

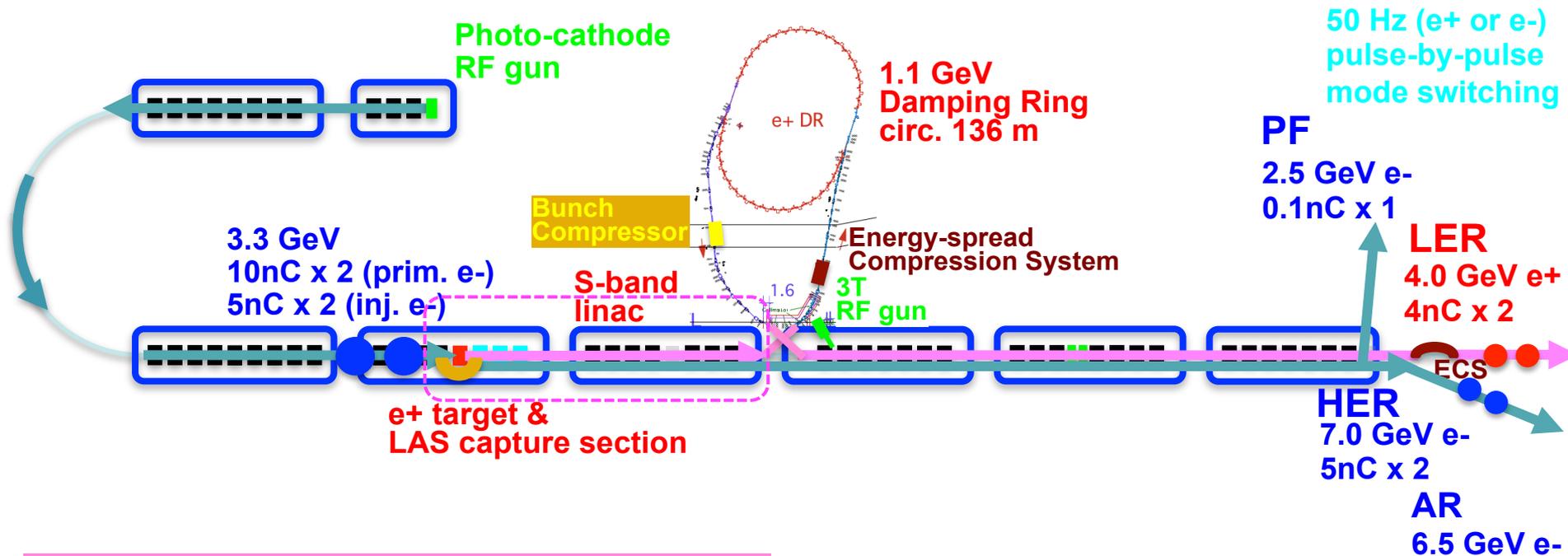
SuperKEKB陽電子源の 初期コミッション

発表者：紙谷 琢哉 (KEK)

(共著者)

明本 光生、荒川 大、荒木田 是夫、飯田 直子、池田 光、岩瀬 広、榎本 收志、大沢 哲、大西 幸喜、岡田 尚起、小川 雄二郎、柿原 和久、風間 慎吾、梶 裕志、片桐 広明、門倉 英一、菊池 光男、倉品 美帆、小磯 晴代、佐藤 政則、臧 磊、設楽 哲夫、周 翔宇、白川 明広、末武 聖明、杉本 寛、諏訪田 剛、高富 俊和、竹中 たてる、田中 窓香、多和田 正文、張 叡、中尾 克巳、中島 啓光、夏井 拓也、肥後 寿泰、福田 茂樹、船越 義裕、古川 和朗、本間 博幸、松下 英樹、松本 修二、松本 利広、三浦 孝子、三川 勝彦、道園 真一郎、三増 俊弘、宮原 房史、森 隆志、森田 昭夫、矢野 喜治、横山 和枝、吉田 光宏(KEK)、佐藤 大輔(東工大)

SuperKEKB 入射Linac



SuperKEKBに向けた陽電子増強

- 低エミッタンス化: $\gamma\varepsilon = 2000 \rightarrow 92_{[H]}/7_{[V]} (\mu\text{m})$
 - ❖ Damping ring の導入 → Linac内陽電子生成部位置変更
- ビーム強度増強: $Q(e+) = 1 \rightarrow 4 (\text{nC/bunch}) [\times 2\text{bunch}]$
どうやって?

