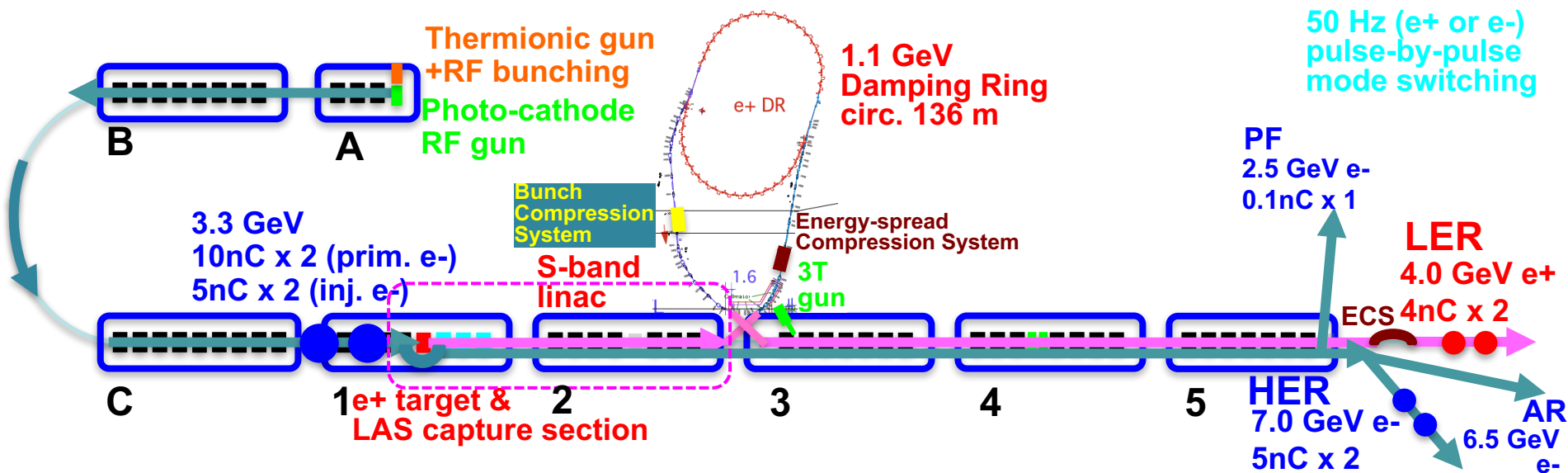


KEKB入射器改造の現状

2017. 02. 01

紙谷 琢哉

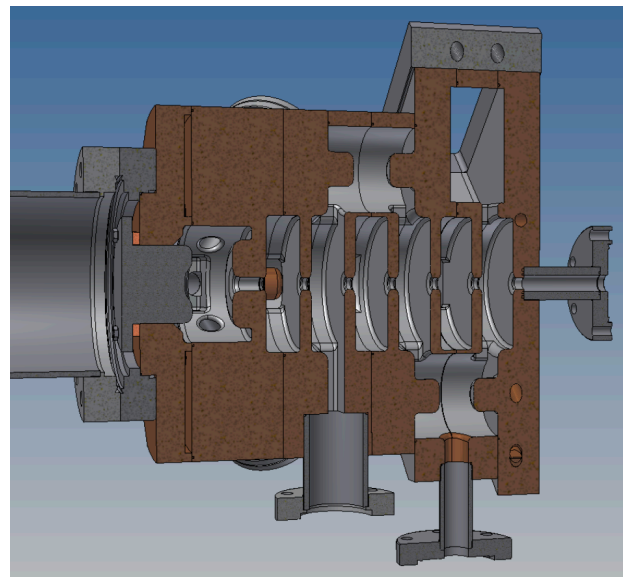
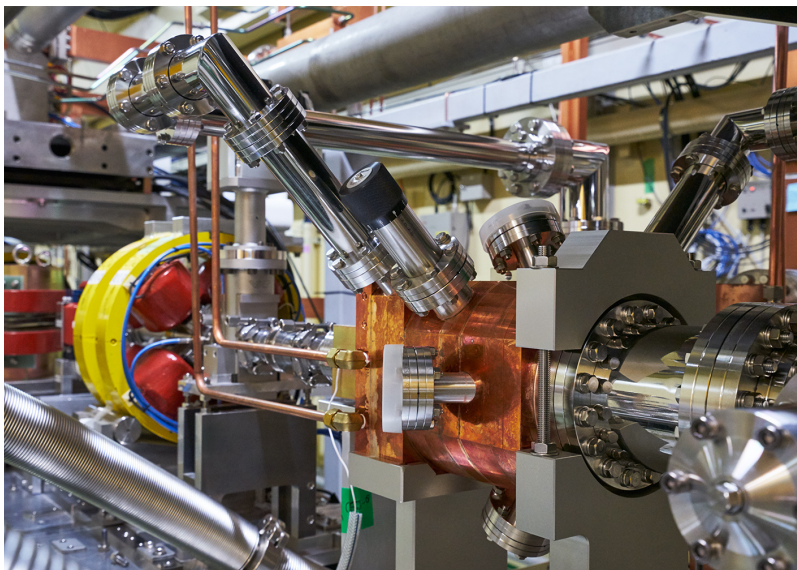
SuperKEKB入射器レイアウト



