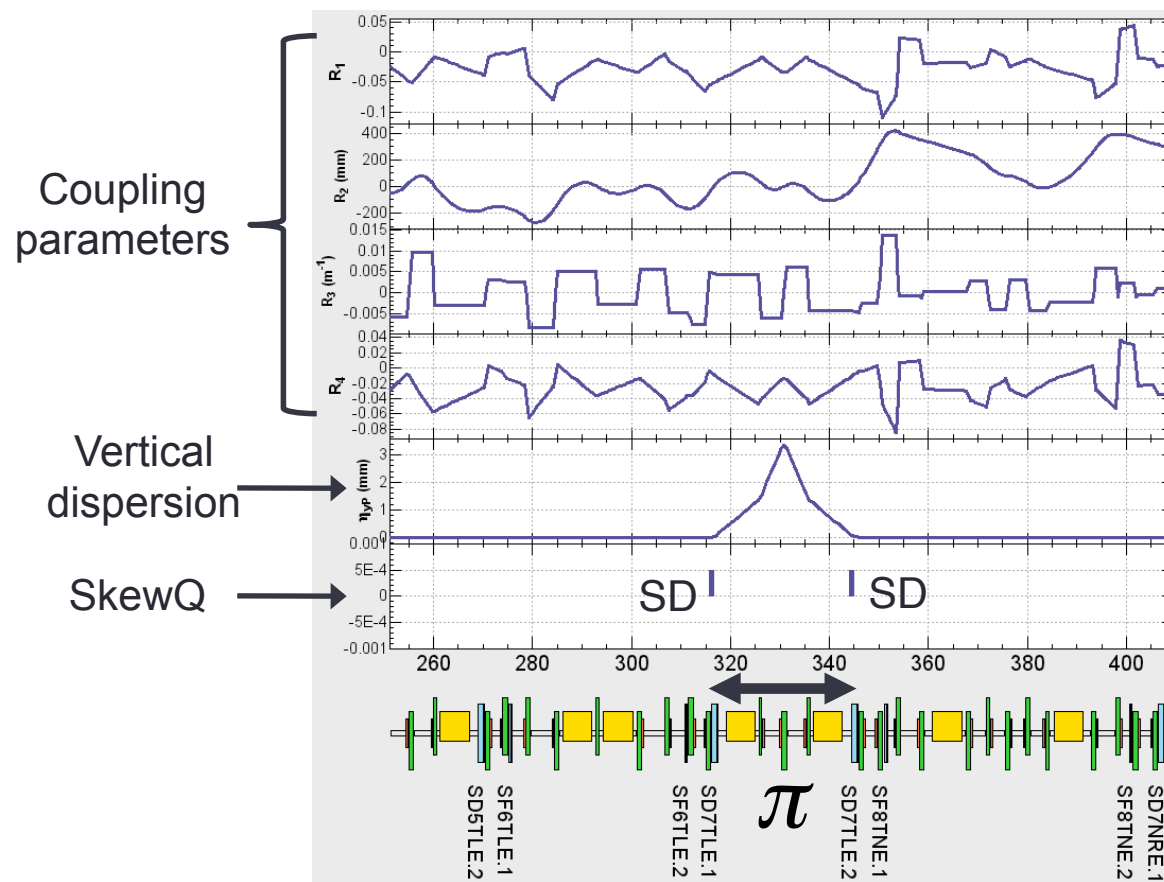
# Orthogonal Correctors

- **Skew quadrupole(SkewQ) coil of sextupole magnet**

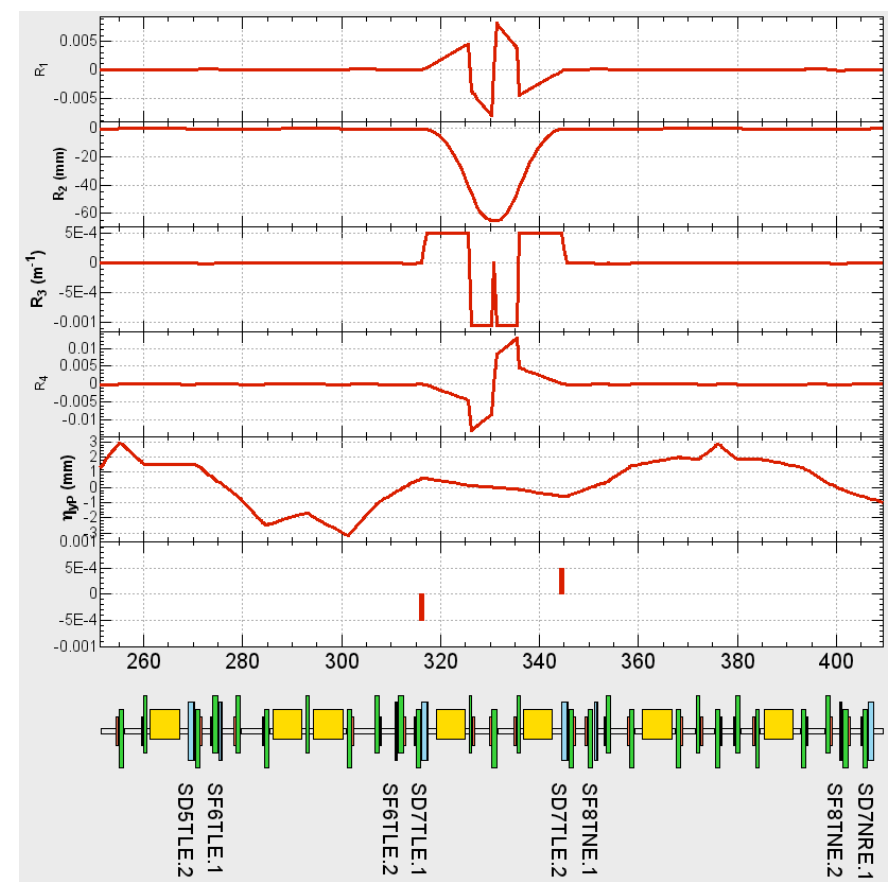
Symmetric / asymmetric excitation of skew-corrector pair can be used as orthogonal correctors for coupling and vertical dispersion.

The orthogonality allows us to reduce size of the problem.

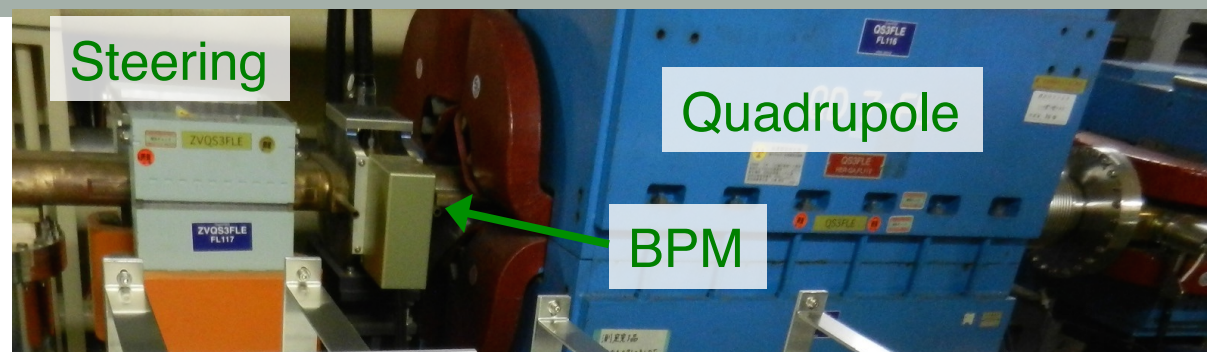
Symmetric Excitation  
(XY-coupling corrector)



Asymmetric Excitation  
(Vertical-dispersion corrector)



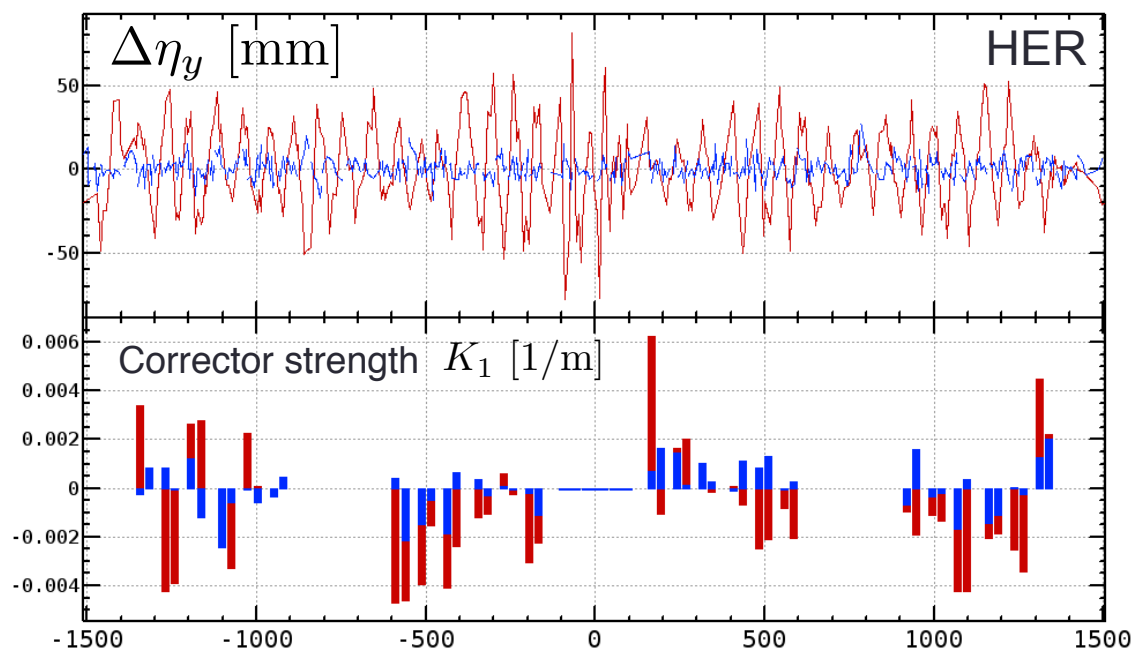
# Beam Based Alignment (BBA)



- All quadrupole magnets have BPM. (~ 450 BPMs per ring)
- Calibrate BPM offset so that the beam passes through the magnetic center of the nearby magnet
- The measurement is carried out in spare moments from vacuum scrubbing.

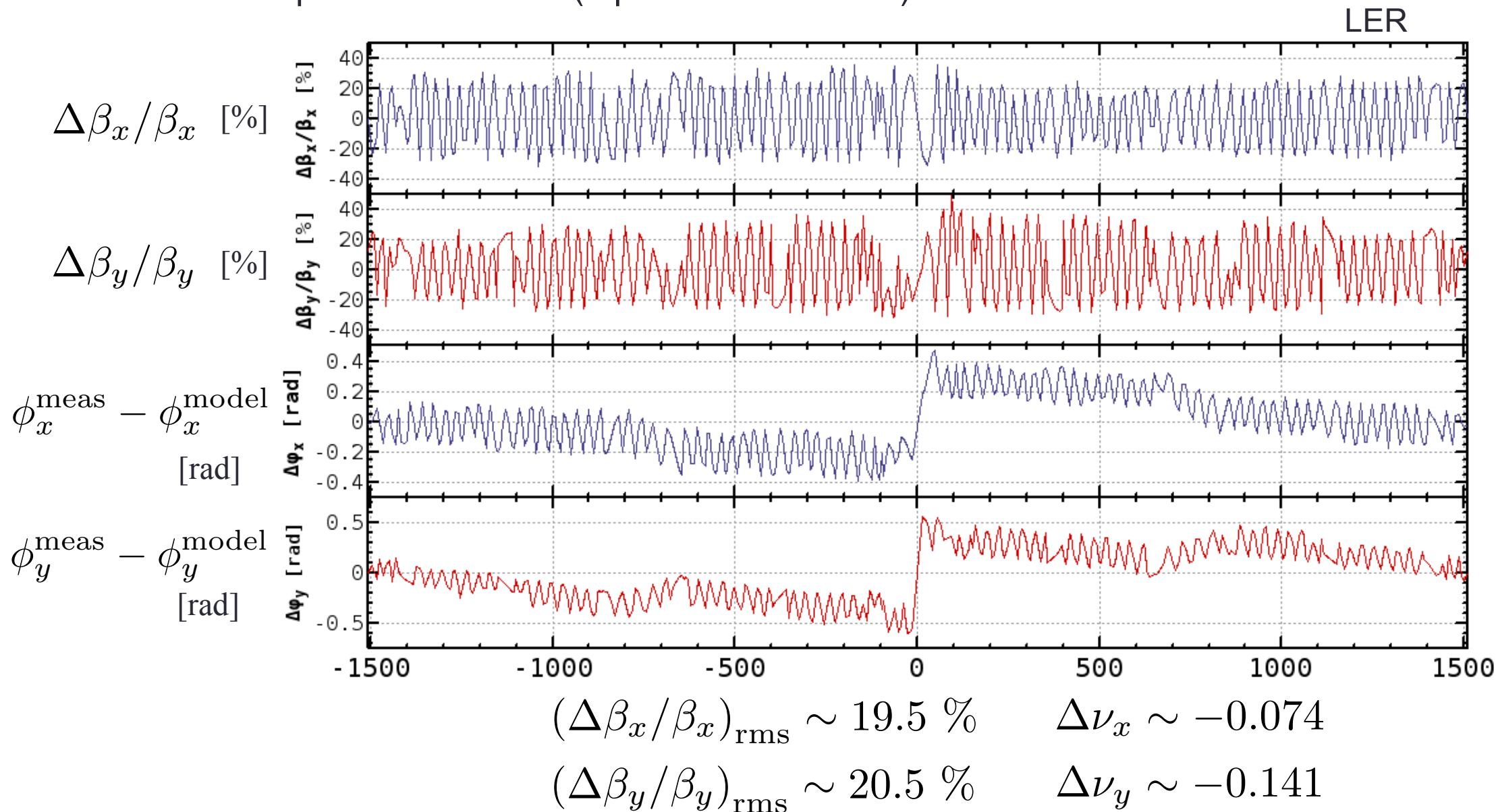
## Benefit from BBA

- **Before BBA:** Hit hardware limit of corrector strength.
- **After BBA:** Required corrector strength is remarkably reduced and allows us to further correction.