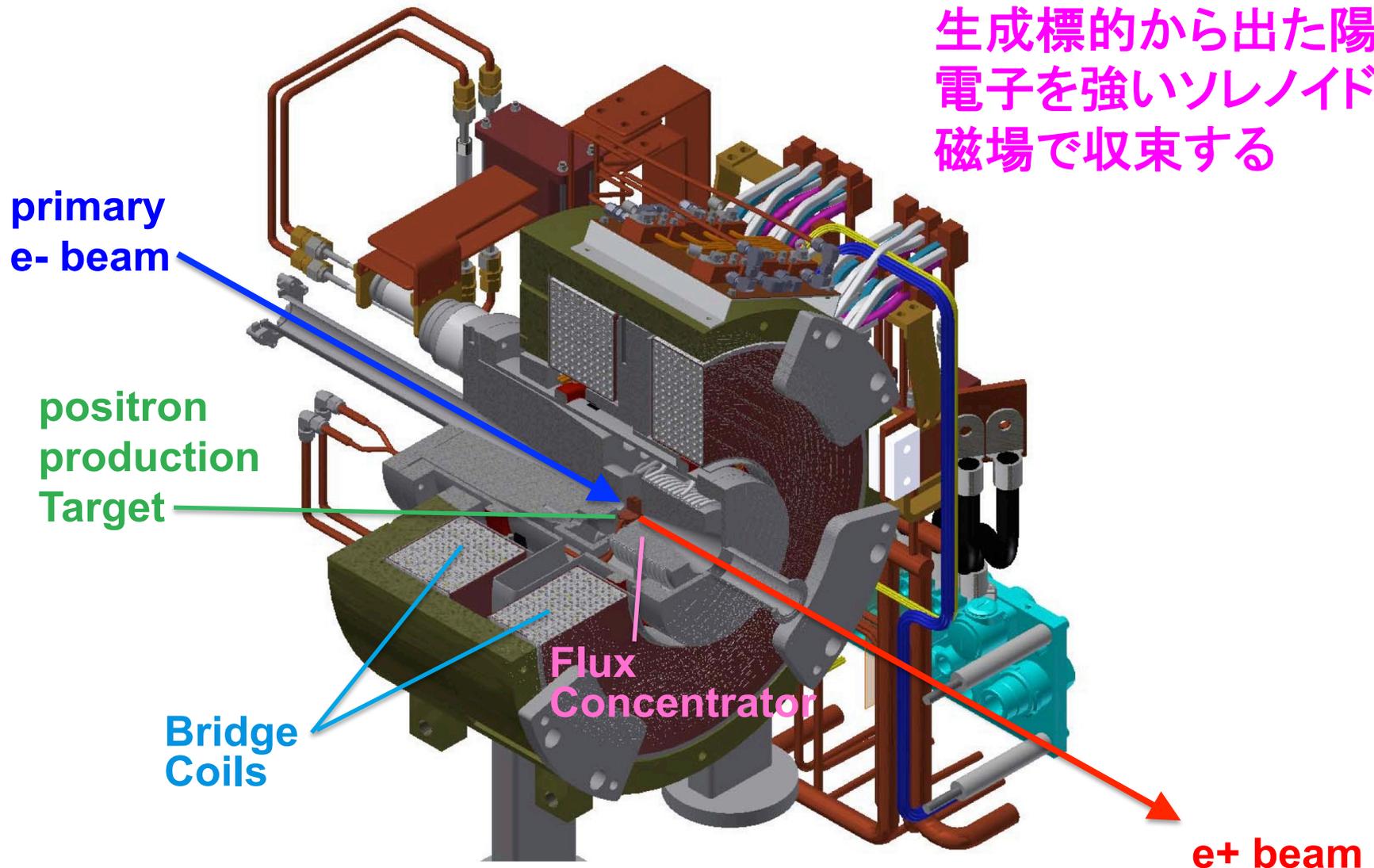
どうすれば陽電子を増やせるか？

- 方策その1: 陽電子の生成量を増やす $N(e^+) \propto N(e^-)E(e^-)$
 陽電子を作る方法: 電子ビーム→ガンマ線→対生成反応
 - ◆ 一次電子のエネルギー↑ 加速器長さを延長? 電界高くする? 費用高い
 - ◆ 一次電子の電荷量↑ wakeの影響が強くなりビームをうまく運べない
 生成量を増やすことはあきらめる!

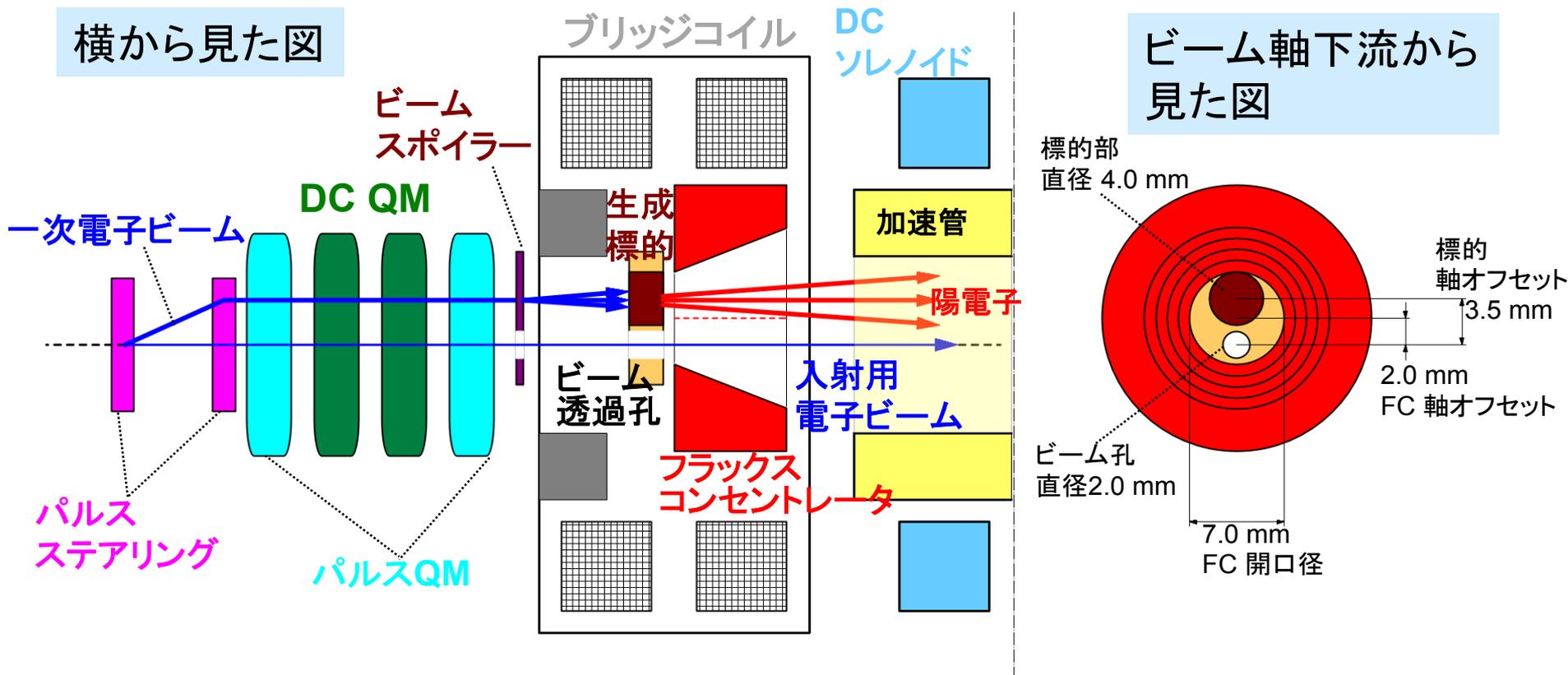
- 方策その2: 陽電子の収集効率を上げる
 陽電子を捕まえる方法: まず強いソレノイド磁場で陽電子を捕まえ
 DCソレノイド磁場でビームサイズを保持しているうちに加速する(捕獲部)
 3GeVの電子1個を標的に当てると平均7個の陽電子ができる
 しかし捕まえられるのはたった0.1個(KEKBの場合)
 - ◆ エネルギーアクセプタンス
 QWTからAMD(Flux Concentrator)に変更してwide-band化
 - ◆ 横方向位相空間アクセプタンス
 捕獲部に(Large Aperture S-band加速管)を用いてaperture拡大
 捕獲部の長さを2倍にして、後続へ受け渡すエネルギーを上げロス減少
 後続のQマグネットの収束系もこれに見合うように磁場と台数を強化