【SuperKEKBのための主な増強項目】

- Photo-cathode RF-gunからの低emittance e- beam / 熱電子銃からの大電流 e- beam
- 低emittance e+ beam生成のためのDamping Ring 新設
- 陽電子生成部の移設、改良 (FC、LAS加速管、QM収束系強化)による e+ beam 強度増強
- 3T仮入射部設置による、PF, AR運転を継続しながらのSKB用改造&commissioning
- Pulse magnet系 (特に pulse Q) 導入による beam optics/orbitのfast switching
- Beam Position Monitor系の高分解能化
- Beam line alignment の高精度化

電子入射部: RF-gunユニット (A1)



● Phase1での構成

- ❖ Ir₅Ce カソード
- ❖ Ybドープファイバーレーザー発振器
+ Yb:YAG マルチパス増幅器
- ❖ 擬似進行波型サイドカップル空洞
- ❖ 2m長加速管 x1
- ❖ 下流のシケインでバンチ圧縮

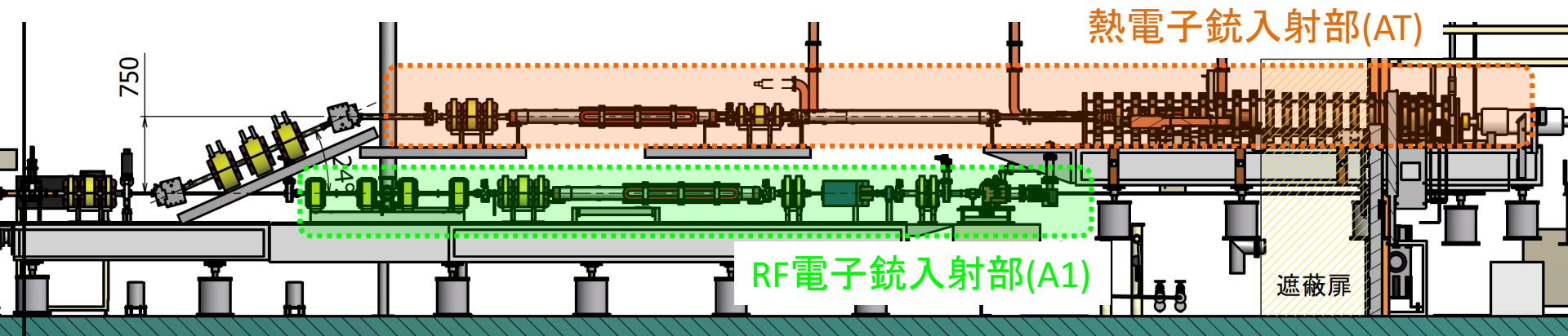
● Beam Performance in Phase1

- ❖ 電荷量 ~ 1 nC@Gun, 0.7 nC@linac-end
- ❖ エミッタンス ~ 20/18 μm(H/V)@Gun

● Phase2に向けて

- ❖ 90度曲げて入射する 2台目のRF-gunを増設する
- ❖ カソードにレーザーを正面入射して、より低エミッタンスを狙う
- ❖ 地上と地下の2つのレーザーハットを併用

電子入射部：熱電子銃ユニット (AT)



● 熱電子銃入射部の構成

- ❖ Thermionic gun
- ❖ SHB1 (114 MHz)
- ❖ SHB2 (571 MHz)
- ❖ Pre-buncher
- ❖ Buncher
- ❖ 2m長加速管 x2