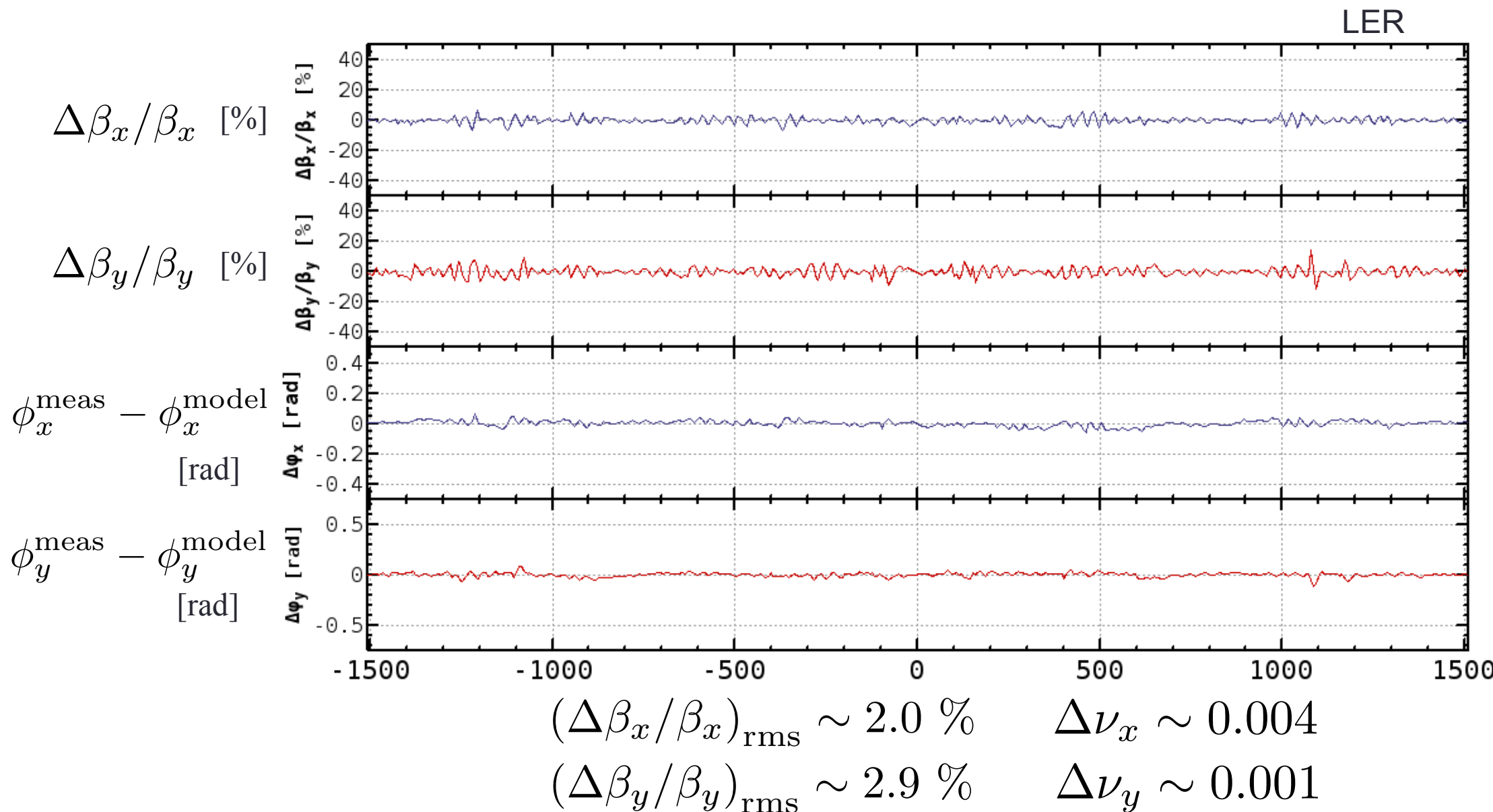
# Beta-Beat before Correction

- Beta and phase functions are extracted from orbit response.  
12 orbit responses are used.(6 per each direction)



# Beta-Beat after Correction

- Use quadrupole families distributed over the ring.



# Horizontal Dispersion

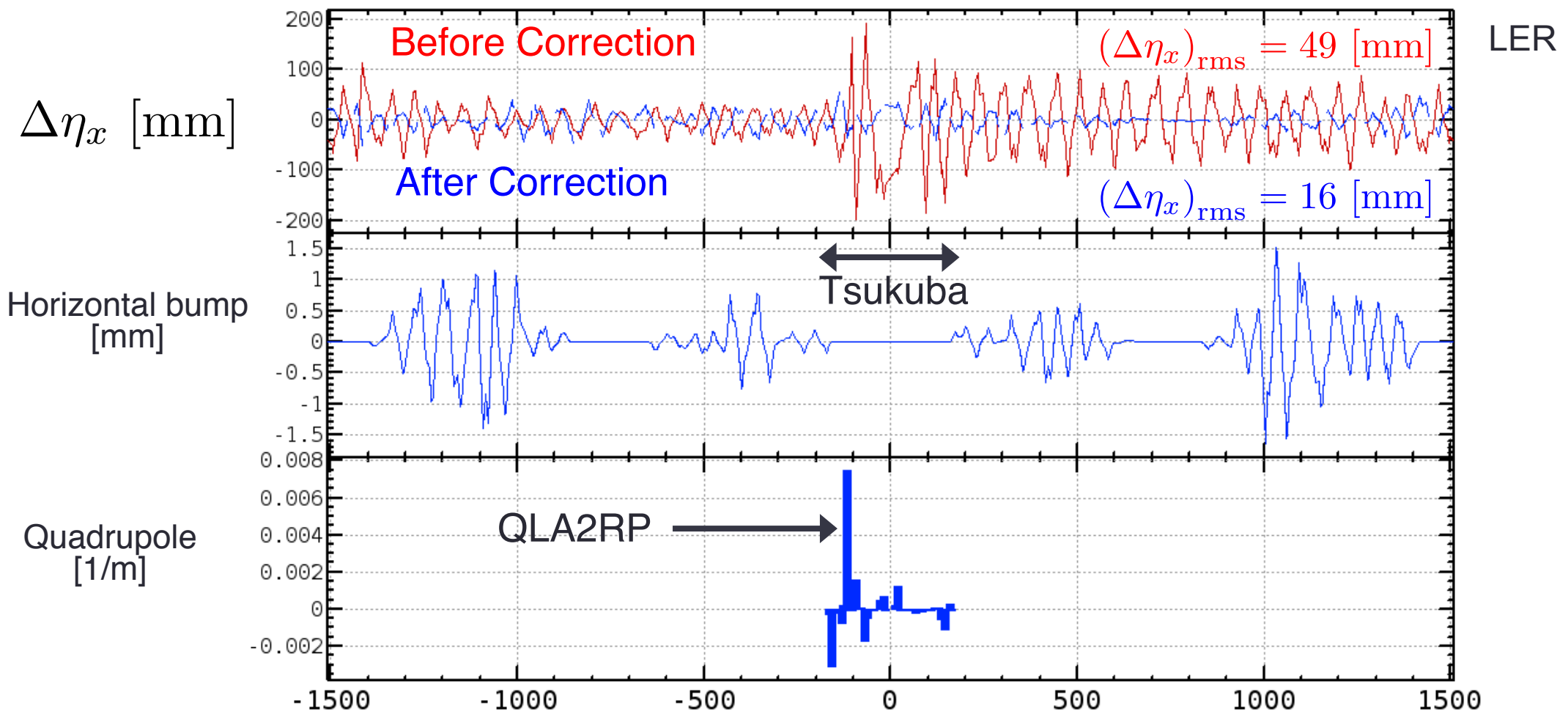
- **Correction with horizontal orbital bumps at sextupoles.**

Found that uncorrectable dispersion remains.

The error source seems to be located in the Tsukuba straight section.

- **Quadrupoles in the Tsukuba section is additionally used.**

A magnet name QLA2RP somehow shows the strongest corrector strength.



# Horizontal Dispersion

- **Correction**

Found that un  
The error sou

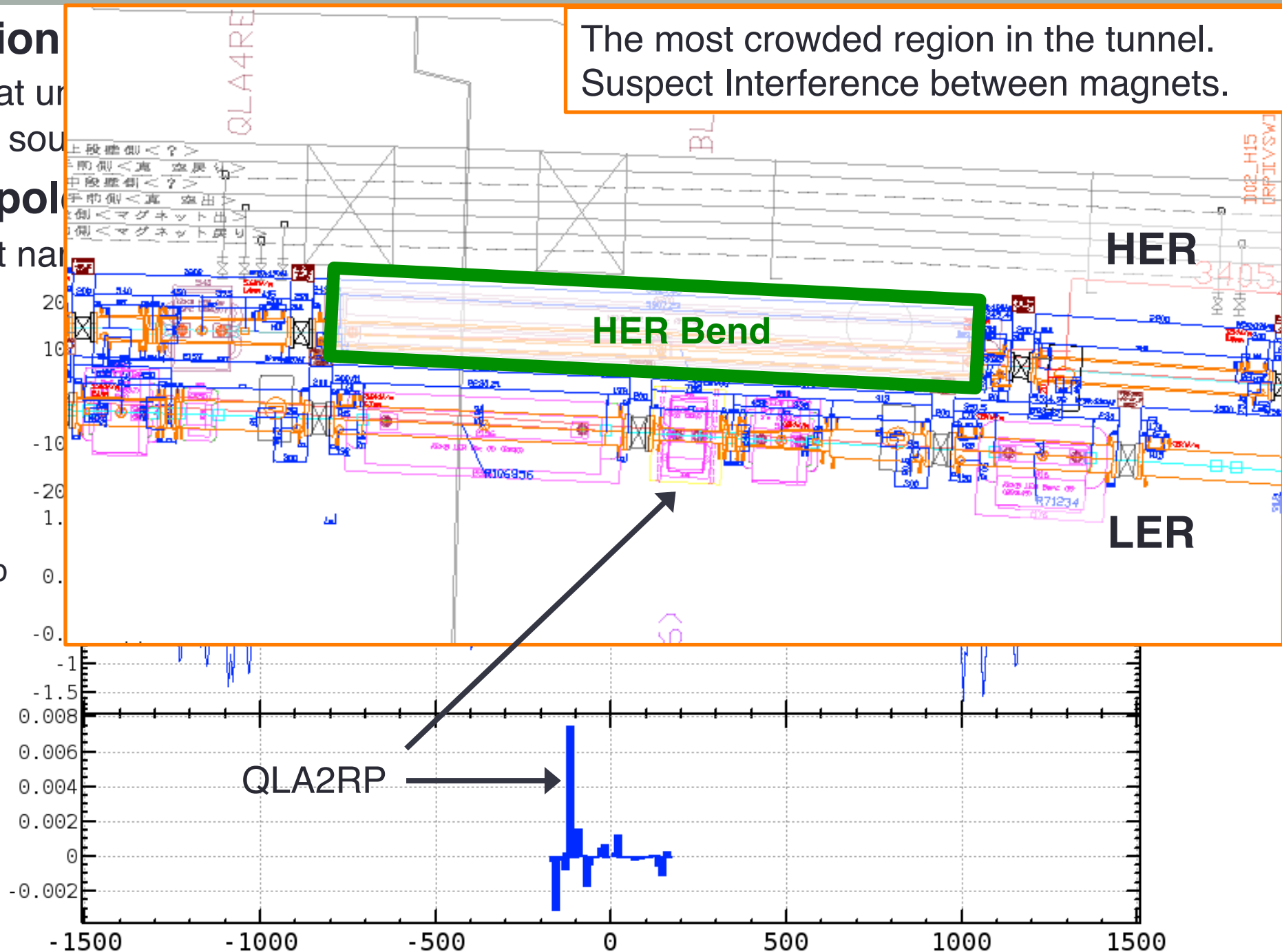
- **Quadrupole**

A magnet na

$\Delta\eta_x$  [mm]

Horizontal bump  
[mm]

Quadrupole  
[1/m]

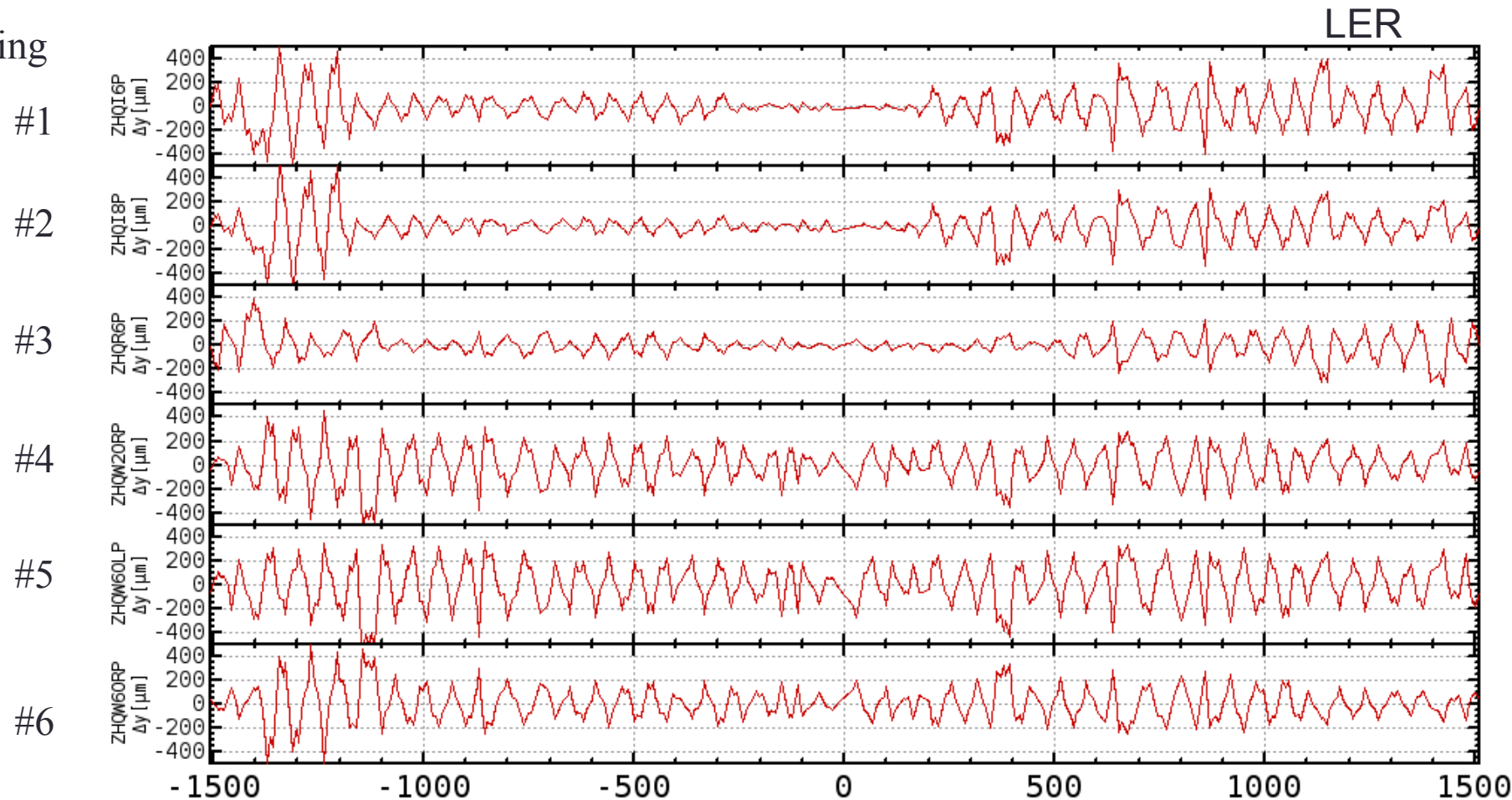




# XY-Coupling Measurement

- Not so easy to extract optical coupling parameters  $R_{1-4}$  from closed orbit response.
- **Measure vertical leakage orbits induced by 6 steering kicks.**