SuperKEKB 陽電子生成部

生成標的から出た陽電子を強いソレノイド磁場で収束する



e⁺/e⁻ switchingのための標的&FCのoffset

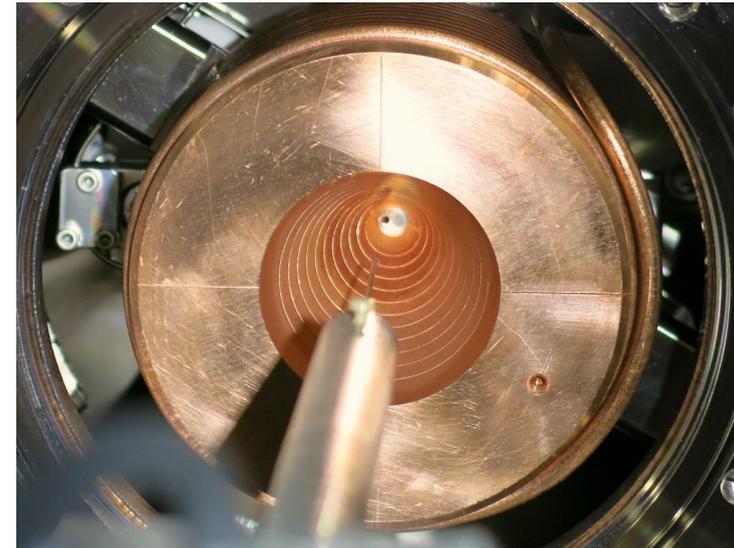
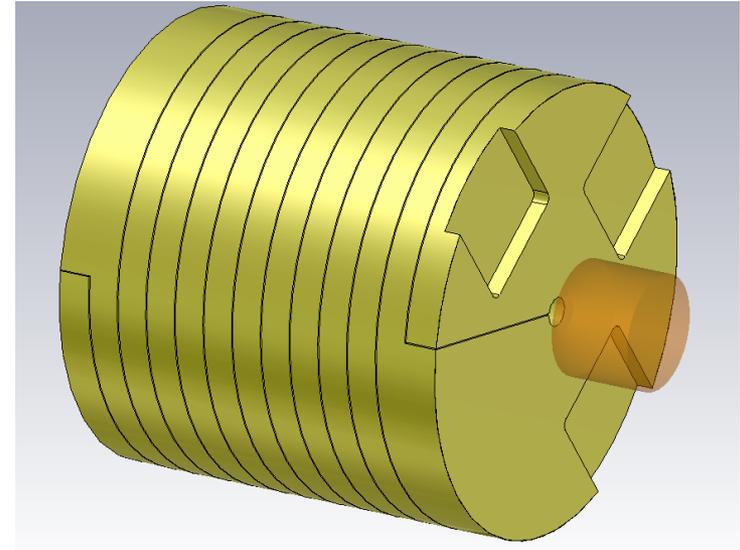


- 1) 入射用電子ビームはemittance増大を防ぐために中心軸上軌道を通す
標的の横に孔を空けて入射用電子ビームを通過させる
- 2) 陽電子は軸からoffsetした場所で生成する。一次電子ビームもoffsetして
当てる。FCもoffsetする。offsetの影響で陽電子収量は20%減少する。

Flux Concentrator (FC)

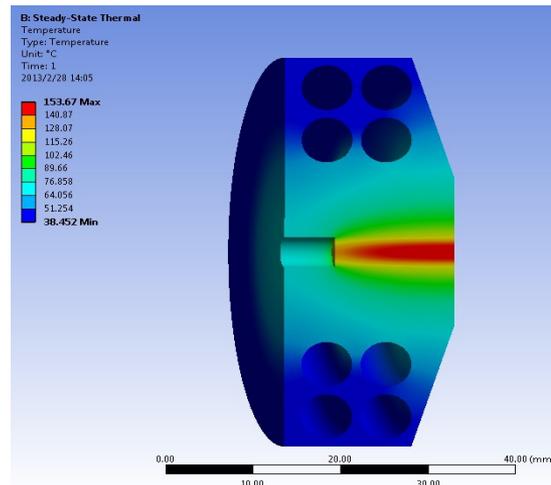
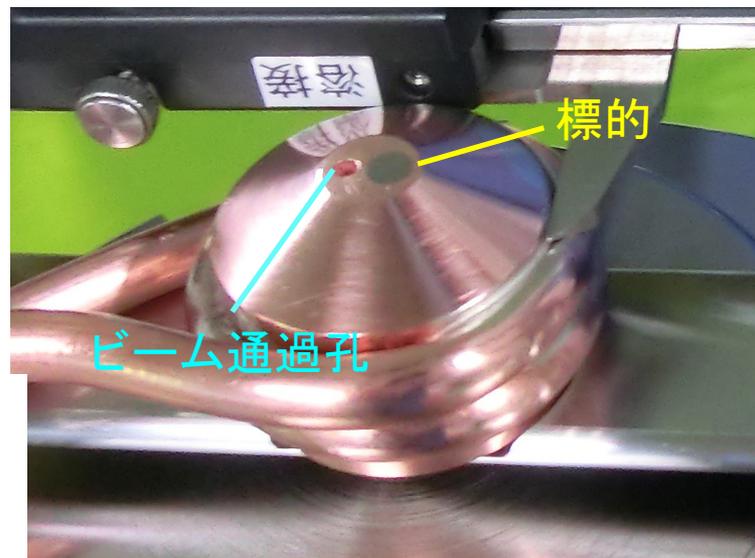
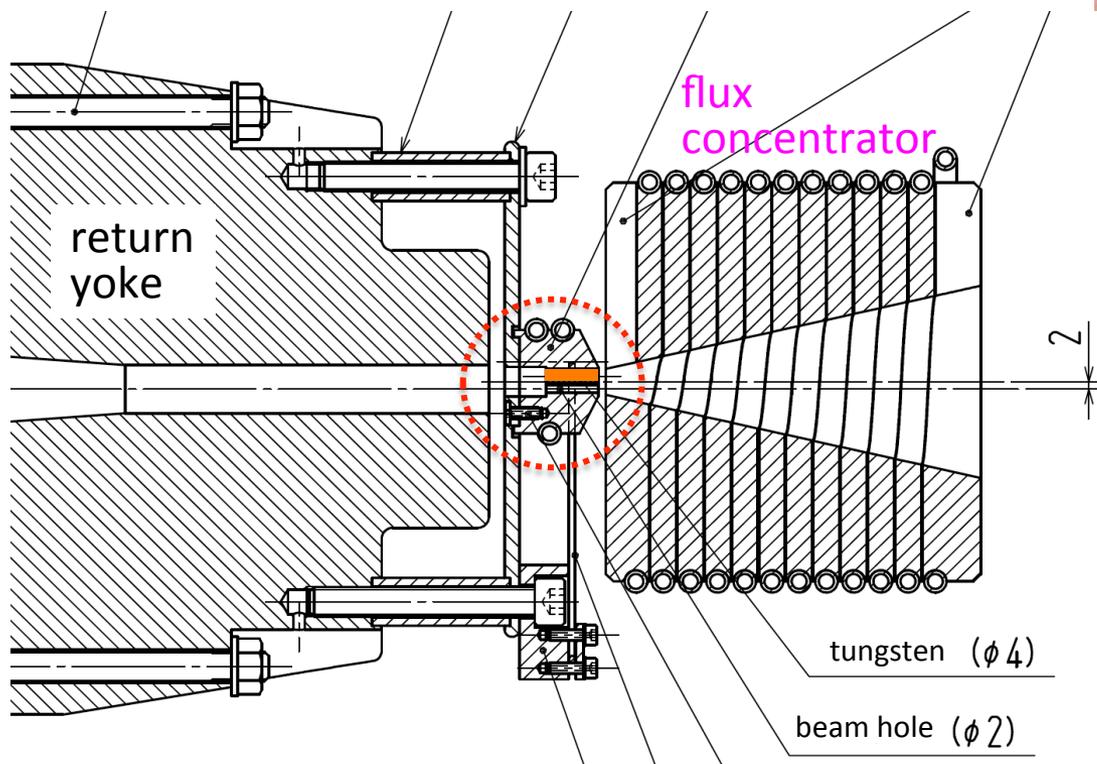
- 外周の一次コイルにパルス電流を流して導体内に誘導電流を発生させると、磁束(flux)が開口部内に圧縮(concentrate)され強いソレノイド磁場ができる。