● 24度斜め合流ライン

● Beam Performance in Phase1

❖ HER入射用ビーム

- 電荷量 ~ 1 nC@Gun
- エミッタンス ~ 160/300 um(H/V)@Linac 終端

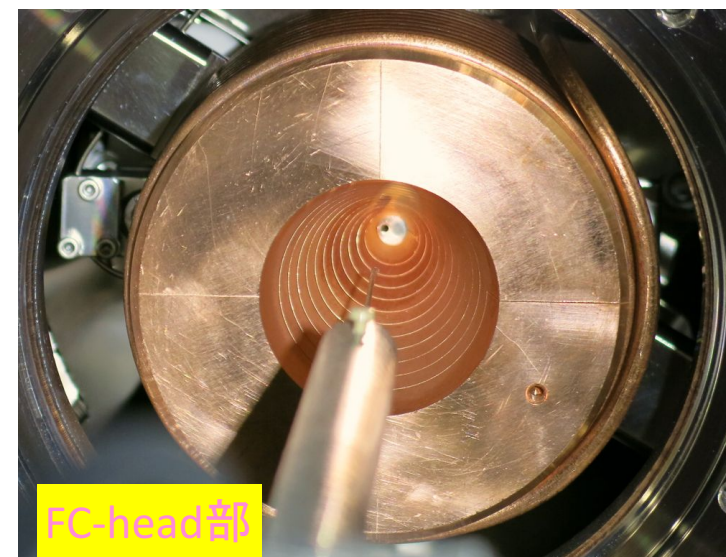
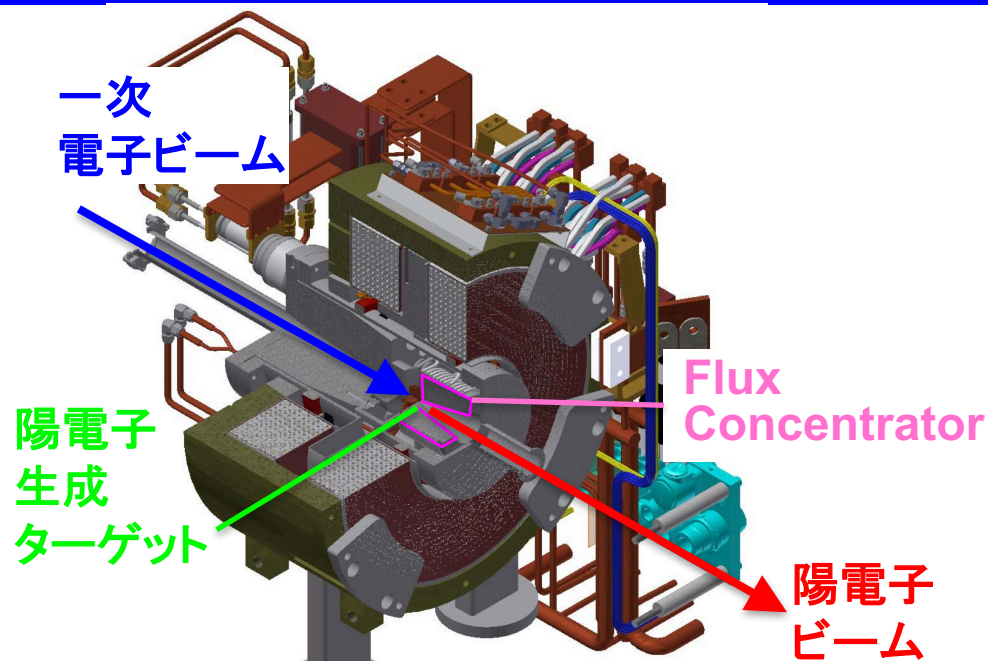
❖ 陽電子生成用一次電子ビーム