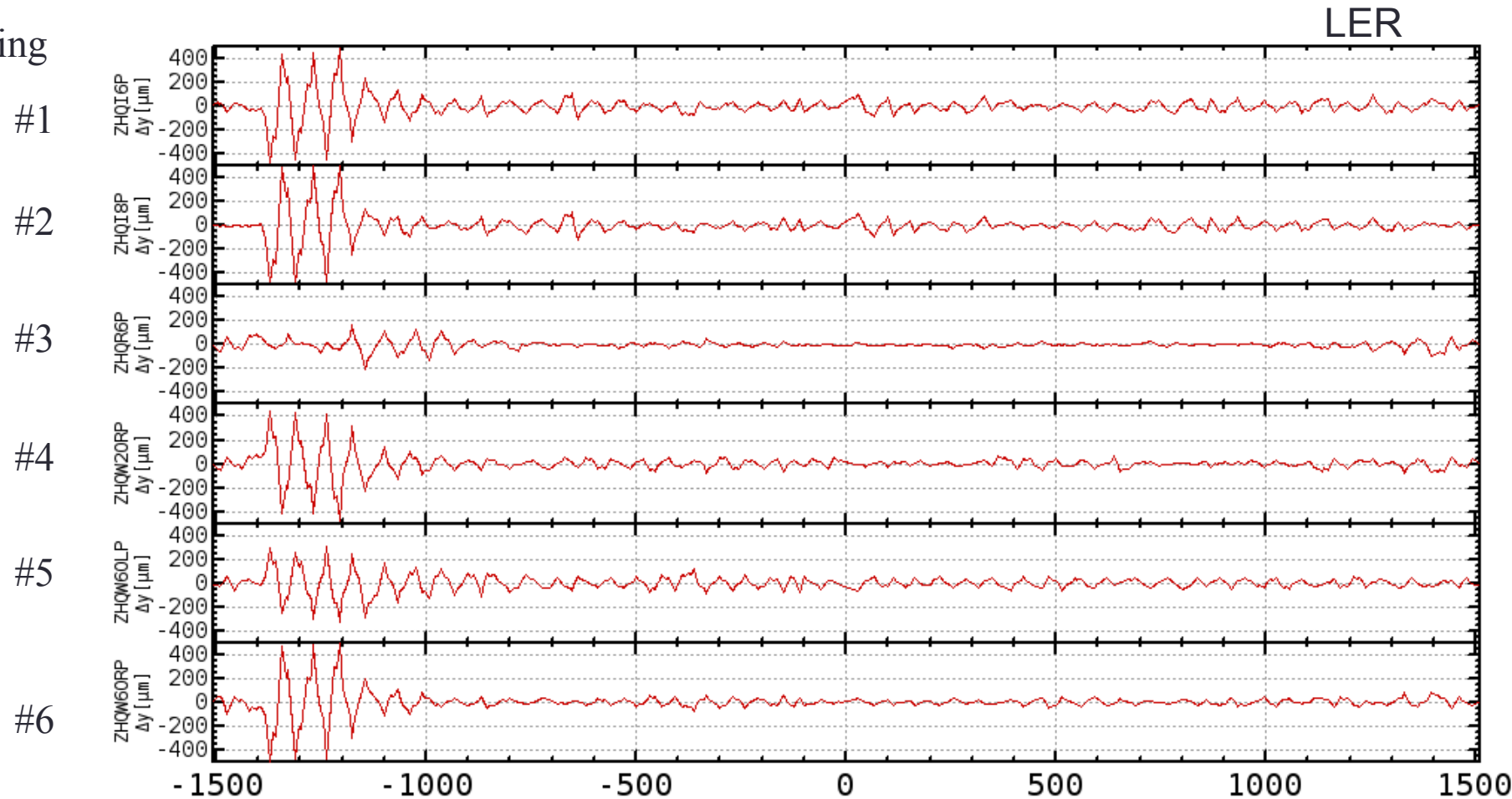
V. orbit by H. steering



# XY-Coupling Correction

- Use the orthogonal correctors.
- The presented correction scheme effectively works, but...

V. orbit by H. steering

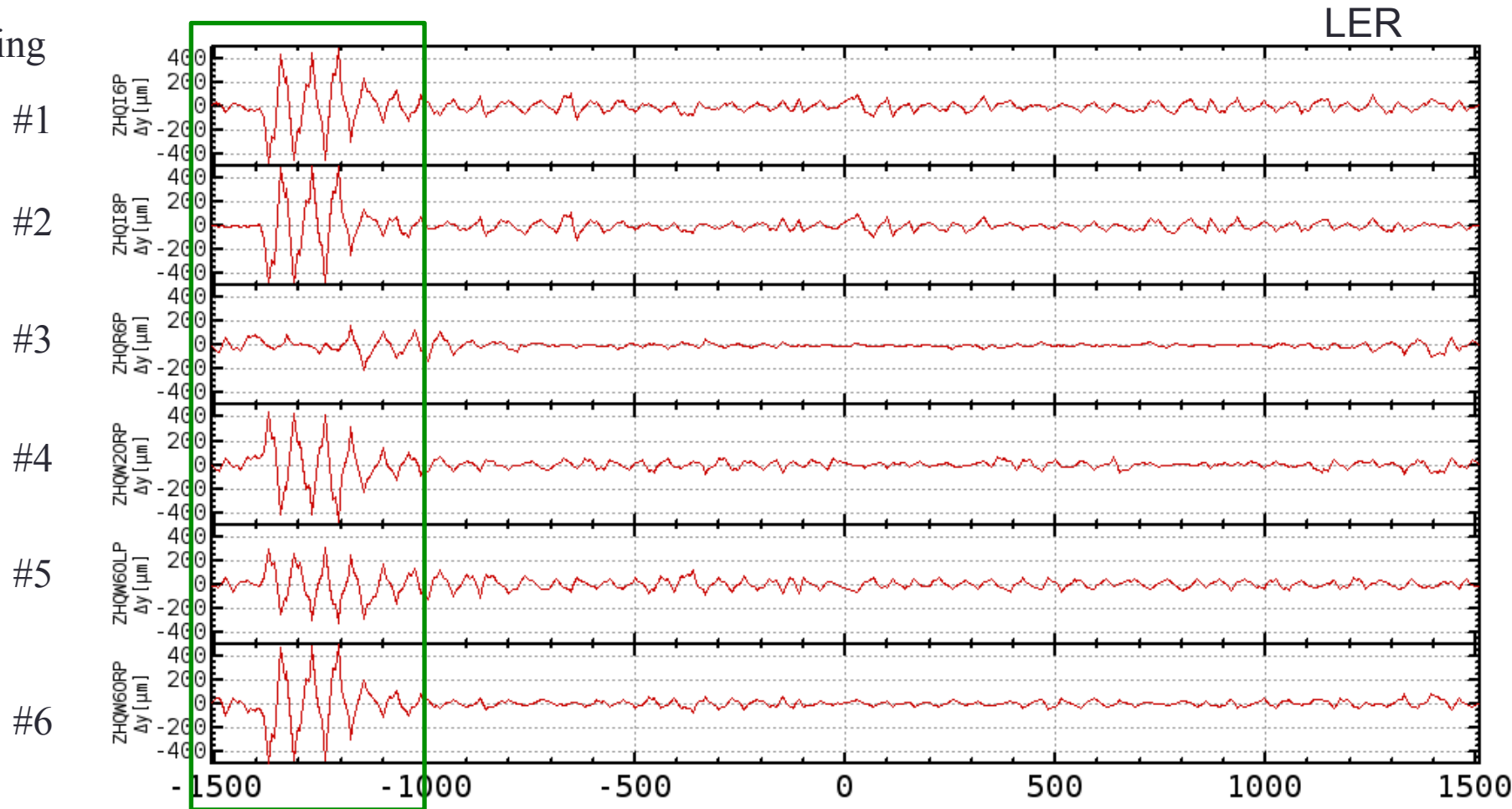




# XY-Coupling Correction

- Use the orthogonal correctors.
- The presented correction scheme effectively works, but...

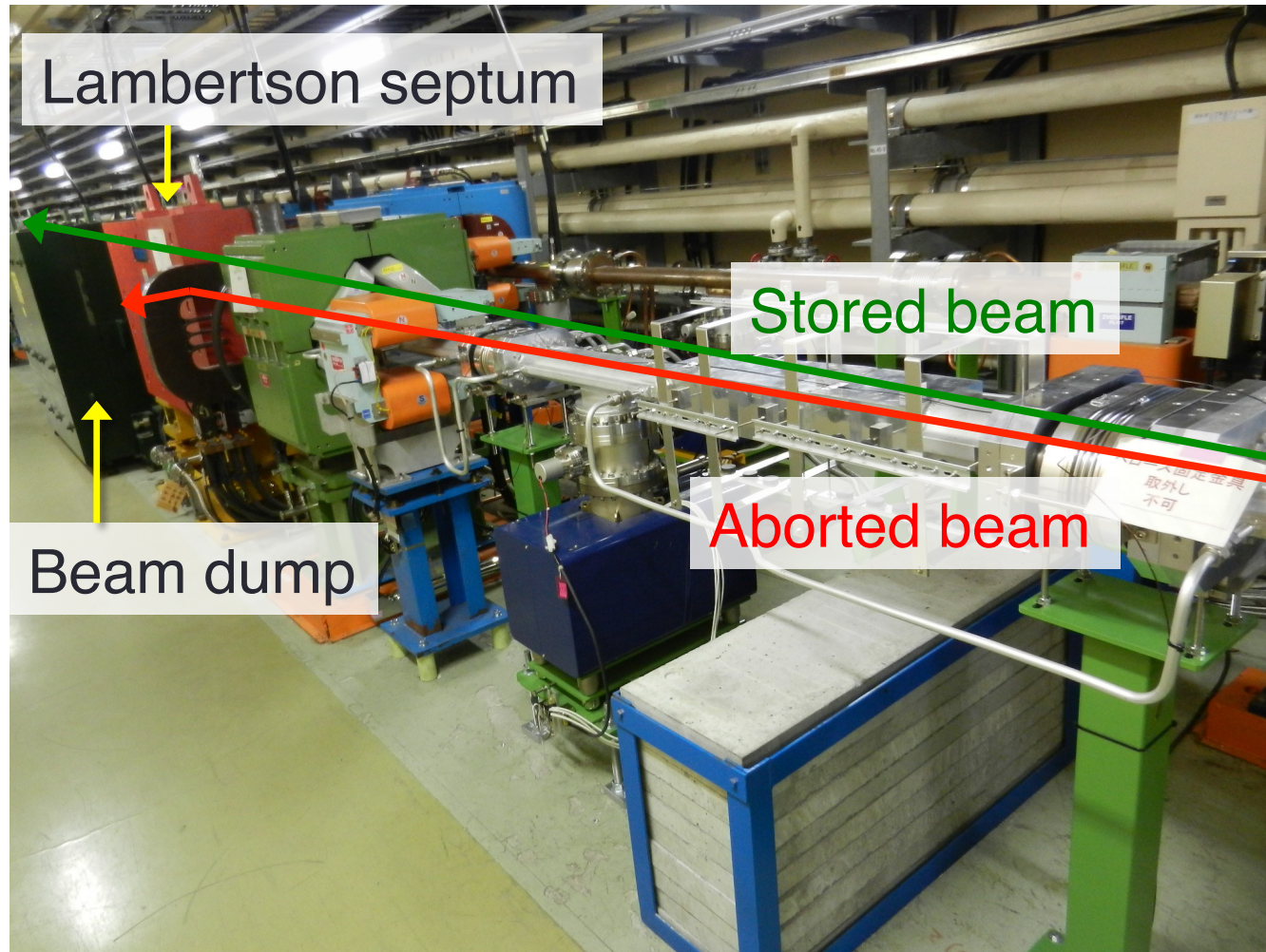
V. orbit by H. steering



**Uncorrectable XY-coupling remains.**

# Leakage Field from Lambertson Septum

- A Lambertson septum is used to deliver aborted beam to a beam dump.
- This magnet creates unexpected leakage field to stored beam line.



# Historical Background

- The problem was founded at the previous KEKB commissioning already.
  - They installed permanent magnets to cure this problem (04/2000)
- The leakage field gets stronger in SuperKEKB.
  - The vacuum chamber is replaced by an anti-chamber.
  - A magnetic shielding system gets less effective due to clearance problem of the wider aperture. —————> Mimashi-san's talk?