| SLAC-type FC | parameters |
|-----------------------|-----------------------|
| length | 100 mm |
| outer diameter | 100 mm |
| inner diameter (min.) | 7 mm |
| inner diameter (max.) | 52 mm |
| peak current | 12 kA |
| pulse width | 6 μ s (half-sine) |
| peak field | 3.5 T |
| inductance | 1.0 μ H |



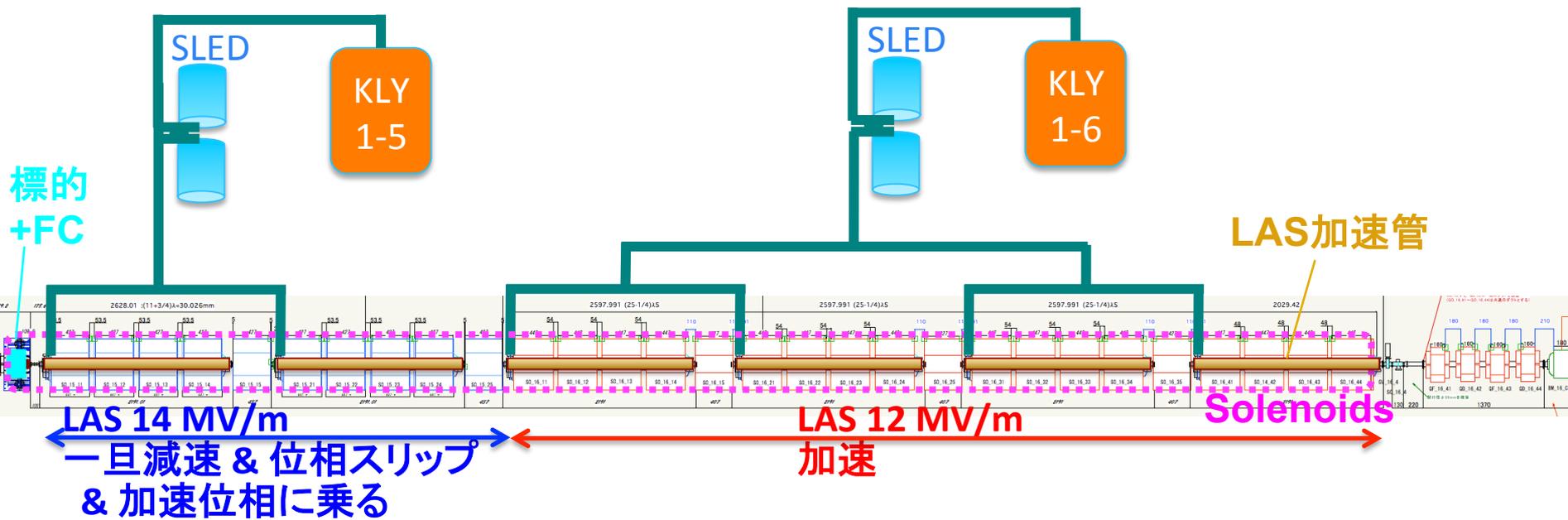
陽電子生成標的

- 標的材料
タングステン 14 mm長 (= $4.0 X_0$)
- タングステンと銅の胴体はHIP加工で接合している

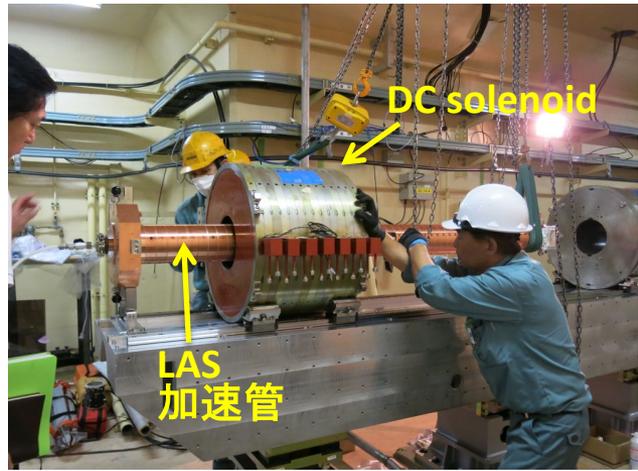
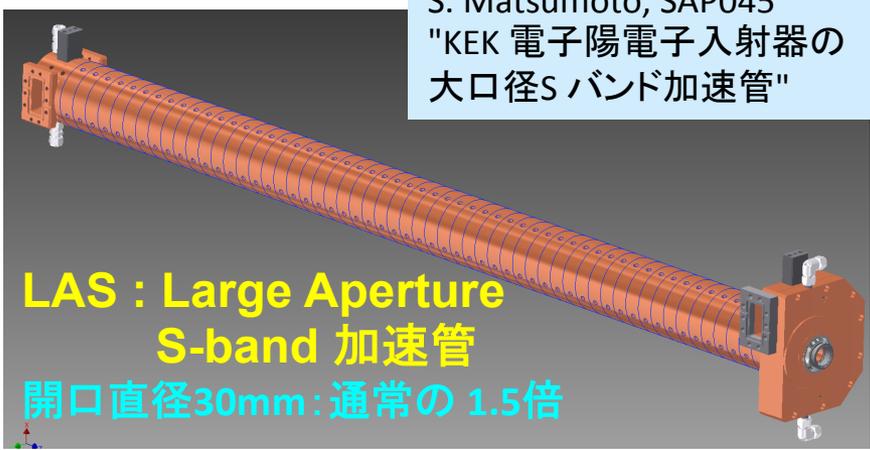