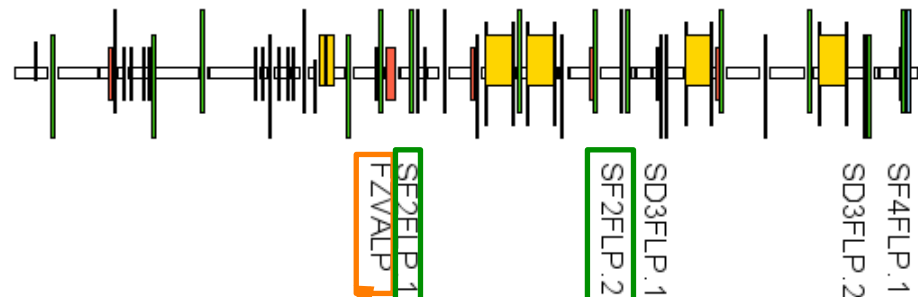
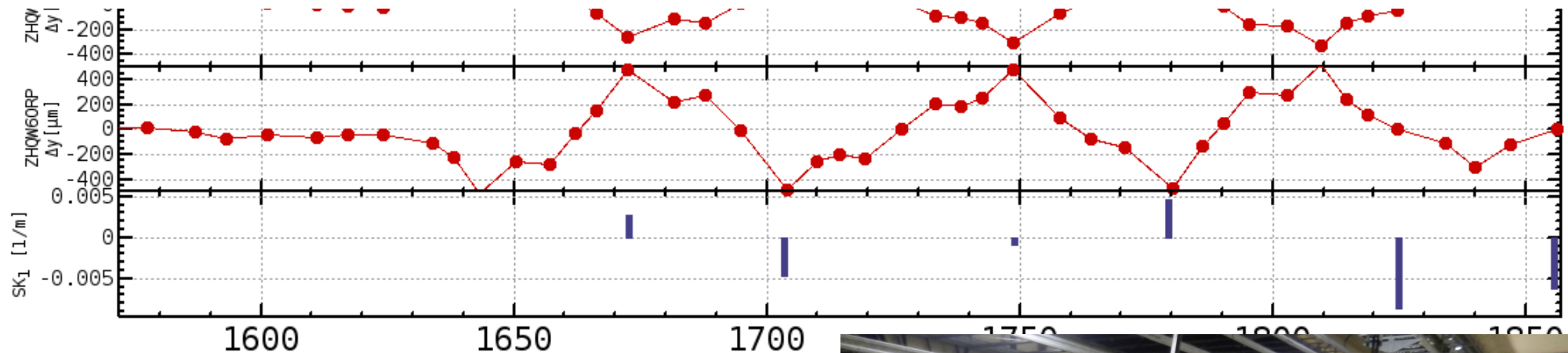
## A note from the previous KEKB commissioning

LER Lamberton Magnet の skew Q 磁場補正  
 作業は 4/13 午前終了。 (多和田、木武、佐藤(原))  
 Lamberton Magnet の上流と下流の 27 所に Permanent magnet を設置した。  
 27 所  
 1. Q51FLP と Q5BFLP 間で 1 所、  
 2. Q52FLP と Q5AP.25 間で 5 所、  
 3. Q53FLP と Q54FLP 間で 1 所、  
 4. Q55FLP と Q56FLP 間で 1 所、  
 5. Q57FLP と Q58FLP 間で 1 所、  
 6. Q59FLP と Q60FLP 間で 1 所、  
 7. Q61FLP と Q62FLP 間で 1 所、  
 8. Q63FLP と Q64FLP 間で 1 所、  
 9. Q65FLP と Q66FLP 間で 1 所、  
 10. Q67FLP と Q68FLP 間で 1 所、  
 11. Q69FLP と Q70FLP 間で 1 所、  
 12. Q71FLP と Q72FLP 間で 1 所、  
 13. Q73FLP と Q74FLP 間で 1 所、  
 14. Q75FLP と Q76FLP 間で 1 所、  
 15. Q77FLP と Q78FLP 間で 1 所、  
 16. Q79FLP と Q80FLP 間で 1 所、  
 17. Q81FLP と Q82FLP 間で 1 所、  
 18. Q83FLP と Q84FLP 間で 1 所、  
 19. Q85FLP と Q86FLP 間で 1 所、  
 20. Q87FLP と Q88FLP 間で 1 所、  
 21. Q89FLP と Q90FLP 間で 1 所、  
 22. Q91FLP と Q92FLP 間で 1 所、  
 23. Q93FLP と Q94FLP 間で 1 所、  
 24. Q95FLP と Q96FLP 間で 1 所、  
 25. Q97FLP と Q98FLP 間で 1 所、  
 26. Q99FLP と Q100FLP 間で 1 所、  
 27. Q101FLP と Q102FLP 間で 1 所、  
 28. Q103FLP と Q104FLP 間で 1 所、  
 29. Q105FLP と Q106FLP 間で 1 所、  
 30. Q107FLP と Q108FLP 間で 1 所、  
 31. Q109FLP と Q110FLP 間で 1 所、  
 32. Q111FLP と Q112FLP 間で 1 所、  
 33. Q113FLP と Q114FLP 間で 1 所、  
 34. Q115FLP と Q116FLP 間で 1 所、  
 35. Q117FLP と Q118FLP 間で 1 所、  
 36. Q119FLP と Q120FLP 間で 1 所、  
 37. Q121FLP と Q122FLP 間で 1 所、  
 38. Q123FLP と Q124FLP 間で 1 所、  
 39. Q125FLP と Q126FLP 間で 1 所、  
 40. Q127FLP と Q128FLP 間で 1 所、  
 41. Q129FLP と Q130FLP 間で 1 所、  
 42. Q131FLP と Q132FLP 間で 1 所、  
 43. Q133FLP と Q134FLP 間で 1 所、  
 44. Q135FLP と Q136FLP 間で 1 所、  
 45. Q137FLP と Q138FLP 間で 1 所、  
 46. Q139FLP と Q140FLP 間で 1 所、  
 47. Q141FLP と Q142FLP 間で 1 所、  
 48. Q143FLP と Q144FLP 間で 1 所、  
 49. Q145FLP と Q146FLP 間で 1 所、  
 50. Q147FLP と Q148FLP 間で 1 所、  
 51. Q149FLP と Q150FLP 間で 1 所、  
 52. Q151FLP と Q152FLP 間で 1 所、  
 53. Q153FLP と Q154FLP 間で 1 所、  
 54. Q155FLP と Q156FLP 間で 1 所、  
 55. Q157FLP と Q158FLP 間で 1 所、  
 56. Q159FLP と Q160FLP 間で 1 所、  
 57. Q161FLP と Q162FLP 間で 1 所、  
 58. Q163FLP と Q164FLP 間で 1 所、  
 59. Q165FLP と Q166FLP 間で 1 所、  
 60. Q167FLP と Q168FLP 間で 1 所、  
 61. Q169FLP と Q170FLP 間で 1 所、  
 62. Q171FLP と Q172FLP 間で 1 所、  
 63. Q173FLP と Q174FLP 間で 1 所、  
 64. Q175FLP と Q176FLP 間で 1 所、  
 65. Q177FLP と Q178FLP 間で 1 所、  
 66. Q179FLP と Q180FLP 間で 1 所、  
 67. Q181FLP と Q182FLP 間で 1 所、  
 68. Q183FLP と Q184FLP 間で 1 所、  
 69. Q185FLP と Q186FLP 間で 1 所、  
 70. Q187FLP と Q188FLP 間で 1 所、  
 71. Q189FLP と Q190FLP 間で 1 所、  
 72. Q191FLP と Q192FLP 間で 1 所、  
 73. Q193FLP と Q194FLP 間で 1 所、  
 74. Q195FLP と Q196FLP 間で 1 所、  
 75. Q197FLP と Q198FLP 間で 1 所、  
 76. Q199FLP と Q200FLP 間で 1 所、  
 77. Q201FLP と Q202FLP 間で 1 所、  
 78. Q203FLP と Q204FLP 間で 1 所、  
 79. Q205FLP と Q206FLP 間で 1 所、  
 80. Q207FLP と Q208FLP 間で 1 所、  
 81. Q209FLP と Q210FLP 間で 1 所、  
 82. Q211FLP と Q212FLP 間で 1 所、  
 83. Q213FLP と Q214FLP 間で 1 所、  
 84. Q215FLP と Q216FLP 間で 1 所、  
 85. Q217FLP と Q218FLP 間で 1 所、  
 86. Q219FLP と Q220FLP 間で 1 所、  
 87. Q221FLP と Q222FLP 間で 1 所、  
 88. Q223FLP と Q224FLP 間で 1 所、  
 89. Q225FLP と Q226FLP 間で 1 所、  
 90. Q227FLP と Q228FLP 間で 1 所、  
 91. Q229FLP と Q230FLP 間で 1 所、  
 92. Q231FLP と Q232FLP 間で 1 所、  
 93. Q233FLP と Q234FLP 間で 1 所、  
 94. Q235FLP と Q236FLP 間で 1 所、  
 95. Q237FLP と Q238FLP 間で 1 所、  
 96. Q239FLP と Q240FLP 間で 1 所、  
 97. Q241FLP と Q242FLP 間で 1 所、  
 98. Q243FLP と Q244FLP 間で 1 所、  
 99. Q245FLP と Q246FLP 間で 1 所、  
 100. Q247FLP と Q248FLP 間で 1 所、  
 101. Q249FLP と Q250FLP 間で 1 所、  
 102. Q251FLP と Q252FLP 間で 1 所、  
 103. Q253FLP と Q254FLP 間で 1 所、  
 104. Q255FLP と Q256FLP 間で 1 所、  
 105. Q257FLP と Q258FLP 間で 1 所、  
 106. Q259FLP と Q260FLP 間で 1 所、  
 107. Q261FLP と Q262FLP 間で 1 所、  
 108. Q263FLP と Q264FLP 間で 1 所、  
 109. Q265FLP と Q266FLP 間で 1 所、  
 110. Q267FLP と Q268FLP 間で 1 所、  
 111. Q269FLP と Q270FLP 間で 1 所、  
 112. Q271FLP と Q272FLP 間で 1 所、  
 113. Q273FLP と Q274FLP 間で 1 所、  
 114. Q275FLP と Q276FLP 間で 1 所、  
 115. Q277FLP と Q278FLP 間で 1 所、  
 116. Q279FLP と Q280FLP 間で 1 所、  
 117. Q281FLP と Q282FLP 間で 1 所、  
 118. Q283FLP と Q284FLP 間で 1 所、  
 119. Q285FLP と Q286FLP 間で 1 所、  
 120. Q287FLP と Q288FLP 間で 1 所、  
 121. Q289FLP と Q290FLP 間で 1 所、  
 122. Q291FLP と Q292FLP 間で 1 所、  
 123. Q293FLP と Q294FLP 間で 1 所、  
 124. Q295FLP と Q296FLP 間で 1 所、  
 125. Q297FLP と Q298FLP 間で 1 所、  
 126. Q299FLP と Q300FLP 間で 1 所、  
 127. Q301FLP と Q302FLP 間で 1 所、  
 128. Q303FLP と Q304FLP 間で 1 所、  
 129. Q305FLP と Q306FLP 間で 1 所、  
 130. Q307FLP と Q308FLP 間で 1 所、  
 131. Q309FLP と Q310FLP 間で 1 所、  
 132. Q311FLP と Q312FLP 間で 1 所、  
 133. Q313FLP と Q314FLP 間で 1 所、  
 134. Q315FLP と Q316FLP 間で 1 所、  
 135. Q317FLP と Q318FLP 間で 1 所、  
 136. Q319FLP と Q320FLP 間で 1 所、  
 137. Q321FLP と Q322FLP 間で 1 所、  
 138. Q323FLP と Q324FLP 間で 1 所、  
 139. Q325FLP と Q326FLP 間で 1 所、  
 140. Q327FLP と Q328FLP 間で 1 所、  
 141. Q329FLP と Q330FLP 間で 1 所、  
 142. Q331FLP と Q332FLP 間で 1 所、  
 143. Q333FLP と Q334FLP 間で 1 所、  
 144. Q335FLP と Q336FLP 間で 1 所、  
 145. Q337FLP と Q338FLP 間で 1 所、  
 146. Q339FLP と Q340FLP 間で 1 所、  
 147. Q341FLP と Q342FLP 間で 1 所、  
 148. Q343FLP と Q344FLP 間で 1 所、  
 149. Q345FLP と Q346FLP 間で 1 所、  
 150. Q347FLP と Q348FLP 間で 1 所、  
 151. Q349FLP と Q350FLP 間で 1 所、  
 152. Q351FLP と Q352FLP 間で 1 所、  
 153. Q353FLP と Q354FLP 間で 1 所、  
 154. Q355FLP と Q356FLP 間で 1 所、  
 155. Q357FLP と Q358FLP 間で 1 所、  
 156. Q359FLP と Q360FLP 間で 1 所、  
 157. Q361FLP と Q362FLP 間で 1 所、  
 158. Q363FLP と Q364FLP 間で 1 所、  
 159. Q365FLP と Q366FLP 間で 1 所、  
 160. Q367FLP と Q368FLP 間で 1 所、  
 161. Q369FLP と Q370FLP 間で 1 所、  
 162. Q371FLP と Q372FLP 間で 1 所、  
 163. Q373FLP と Q374FLP 間で 1 所、  
 164. Q375FLP と Q376FLP 間で 1 所、  
 165. Q377FLP と Q378FLP 間で 1 所、  
 166. Q379FLP と Q380FLP 間で 1 所、  
 167. Q381FLP と Q382FLP 間で 1 所、  
 168. Q383FLP と Q384FLP 間で 1 所、  
 169. Q385FLP と Q386FLP 間で 1 所、  
 170. Q387FLP と Q388FLP 間で 1 所、  
 171. Q389FLP と Q390FLP 間で 1 所、  
 172. Q391FLP と Q392FLP 間で 1 所、  
 173. Q393FLP と Q394FLP 間で 1 所、  
 174. Q395FLP と Q396FLP 間で 1 所、  
 175. Q397FLP と Q398FLP 間で 1 所、  
 176. Q399FLP と Q400FLP 間で 1 所、  
 177. Q401FLP と Q402FLP 間で 1 所、  
 178. Q403FLP と Q404FLP 間で 1 所、  
 179. Q405FLP と Q406FLP 間で 1 所、  
 180. Q407FLP と Q408FLP 間で 1 所、  
 181. Q409FLP と Q410FLP 間で 1 所、  
 182. Q411FLP と Q412FLP 間で 1 所、  
 183. Q413FLP と Q414FLP 間で 1 所、  
 184. Q415FLP と Q416FLP 間で 1 所、  
 185. Q417FLP と Q418FLP 間で 1 所、  
 186. Q419FLP と Q420FLP 間で 1 所、  
 187. Q421FLP と Q422FLP 間で 1 所、  
 188. Q423FLP と Q424FLP 間で 1 所、  
 189. Q425FLP と Q426FLP 間で 1 所、  
 190. Q427FLP と Q428FLP 間で 1 所、  
 191. Q429FLP と Q430FLP 間で 1 所、  
 192. Q431FLP と Q432FLP 間で 1 所、  
 193. Q433FLP と Q434FLP 間で 1 所、  
 194. Q435FLP と Q436FLP 間で 1 所、  
 195. Q437FLP と Q438FLP 間で 1 所、  
 196. Q439FLP と Q440FLP 間で 1 所、  
 197. Q441FLP と Q442FLP 間で 1 所、  
 198. Q443FLP と Q444FLP 間で 1 所、  
 199. Q445FLP と Q446FLP 間で 1 所、  
 200. Q447FLP と Q448FLP 間で 1 所、  
 201. Q449FLP と Q450FLP 間で 1 所、  
 202. Q451FLP と Q452FLP 間で 1 所、  
 203. Q453FLP と Q454FLP 間で 1 所、  
 204. Q455FLP と Q456FLP 間で 1 所、  
 205. Q457FLP と Q458FLP 間で 1 所、  
 206. Q459FLP と Q460FLP 間で 1 所、  
 207. Q461FLP と Q462FLP 間で 1 所、  
 208. Q463FLP と Q464FLP 間で 1 所、  
 209. Q465FLP と Q466FLP 間で 1 所、  
 210. Q467FLP と Q468FLP 間で 1 所、  
 211. Q469FLP と Q470FLP 間で 1 所、  
 212. Q471FLP と Q472FLP 間で 1 所、  
 213. Q473FLP と Q474FLP 間で 1 所、  
 214. Q475FLP と Q476FLP 間で 1 所、  
 215. Q477FLP と Q478FLP 間で 1 所、  
 216. Q479FLP と Q480FLP 間で 1 所、  
 217. Q481FLP と Q482FLP 間で 1 所、  
 218. Q483FLP と Q484FLP 間で 1 所、  
 219. Q485FLP と Q486FLP 間で 1 所、  
 220. Q487FLP と Q488FLP 間で 1 所、  
 221. Q489FLP と Q490FLP 間で 1 所、  
 222. Q491FLP と Q492FLP 間で 1 所、  
 223. Q493FLP と Q494FLP 間で 1 所、  
 224. Q495FLP と Q496FLP 間で 1 所、  
 225. Q497FLP と Q498FLP 間で 1 所、  
 226. Q499FLP と Q500FLP 間で 1 所、  
 227. Q501FLP と Q502FLP 間で 1 所、  
 228. Q503FLP と Q504FLP 間で 1 所、  
 229. Q505FLP と Q506FLP 間で 1 所、  
 230. Q507FLP と Q508FLP 間で 1 所、  
 231. Q509FLP と Q510FLP 間で 1 所、  
 232. Q511FLP と Q512FLP 間で 1 所、  
 233. Q513FLP と Q514FLP 間で 1 所、  
 234. Q515FLP と Q516FLP 間で 1 所、  
 235. Q517FLP と Q518FLP 間で 1 所、  
 236. Q519FLP と Q520FLP 間で 1 所、  
 237. Q521FLP と Q522FLP 間で 1 所、  
 238. Q523FLP と Q524FLP 間で 1 所、  
 239. Q525FLP と Q526FLP 間で 1 所、  
 240. Q527FLP と Q528FLP 間で 1 所、  
 241. Q529FLP と Q530FLP 間で 1 所、  
 242. Q531FLP と Q532FLP 間で 1 所、  
 243. Q533FLP と Q534FLP 間で 1 所、  
 244. Q535FLP と Q536FLP 間で 1 所、  
 245. Q537FLP と Q538FLP 間で 1 所、  
 246. Q539FLP と Q540FLP 間で 1 所、  
 247. Q541FLP と Q542FLP 間で 1 所、  
 248. Q543FLP と Q544FLP 間で 1 所、  
 249. Q545FLP と Q546FLP 間で 1 所、  
 250. Q547FLP と Q548FLP 間で 1 所、  
 251. Q549FLP と Q550FLP 間で 1 所、  
 252. Q551FLP と Q552FLP 間で 1 所、  
 253. Q553FLP と Q554FLP 間で 1 所、  
 254. Q555FLP と Q556FLP 間で 1 所、  
 255. Q557FLP と Q558FLP 間で 1 所、  
 256. Q559FLP と Q560FLP 間で 1 所、  
 257. Q561FLP と Q562FLP 間で 1 所、  
 258. Q563FLP と Q564FLP 間で 1 所、  
 259. Q565FLP と Q566FLP 間で 1 所、  
 260. Q567FLP と Q568FLP 間で 1 所、  
 261. Q569FLP と Q570FLP 間で 1 所、  
 262. Q571FLP と Q572FLP 間で 1 所、  
 263. Q573FLP と Q574FLP 間で 1 所、  
 264. Q575FLP と Q576FLP 間で 1 所、  
 265. Q577FLP と Q578FLP 間で 1 所、  
 266. Q579FLP と Q580FLP 間で 1 所、  
 267. Q581FLP と Q582FLP 間で 1 所、  
 268. Q583FLP と Q584FLP 間で 1 所、  
 269. Q585FLP と Q586FLP 間で 1 所、  
 270. Q587FLP と Q588FLP 間で 1 所、  
 271. Q589FLP と Q590FLP 間で 1 所、  
 272. Q591FLP と Q592FLP 間で 1 所、  
 273. Q593FLP と Q594FLP 間で 1 所、  
 274. Q595FLP と Q596FLP 間で 1 所、  
 275. Q597FLP と Q598FLP 間で 1 所、  
 276. Q599FLP と Q600FLP 間で 1 所、  
 277. Q601FLP と Q602FLP 間で 1 所、  
 278. Q603FLP と Q604FLP 間で 1 所、  
 279. Q605FLP と Q606FLP 間で 1 所、  
 280. Q607FLP と Q608FLP 間で 1 所、  
 281. Q609FLP と Q610FLP 間で 1 所、  
 282. Q611FLP と Q612FLP 間で 1 所、  
 283. Q613FLP と Q614FLP 間で 1 所、  
 284. Q615FLP と Q616FLP 間で 1 所、  
 285. Q617FLP と Q618FLP 間で 1 所、  
 286. Q619FLP と Q620FLP 間で 1 所、  
 287. Q621FLP と Q622FLP 間で 1 所、  
 288. Q623FLP と Q624FLP 間で 1 所、  
 289. Q625FLP と Q626FLP 間で 1 所、  
 290. Q627FLP と Q628FLP 間で 1 所、  
 291. Q629FLP と Q630FLP 間で 1 所、  
 292. Q631FLP と Q632FLP 間で 1 所、  
 293. Q633FLP と Q634FLP 間で 1 所、  
 294. Q635FLP と Q636FLP 間で 1 所、  
 295. Q637FLP と Q638FLP 間で 1 所、  
 296. Q639FLP と Q640FLP 間で 1 所、  
 297. Q641FLP と Q642FLP 間で 1 所、  
 298. Q643FLP と Q644FLP 間で 1 所、  
 299. Q645FLP と Q646FLP 間で 1 所、  
 300. Q647FLP と Q648FLP 間で 1 所、  
 301. Q649FLP と Q650FLP 間で 1 所、  
 302. Q651FLP と Q652FLP 間で 1 所、  
 303. Q653FLP と Q654FLP 間で 1 所、  
 304. Q655FLP と Q656FLP 間で 1 所、  
 305. Q657FLP と Q658FLP 間で 1 所、  
 306. Q659FLP と Q660FLP 間で 1 所、  
 307. Q661FLP と Q662FLP 間で 1 所、  
 308. Q663FLP と Q664FLP 間で 1 所、  
 309. Q665FLP と Q666FLP 間で 1 所、  
 310. Q667FLP と Q668FLP 間で 1 所、  
 311. Q669FLP と Q670FLP 間で 1 所、  
 312. Q671FLP と Q672FLP 間で 1 所、  
 313. Q673FLP と Q674FLP 間で 1 所、  
 314. Q675FLP と Q676FLP 間で 1 所、  
 315. Q677FLP と Q678FLP 間で 1 所、  
 316. Q679FLP と Q680FLP 間で 1 所、  
 317. Q681FLP と Q682FLP 間で 1 所、  
 318. Q683FLP と Q684FLP 間で 1 所、  
 319. Q685FLP と Q686FLP 間で 1 所、  
 320. Q687FLP と Q688FLP 間で 1 所、  
 321. Q689FLP と Q690FLP 間で 1 所、  
 322. Q691FLP と Q692FLP 間で 1 所、  
 323. Q693FLP と Q694FLP 間で 1 所、  
 324. Q695FLP と Q696FLP 間で 1 所、  
 325. Q697FLP と Q698FLP 間で 1 所、  
 326. Q699FLP と Q700FLP 間で 1 所、  
 327. Q701FLP と Q702FLP 間で 1 所、  
 328. Q703FLP と Q704FLP 間で 1 所、  
 329. Q705FLP と Q706FLP 間で 1 所、  
 330. Q707FLP と Q708FLP 間で 1 所、  
 331. Q709FLP と Q710FLP 間で 1 所、  
 332. Q711FLP と Q712FLP 間で 1 所、  
 333. Q713FLP と Q714FLP 間で 1 所、  
 334. Q715FLP と Q716FLP 間で 1 所、  
 335. Q717FLP と Q718FLP 間で 1 所、  
 336. Q719FLP と Q720FLP 間で 1 所、  
 337. Q721FLP と Q722FLP 間で 1 所、  
 338. Q723FLP と Q724FLP 間で 1 所、  
 339. Q725FLP と Q726FLP 間で 1 所、  
 340. Q727FLP と Q728FLP 間で 1 所、  
 341. Q729FLP と Q730FLP 間で 1 所、  
 342. Q731FLP と Q732FLP 間で 1 所、  
 343. Q733FLP と Q734FLP 間で 1 所、  
 344. Q735FLP と Q736FLP 間で 1 所、  
 345. Q737FLP と Q738FLP 間で 1 所、  
 346. Q739FLP と Q740FLP 間で 1 所、  
 347. Q741FLP と Q742FLP 間で 1 所、  
 348. Q743FLP と Q744FLP 間で 1 所、  
 349. Q745FLP と Q746FLP 間で 1 所、  
 350. Q747FLP と Q748FLP 間で 1 所、  
 351. Q749FLP と Q750FLP 間で 1 所、  
 352. Q751FLP と Q752FLP 間で 1 所、  
 353. Q753FLP と Q754FLP 間で 1 所、  
 354. Q755FLP と Q756FLP 間で 1 所、  
 355. Q757FLP と Q758FLP 間で 1 所、  
 356. Q759FLP と Q760FLP 間で 1 所、  
 357. Q761FLP と Q762FLP 間で 1 所、  
 358. Q763FLP と Q764FLP 間で 1 所、  
 359. Q765FLP と Q766FLP 間で 1 所、  
 360. Q767FLP と Q768FLP 間で 1 所、  
 361. Q769FLP と Q770FLP 間で 1 所、  
 362. Q771FLP と Q772FLP 間で 1 所、  
 363. Q773FLP と Q774FLP 間で 1 所、  
 364. Q775FLP と Q776FLP 間で 1 所、  
 365. Q777FLP と Q778FLP 間で 1 所、  
 366. Q779FLP と Q780FLP 間で 1 所、  
 367. Q781FLP と Q782FLP 間で 1 所、  
 368. Q783FLP と Q784FLP 間で 1 所、  
 369. Q785FLP と Q786FLP 間で 1 所、  
 370. Q787FLP と Q788FLP 間で 1 所、  
 371. Q789FLP と Q790FLP 間で 1 所、  
 372. Q791FLP と Q792FLP 間で 1 所、  
 373. Q793FLP と Q794FLP 間で 1 所、  
 374. Q795FLP と Q796FLP 間で 1 所、  
 375. Q797FLP と Q798FLP 間で 1 所、  
 376. Q799FLP と Q800FLP 間で 1 所、  
 377. Q801FLP と Q802FLP 間で 1 所、  
 378. Q803FLP と Q804FLP 間で 1 所、  
 379. Q805FLP と Q806FLP 間で 1 所、  
 380. Q807FLP と Q808FLP 間で 1 所、  
 381. Q809FLP と Q810FLP 間で 1 所、  
 382. Q811FLP と Q812FLP 間で 1 所、  
 383. Q813FLP と Q814FLP 間で 1 所、  
 384. Q815FLP と Q816FLP 間で 1 所、  
 385. Q817FLP と Q818FLP 間で 1 所、  
 386. Q819FLP と Q820FLP 間で 1 所、  
 387. Q821FLP と Q822FLP 間で 1 所、  
 388. Q823FLP と Q824FLP 間で 1 所、  
 389. Q825FLP と Q826FLP 間で 1 所、  
 390. Q827FLP と Q828FLP 間で 1 所、  
 391. Q829FLP と Q830FLP 間で 1 所、  
 392. Q831FLP と Q832FLP 間で 1 所、  
 393. Q833FLP と Q834FLP 間で 1 所、  
 394. Q835FLP と Q836FLP 間で 1 所、  
 395. Q837FLP と Q838FLP 間で 1 所、  
 396. Q839FLP と Q840FLP 間で 1 所、  
 397. Q841FLP と Q842FLP 間で 1 所、  
 398. Q843FLP と Q844FLP 間で 1 所、  
 399. Q845FLP と Q846FLP 間で 1 所、  
 400. Q847FLP と Q848FLP 間で 1 所、  
 401. Q849FLP と Q850FLP 間で 1 所、  
 402. Q851FLP と Q852FLP 間で 1 所、  
 403. Q853FLP と Q854FLP 間で 1 所、  
 404. Q855FLP と Q856FLP 間で 1 所、  
 405. Q857FLP と Q858FLP 間で 1 所、  
 406. Q859FLP と Q860FLP 間で 1 所、