標的内の熱分布

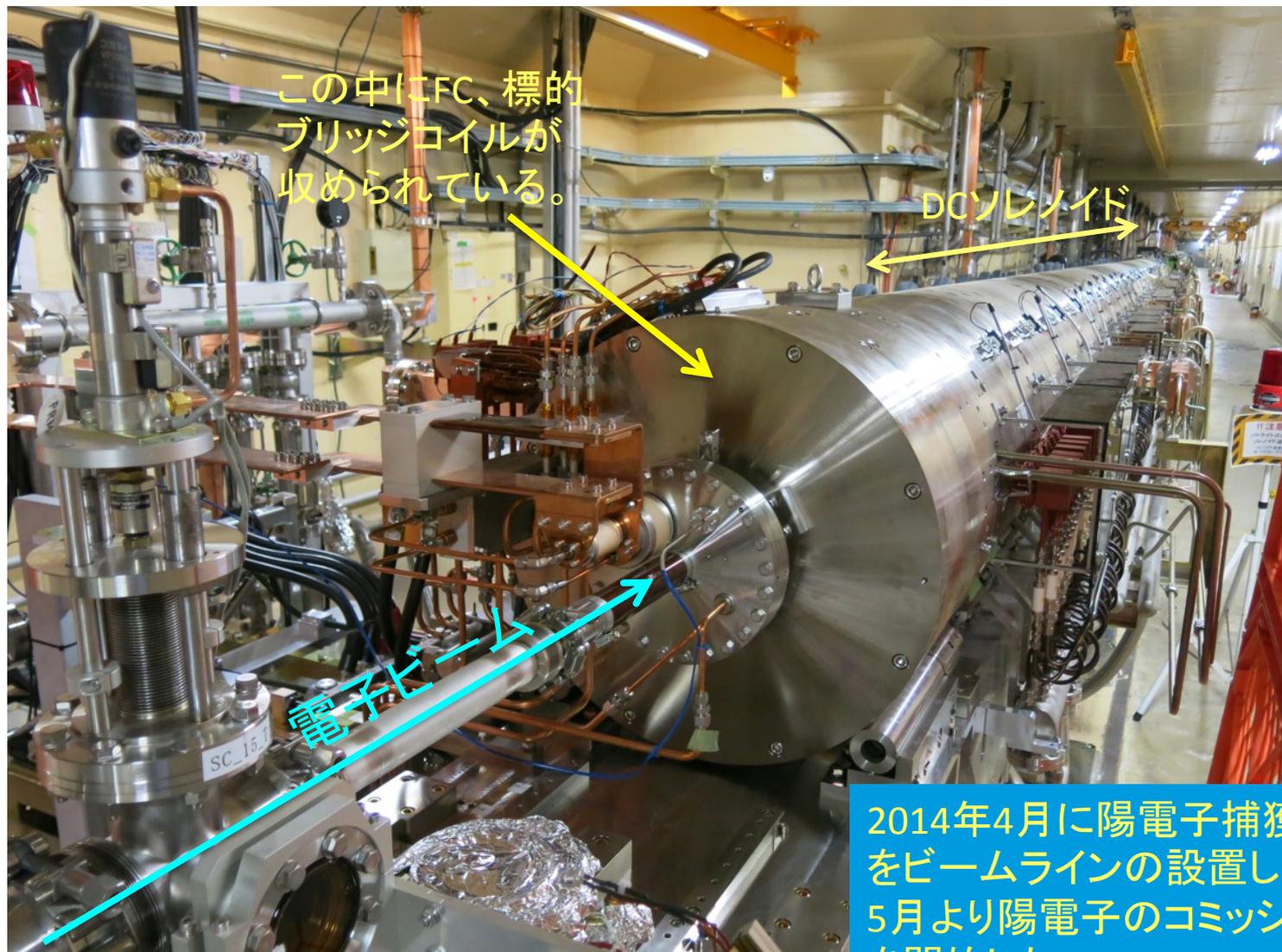
陽電子捕獲部 (e+ capture section)