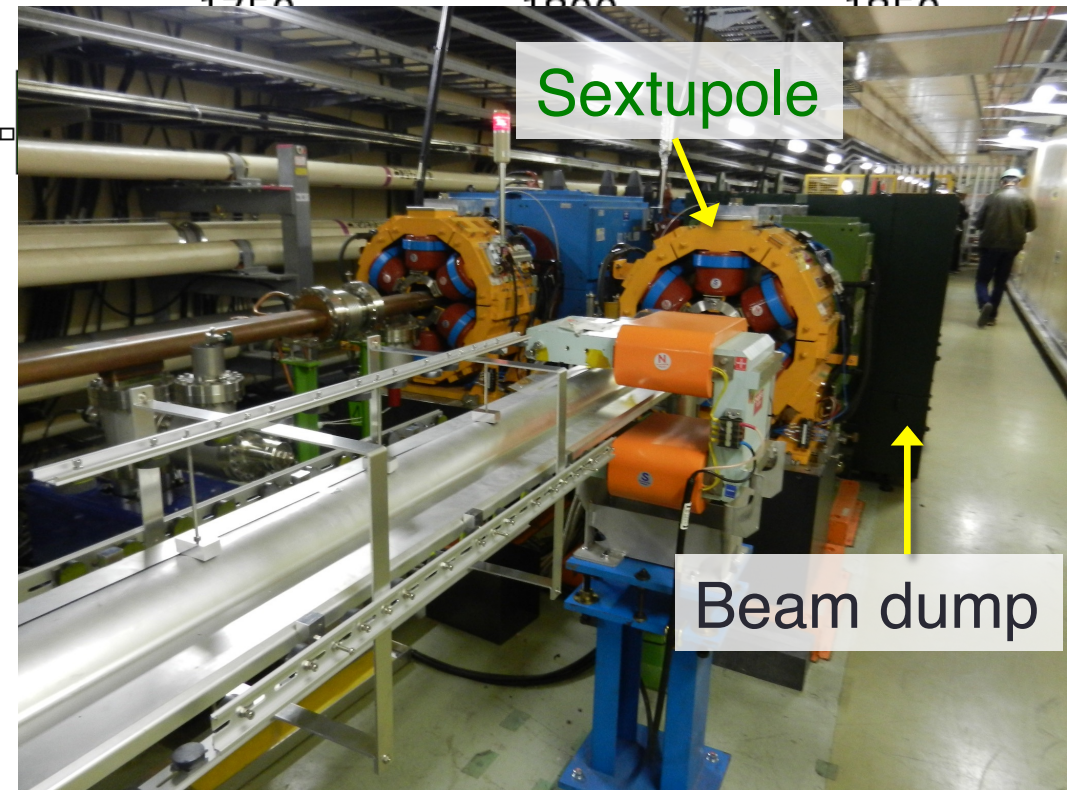
# Cure to the Leakage Field

- Activate two SkewQ coils installed in SF magnets using standby PS.



Lambertson septum

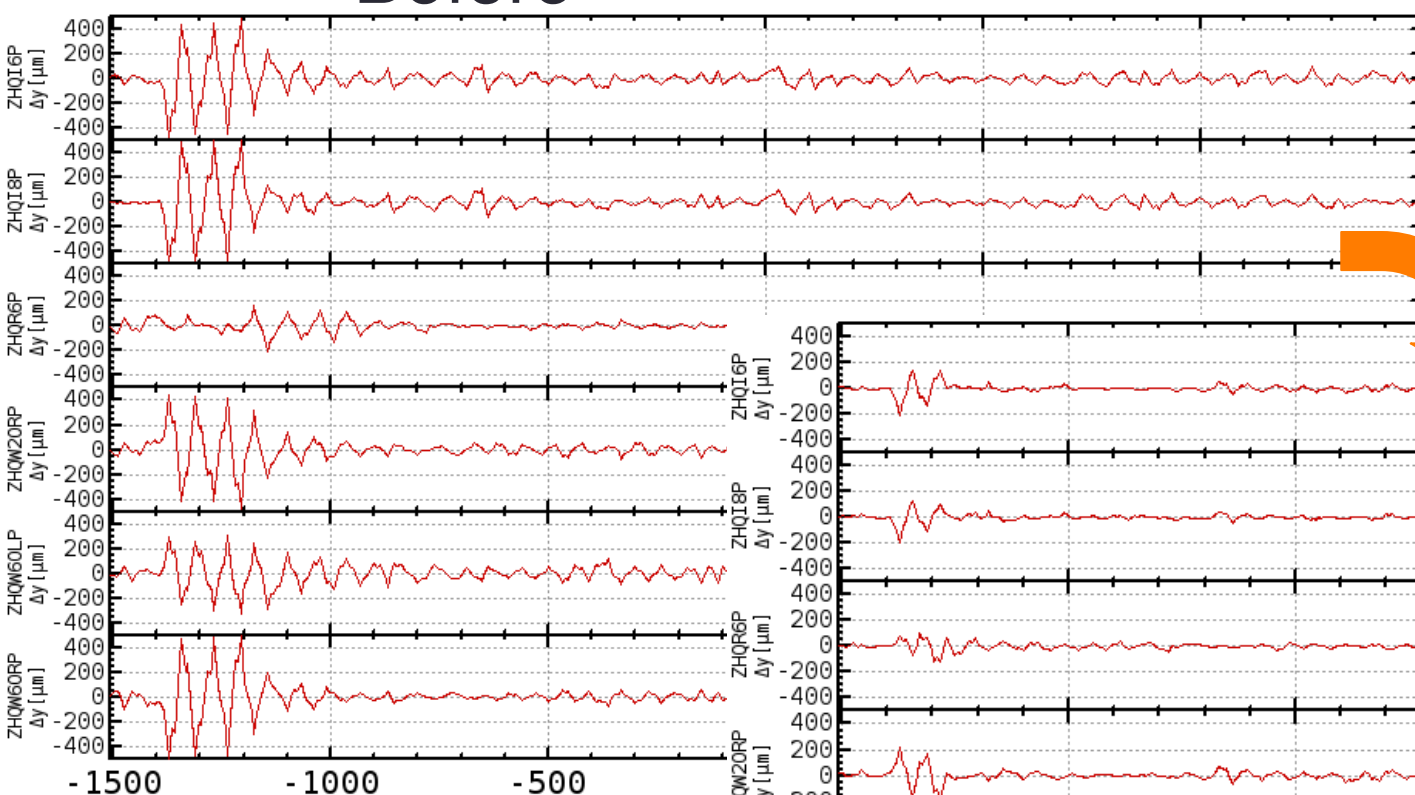
Activate those two SkewQ coils



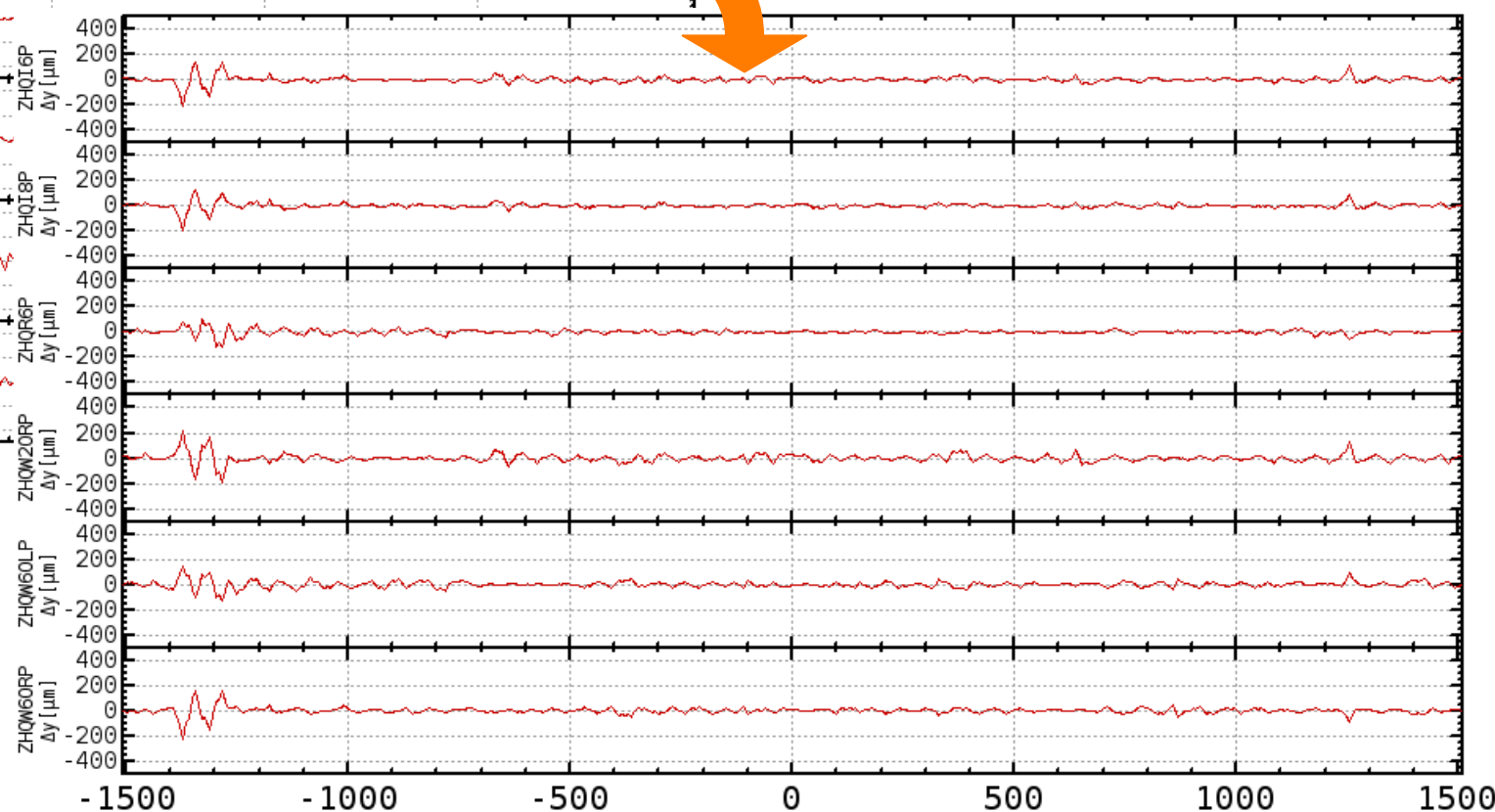
# Correction with the Additional SkewQ

- The vertical leakage orbit is reduced.

Before



After

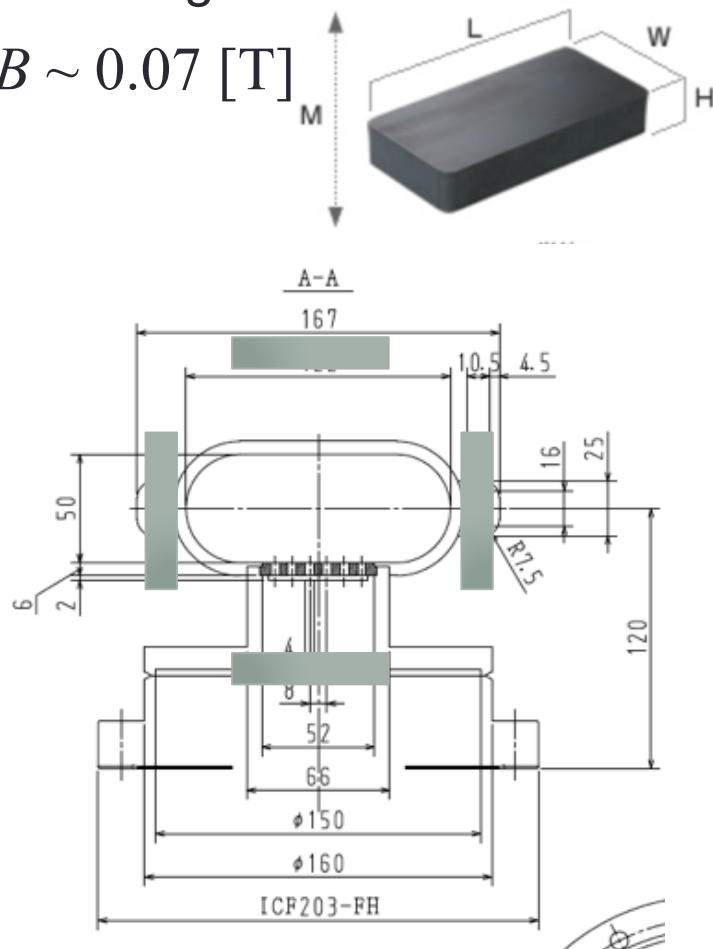


# For Further Improvement

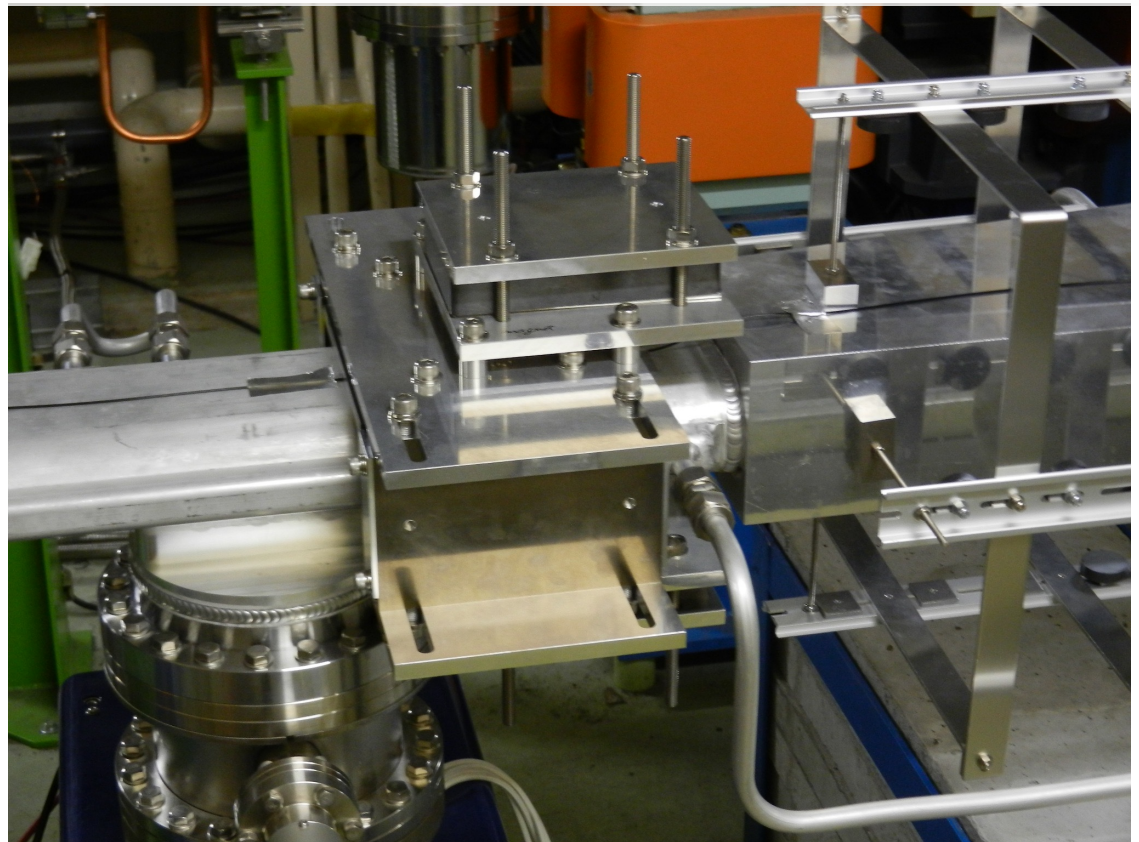
- A hardware group proposes a permanent SkewQ using Ferrite magnets.
- Installed it last Wednesday (June 8).

Ferrite magnets

$$B \sim 0.07 \text{ [T]}$$



Ferrite magnets installed with supporting system

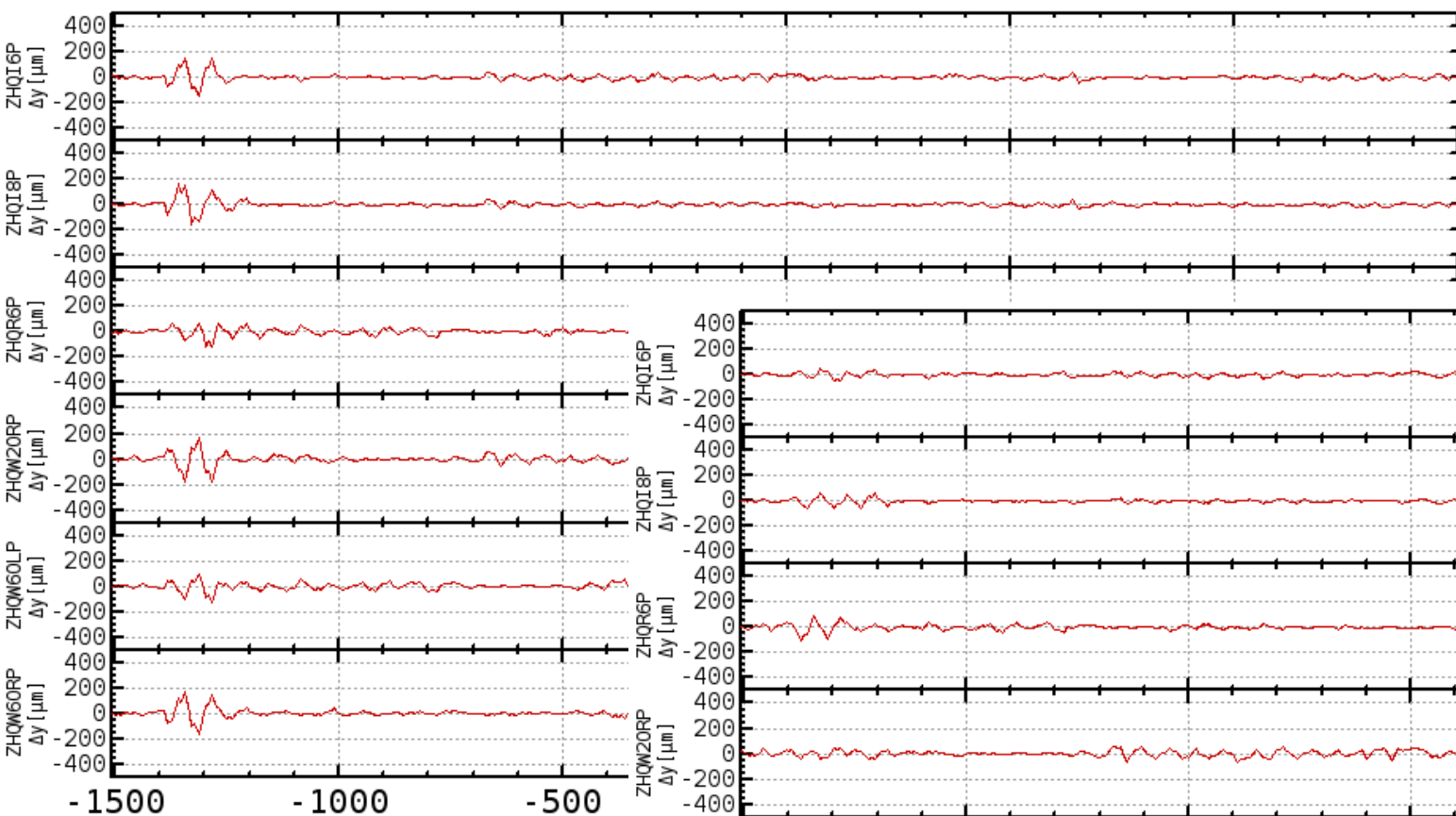




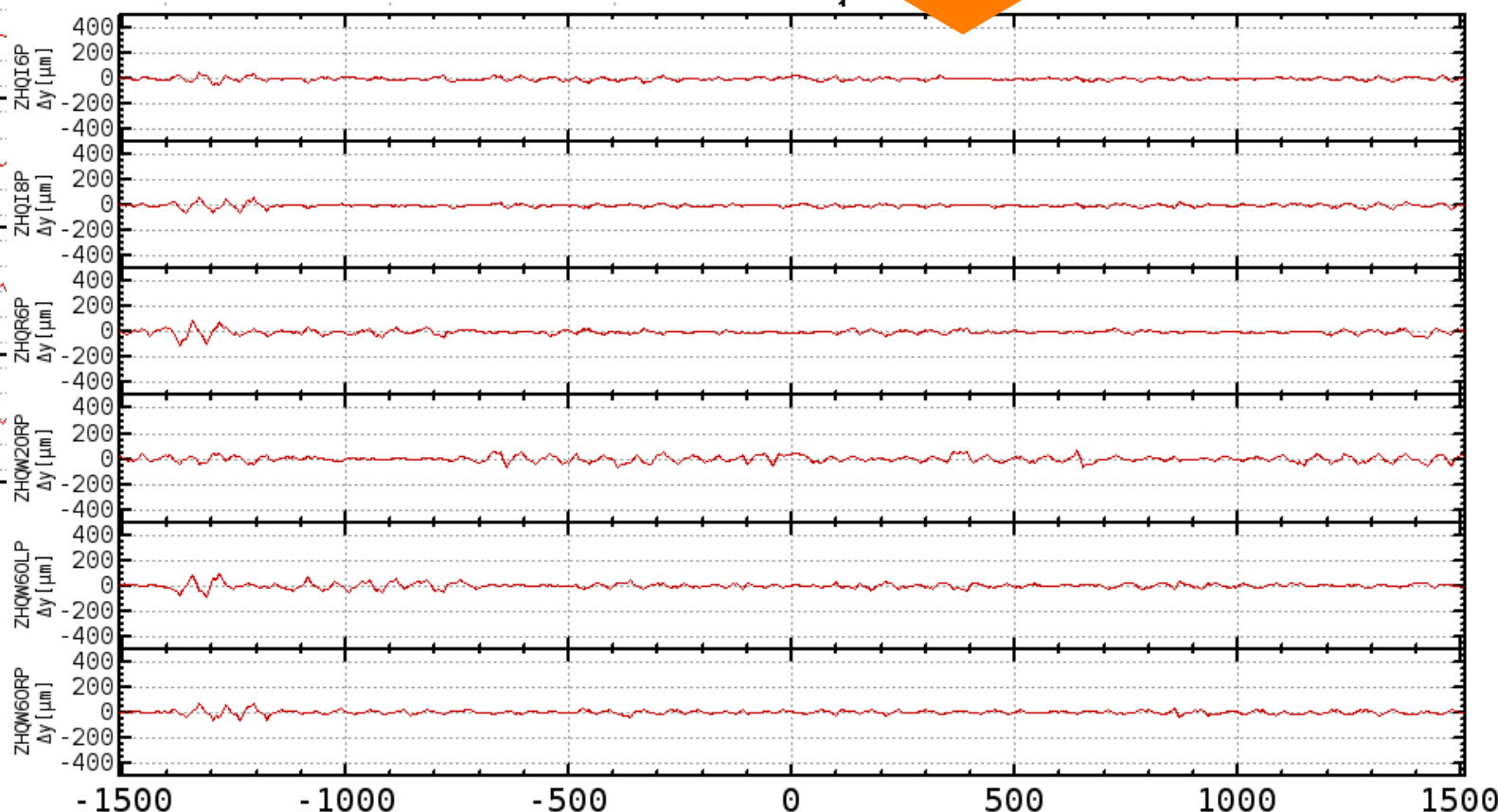
# Measurement before&after Installation

- Further improvement in the vertical leakage orbit.

Before Installation

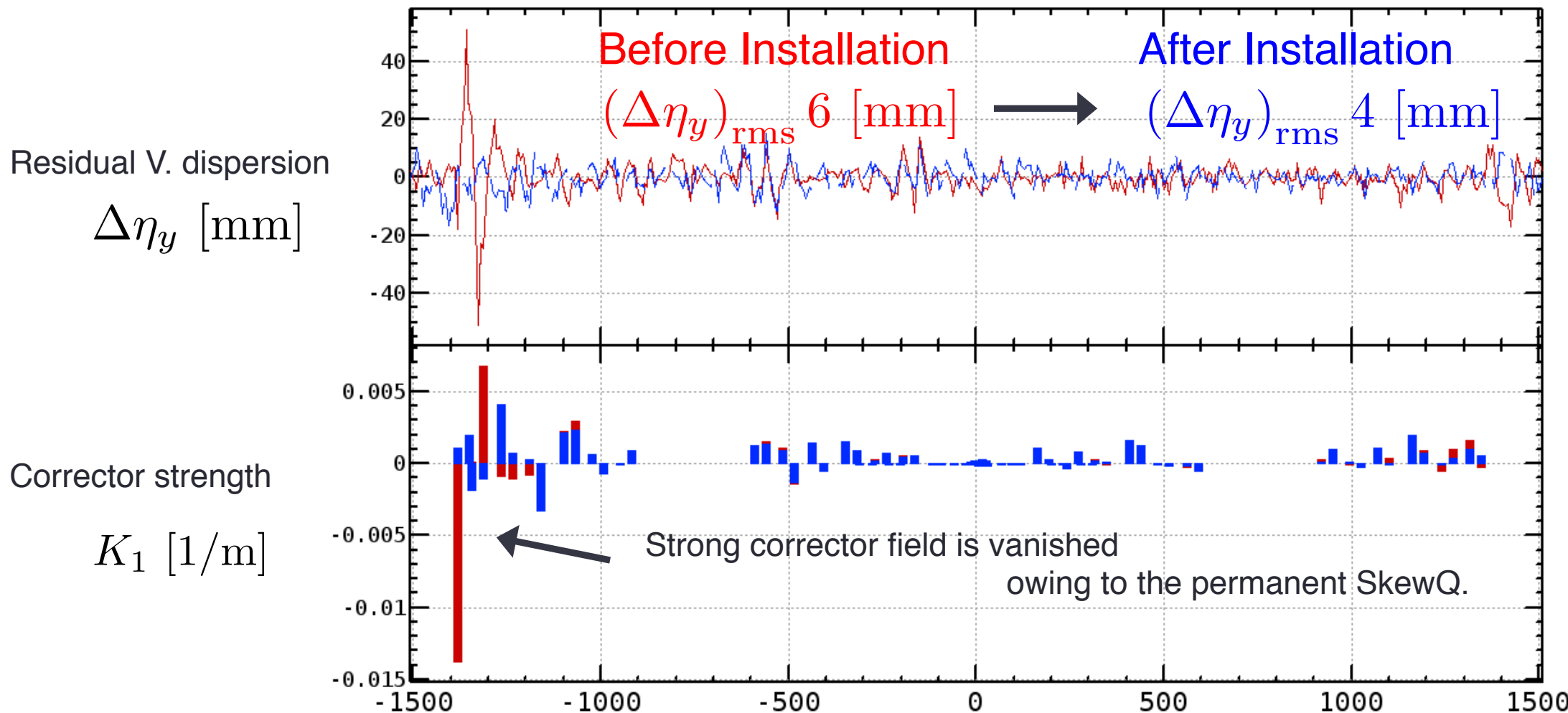


After Installation



# Vertical Dispersion after Installation

- A sharp peak of vertical dispersion is vanished.
- As a result RMS residual is reduced from 6 mm to 4 mm.