S. Matsumoto, SAP045
 "KEK 電子陽電子入射器の
 大口径Sバンド加速管"



陽電子捕獲部@Linactトンネル



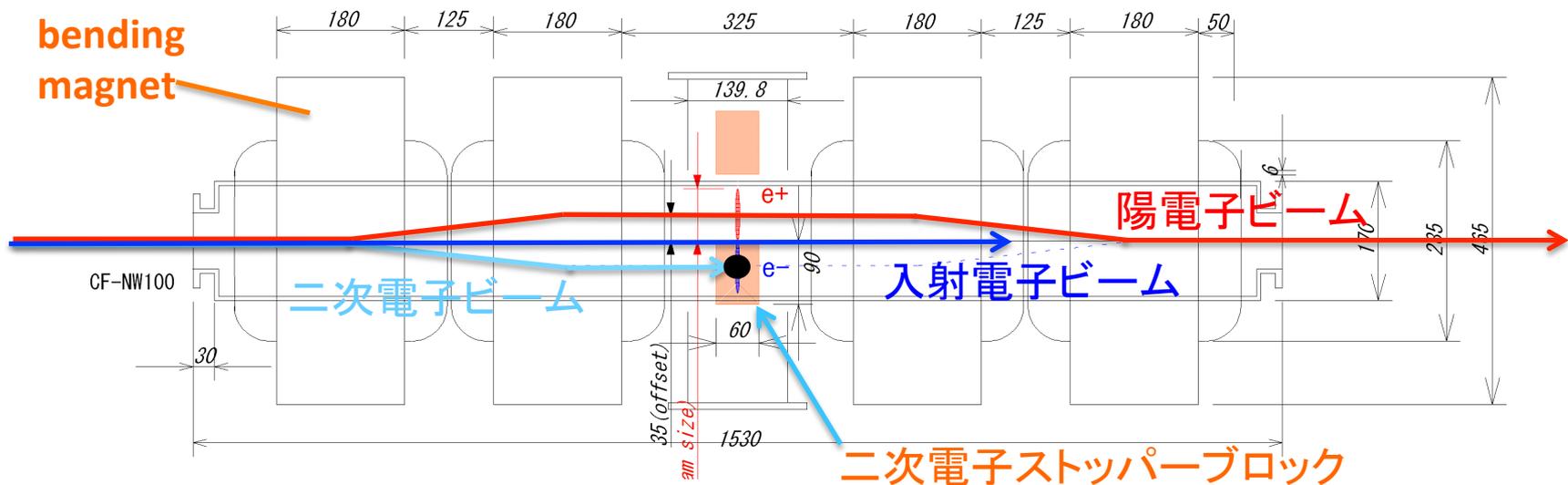
この中にFC、標的ブリッジコイルが収められている。

DCソレノイド

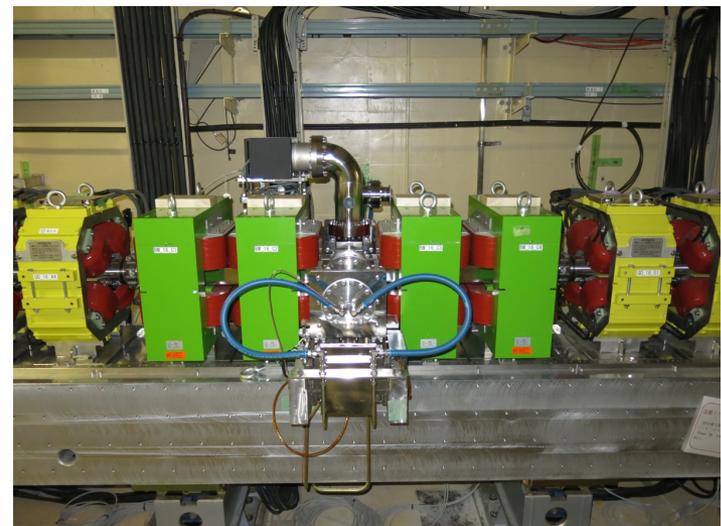
電子ビーム

2014年4月に陽電子捕獲部をビームラインの設置し、5月より陽電子のコミッショニングを開始した。

電子陽電子セパレータ



- FCの広いアクセプタンスのため
捕獲部の出口まで、陽電子とほぼ等量
の二次電子がやってくる
- ビーム位置モニターの信号が電子と陽電子
で混ざってしまい正しい情報が得られない
- 二次電子はシケイン中のストップブロックで
止め、陽電子のみ通す。
- 入射電子ビームは真ん中を通る。