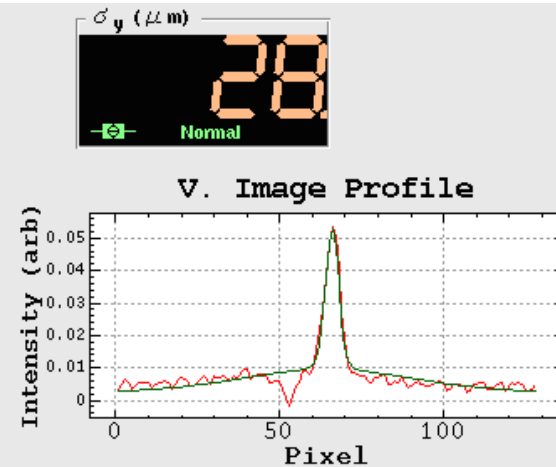
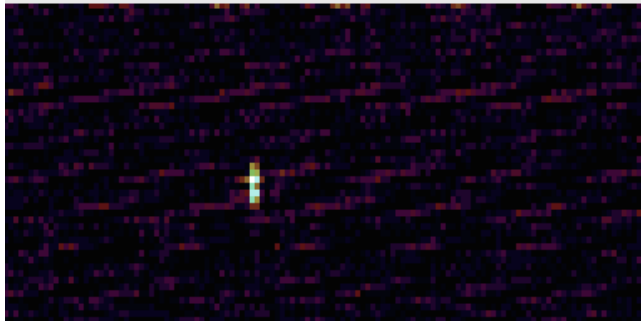




# Vertical Emittance

## LER

LER X-Ray Beam Profile Monitor



$$\beta_y = 67 \text{ m} \longrightarrow \epsilon_y \sim 12 \text{ pm}$$

## HER

Estimation with beam size measurement

$$\epsilon_y \sim 120 \text{ pm}$$



Flanagan-san's talk?

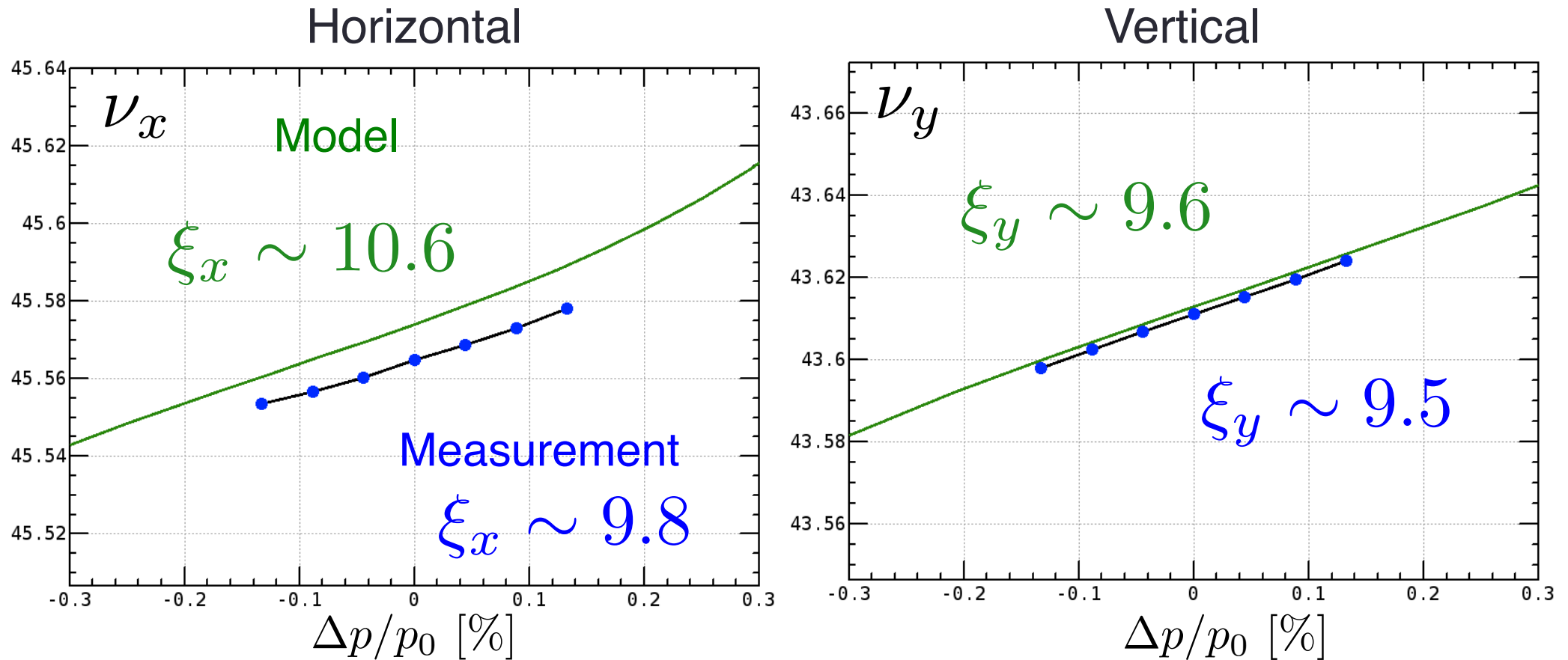
Estimation with measured optics

$$\epsilon_y \sim 10 \text{ pm}$$

The exact value is still under discussion.

# Tune Chromaticity - HER -

- Measure Betatron tune with changing RF frequency.

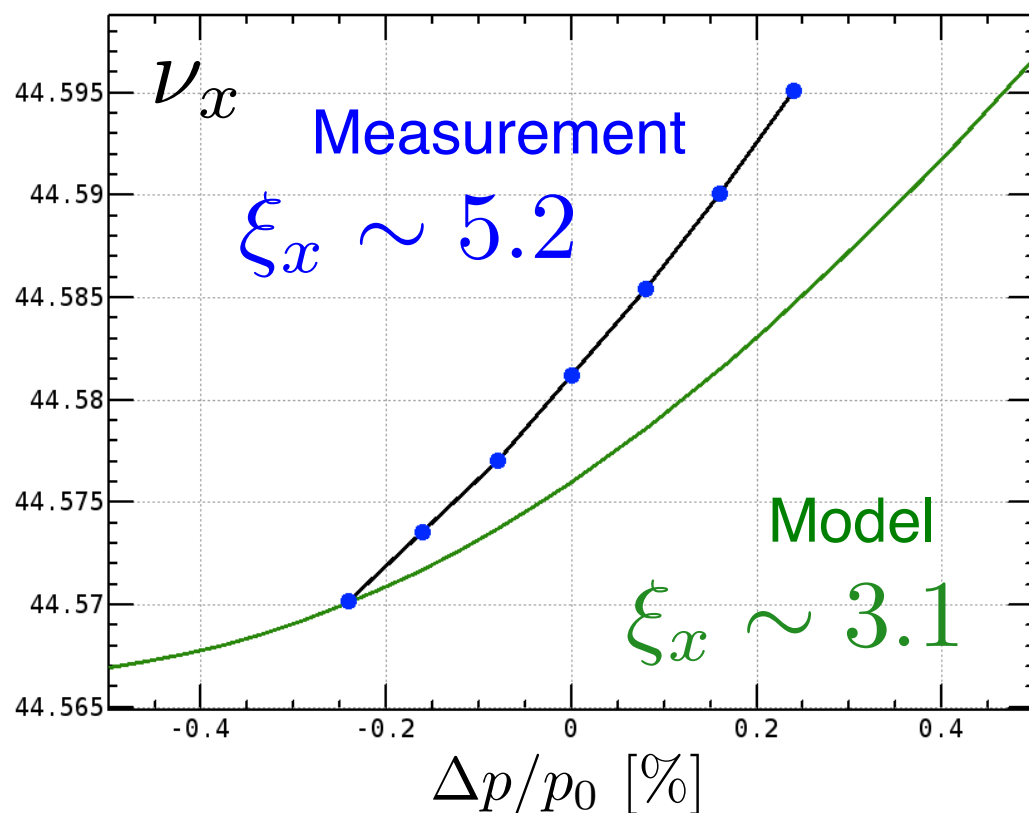


- Good agreement between the real and model lattice.

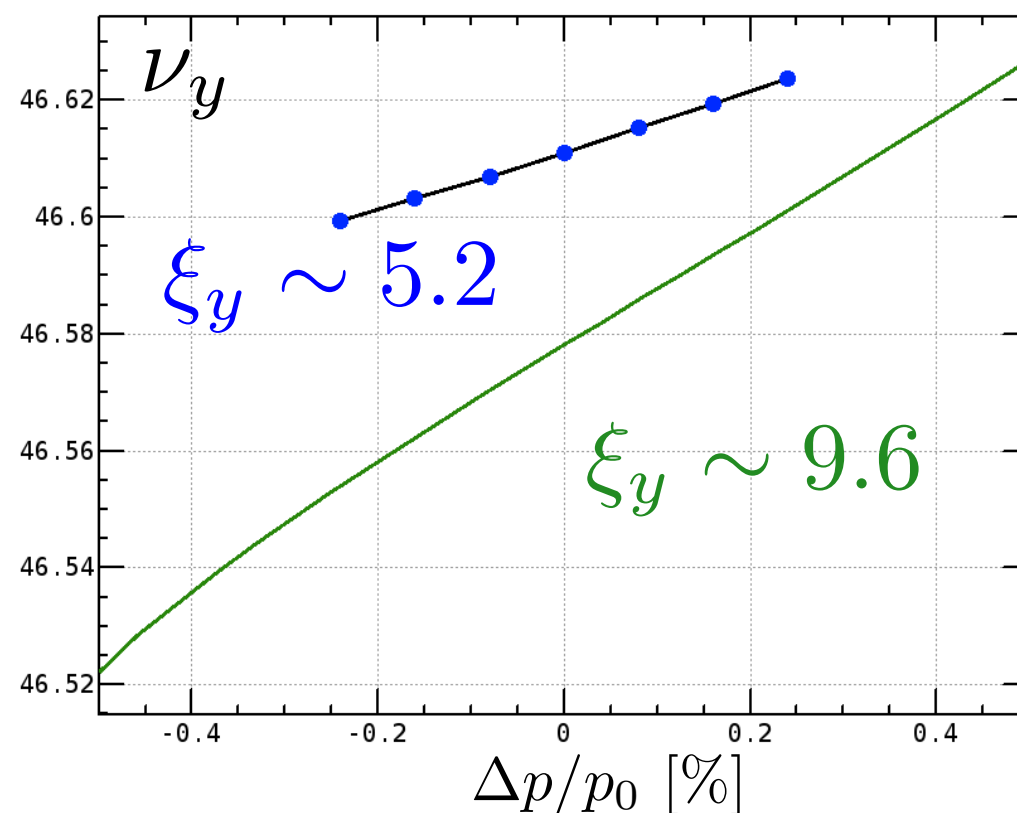
# Tune Chromaticity - LER -

- Measure Betatron tune with changing RF frequency.

Horizontal



Vertical



- **Large discrepancy compared with that of HER.**
- Off-momentum beta and phase are measured and analyzed. No big error sources are founded so far.
- Need more study to clarify the source of the discrepancy.

# Optics Correction Summary

	LER	HER
$\Delta\beta_x/\beta_x \ / \ \Delta\beta_y/\beta_y \ [\%]$	2 / 3	3 / 4
$\Delta\eta_x \ / \ \Delta\eta_y \ [\text{mm}]$	13 / 4	17 / 5
$\Delta\xi_x \ / \ \Delta\xi_y$	2 / -4	< 1 / < 1
$\varepsilon_y \ [\text{pm}]$	~12?	~10?

- Error of the linear chromaticity in LER is still mystery.
- The exact value of vertical emittance is still unknown.

## Establish optics measurement and correction tools.

- Optics and orbit servers to control the magnet system.
- Continuous Closed orbit correction
- Tune Changer
- Optics measurement and correction
- Local-bump control
- etc...

## Hardware calibration and bug hunt.

- Polarity check of the magnet using beam measurement.
- Check BPM system (e.g. cabling, aging effect)
- Beam based alignment (BBA)
- etc...

## Others

- Check validity of the model lattice and correct the model if needed.

## Low emittance tuning (LET)

**Target vertical emittance is  $< 5\text{-}10$  pm.**

## Establish optics measurement and correction tools.

- Optics and orbit servers to control the magnet system.
- Continuous Closed orbit correction
- Tune Changer
- Optics measurement and correction
- Local-bump control
- etc...

Completed

## Hardware calibration and bug hunt.

- Polarity check of the magnet using beam measurement.
- Check BPM system (e.g. cabling wiring effect)
- Beam based alignment (BB)
- etc...

Completed?



Maybe related

## Others

- Check validity of the model if needed.

**Mystery of tune chromaticity in LER**

## Low emittance tuning (LET)

**Reached  $\sim 10\text{pm}$ ?, the exact value is still under discussion.**

*Thank you for listening*





# Machine Parameters in Phase I

	LER	HER	Units
Beam energy	4.000	7.007	GeV
Beam current	910	830	mA
# of bunches	1576	1576	
Bunch current	0.58	0.52	mA
Hor. emittance	1.8	4.6	
Momentum compaction	$2.45 \times 10^{-4}$	$4.44 \times 10^{-4}$	
Energy spread	$7.5 \times 10^{-4}$	$6.3 \times 10^{-4}$	
Total $V_c$	7.56	12.45	MV
Bunch length	4.6	5.3	mm
$\nu_s$	-0.019	-0.025	
Tune $\nu_x/\nu_y$	44.59/44.63	45.57/43.61	
$U_0$	1.76	2.43	
$\tau_{x,y}/\tau_x$	46/23	58/29	

## Machine Parameters

2013/July/29	LER	HER	unit	
E	4.000	7.007	GeV	
I	3.6	2.6	A	
Number of bunches	2,500			
Bunch Current	1.44	1.04	mA	
Circumference	3,016.315		m	
$\epsilon_x/\epsilon_y$	3.2(1.9)/8.64(2.8)	4.6(4.4)/12.9(1.5)	nm/pm	() : zero current
Coupling	0.27	0.28		includes beam-beam
$\beta_x^*/\beta_y^*$	32/0.27	25/0.30	mm	
Crossing angle	83		mrاد	
$\alpha_p$	$3.18 \times 10^{-4}$	$4.53 \times 10^{-4}$		
$\sigma_\delta$	$8.10(7.73) \times 10^{-4}$	$6.37(6.30) \times 10^{-4}$		() : zero current
$V_c$	9.4	15.0	MV	
$\sigma_z$	6.0(5.0)	5(4.9)	mm	() : zero current
$v_s$	-0.0244	-0.0280		
$v_x/v_y$	44.53/46.57	45.53/43.57		
$U_0$	1.86	2.43	MeV	
$\tau_{x,y}/\tau_s$	43.2/21.6	58.0/29.0	msec	
$\xi_x/\xi_y$	0.0028/0.0881	0.0012/0.0807		
Luminosity	$8 \times 10^{35}$		$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	