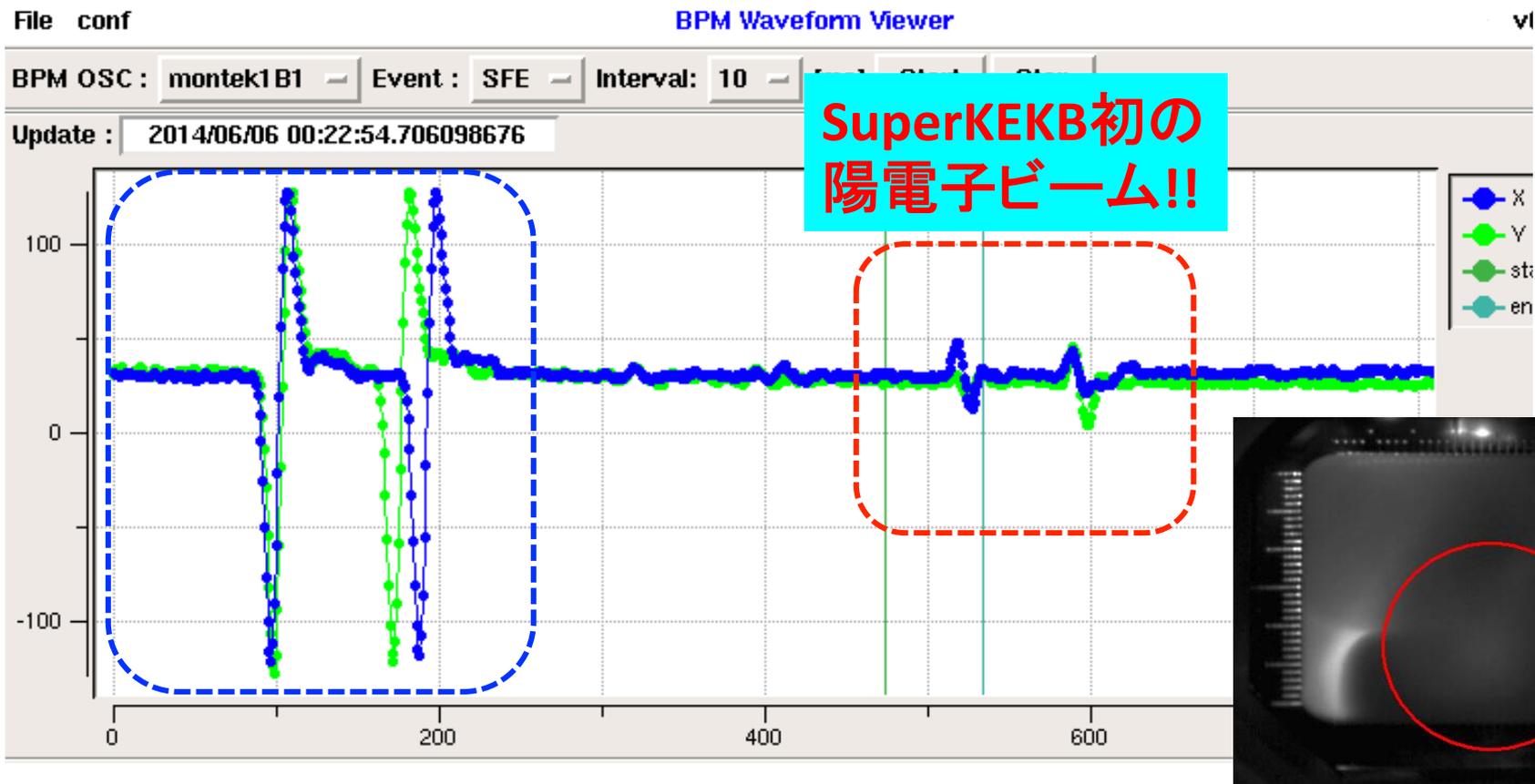


Qマグネット収束系



64mの領域にわたって、
加速管のレイアウトを変更し
Qマグネットを増設して
アクセプタンスを拡張した。

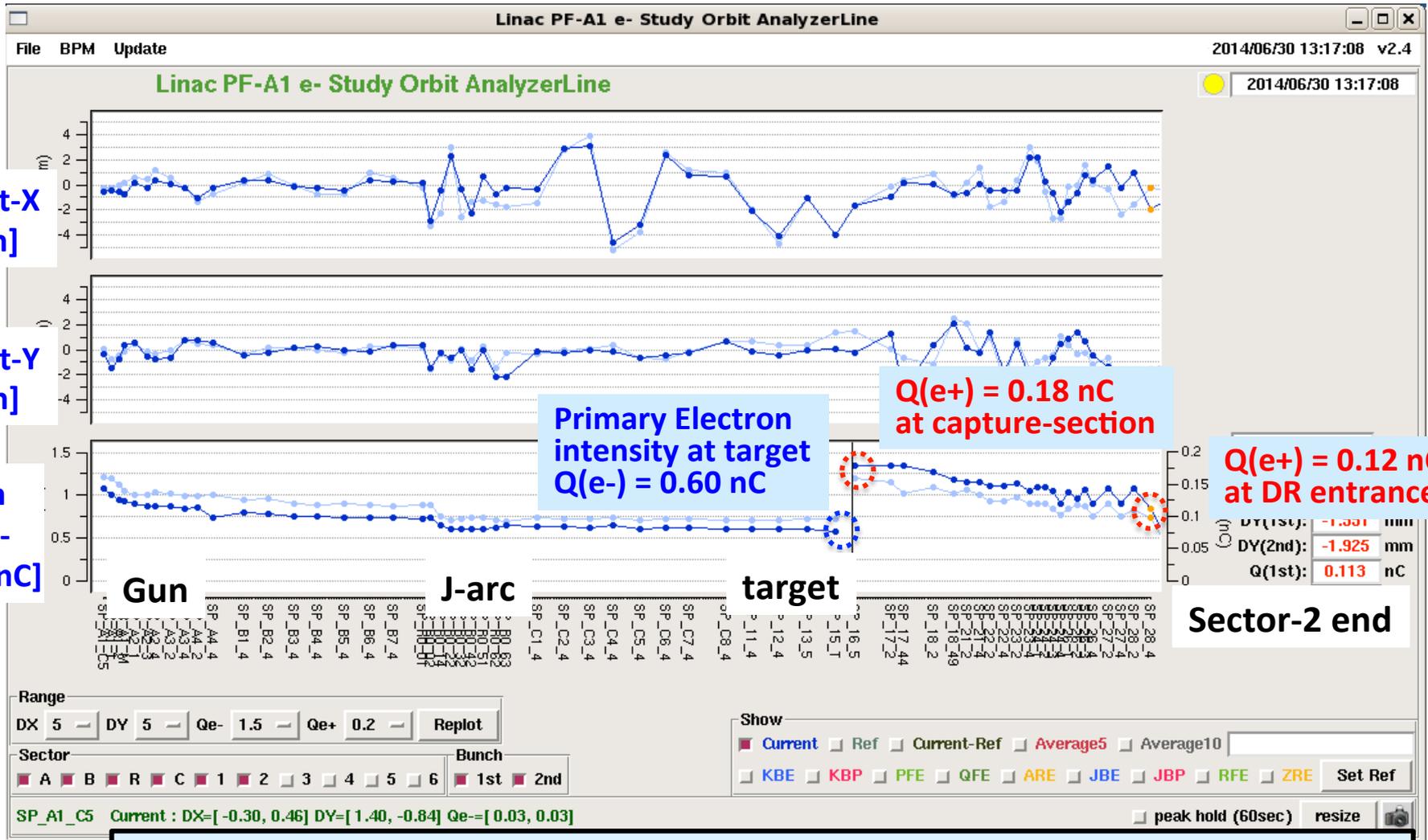
改造後初めての陽電子観測



標的直前のBPM
マイナス電荷粒子(電子)では
(-) (+) の双極性信号となる。

捕獲部下流ビームストップ直後BPM
(+) (-) の双極性信号となっている
のでプラス電荷の粒子(陽電子)
であると判断できる。

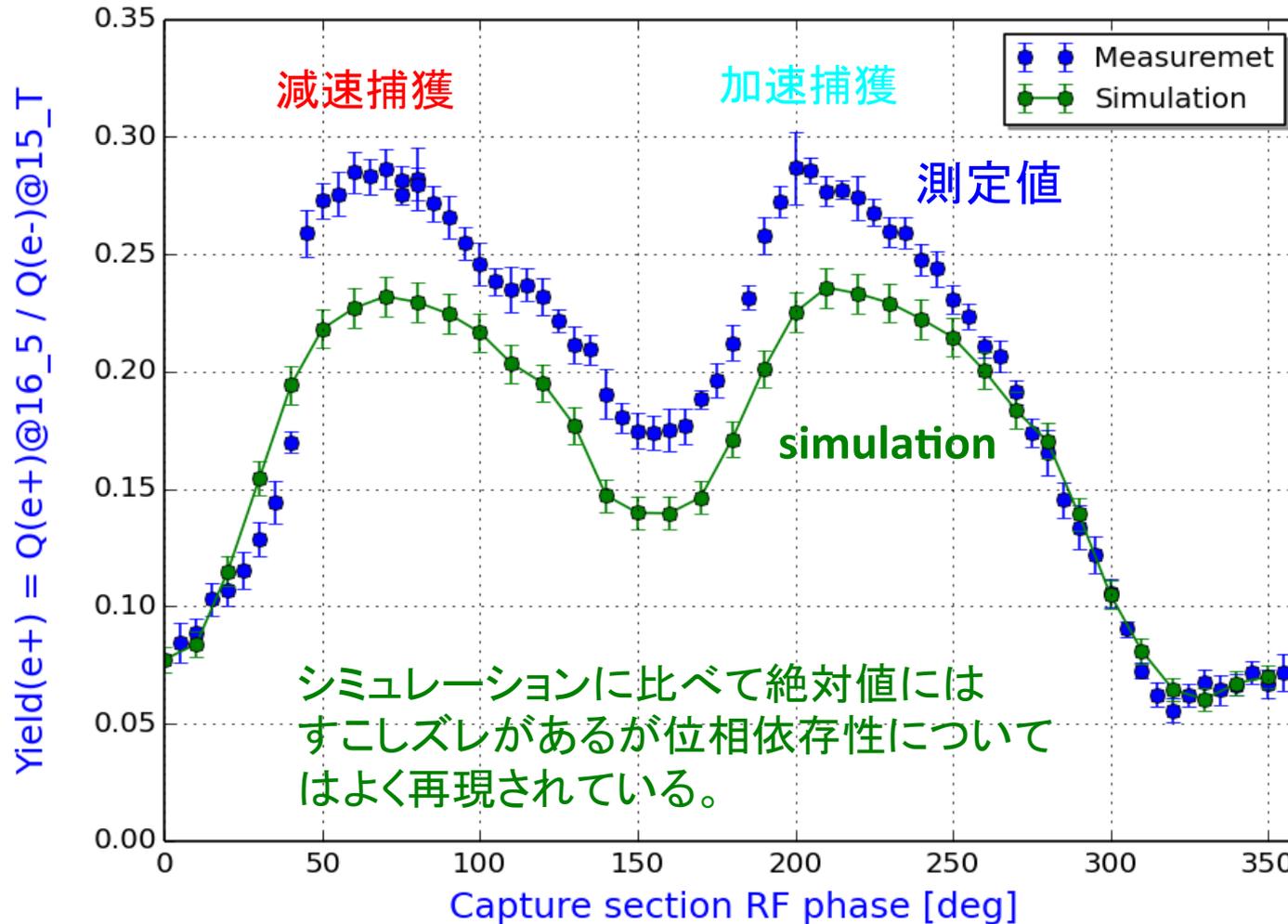
陽電子ビームの収量(2014年6月の最良値)



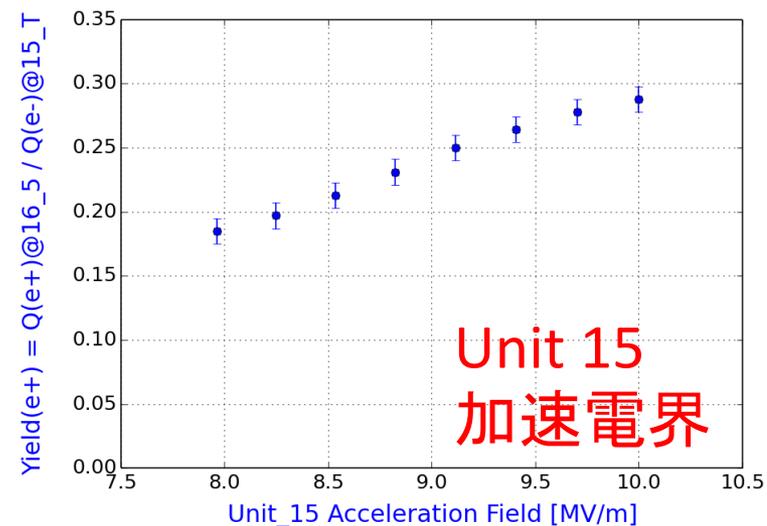
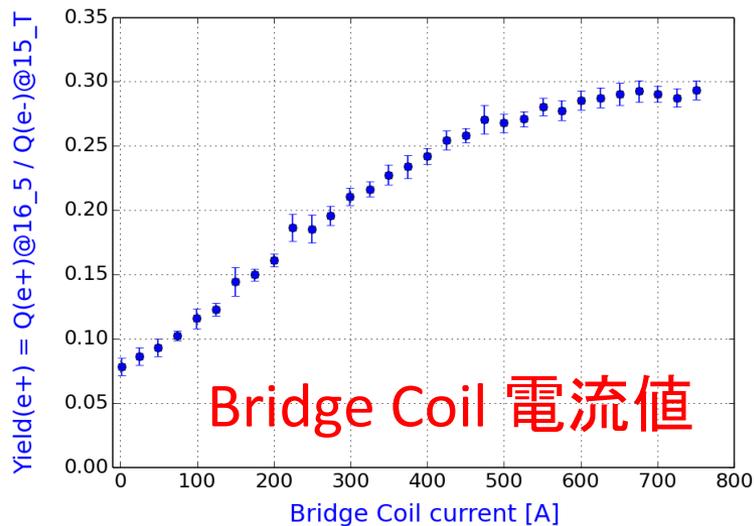
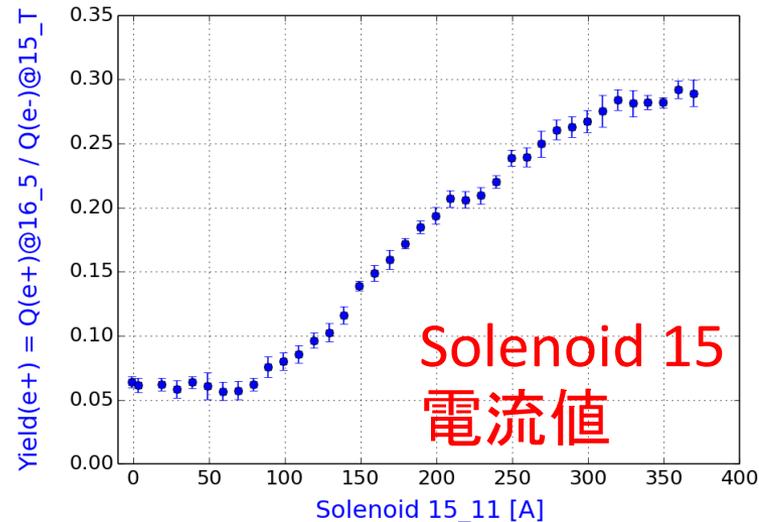
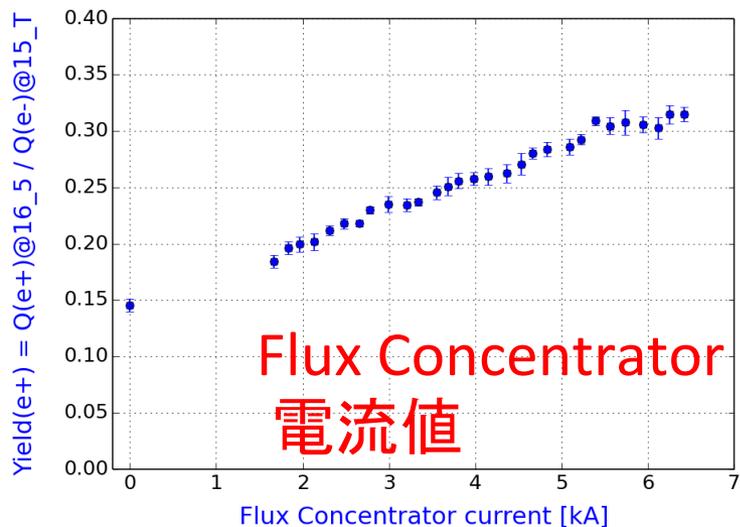
陽電子ビーム収量(Y_{e^+}) = 陽電子ビーム強度(Q_{e^+})/一次電子ビーム強度(Q_{e^-})
 $Y_{e^+} = 30\%$ at capture部出口、 $Y_{e^+} = 20\%$ at damping ring への分岐点

捕獲部RF位相に対する収量の変化 ¹⁴

FCの広いアクセプタンスのおかげで減速捕獲でもほぼ同じ収量が得られる。
減速捕獲の方が陽電子のバンチ長、エネルギー広がりが小さい。



収量の各種パラメータ依存性



まとめ

- 1) SuperKEKB陽電子源は2014年4月に設置された。
(ビームラインの改造はすでに2013年夏より開始していた。)
(陽電子生成標的、ビームスポイラ、Flux Concentrator, ブリッジコイル、LAS加速管[6本]、DCソレノイド流用[16台+新設13台]、電子陽電子セパレータ、Qマグネット[新設約90台])
- 2) 陽電子ビームのコミッショニングを開始し、SuperKEKB向けの改造後としては初めての陽電子を観測した。まだ陽電子の電荷量、収量ともに低いが、さらなる性能向上が期待される。

| | 一次電子 [nC] @標的直前 | 陽電子 [nC] @DRへの分岐点 | 陽電子収量 @DRへの分岐点 | 主なコンポーネント の達成値と仕様値 |
|----------------|--------------------|----------------------|-------------------|---|
| 2014年6月 達成値 | 0.6 ↓ x17 | 0.12 ↓ x42 | 20 % ↓ x2.5 | FC 6.4kA, ソレノイド 370A Acc field 10, 12 MV/m |
| 設計仕様値 | 10.0 | 5.0 | 50 % | FC 12kA, ソレノイド 650 A Acc field 14, 12 MV/m |
| | | DR入射 → 4.0 | DR入射 → 40% | |

- 3) 2014年10月～12月: ビームコミッショニング
2015年1月～3月 : 改造工事、 4月～6月: ビームコミッショニング
2015年7月～9月 : 改造工事、 10月～ : LER入射開始