- 電荷量 ~ 10 nC@Gun → 7 nC@target

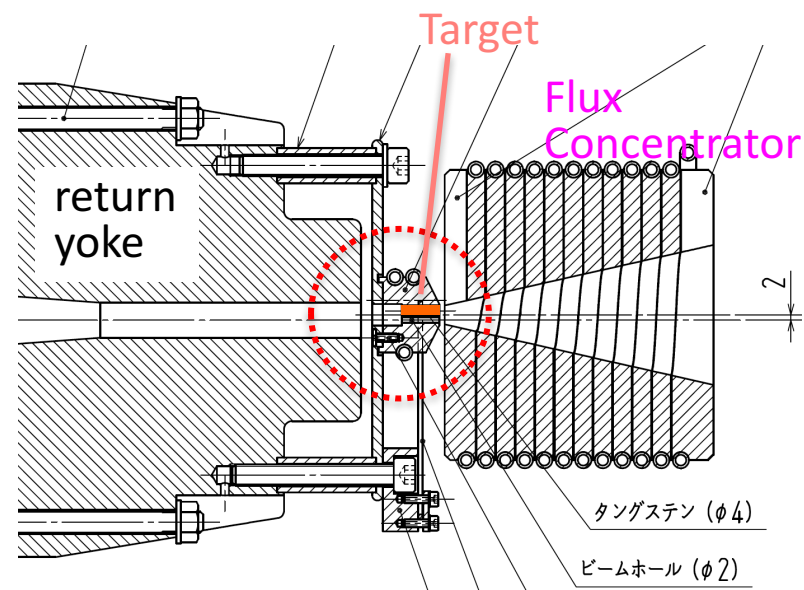
● 軌道jitter問題の究明が必要

- Phase2では合流部のbendをpulse化して、AT/A1のビームをpulse毎に切り替えられるようにする。

陽電子生成部



- 陽電子収集効率を上げるために Flux Concentrator型パルスソレノイドと大口径S-band加速管(LAS)を導入した。
- FC parameter
 - ❖ 仕様peak電流値 12 kA
 - ❖ peak磁場値 3.5 T
 - ❖ 電流pulse幅 6 μ s (half-sine波形)
 - ❖ インダクタンス 1.0 μ H

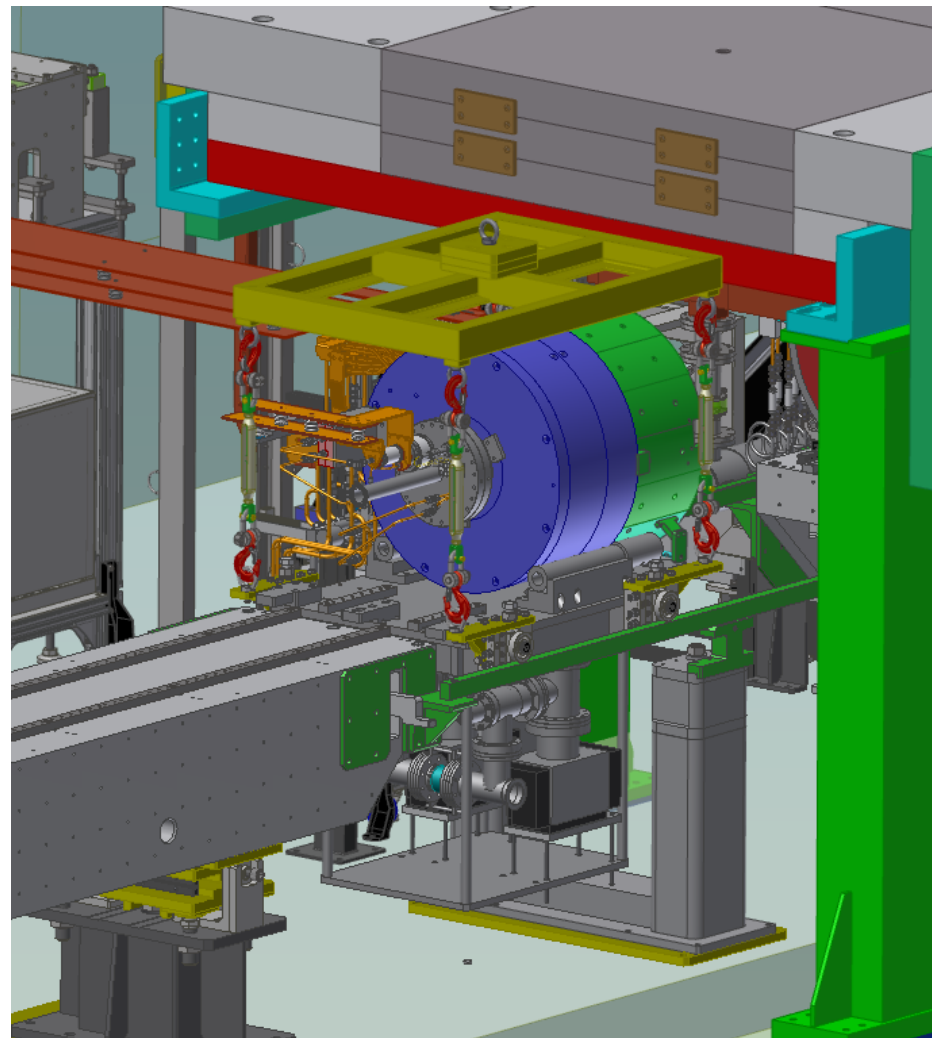


FCの現状と今後の予定

- FC-assembly#1 (FC-head#3) :
 - ❖ 銅材を加工硬化処理していないhead(#3)
 - ❖ Phase1で使用したが放電問題のため6kA以下で運転
 - ❖ 現在ビームライン上に設置、残留放射線低減中
- FC-assembly#2 (FC-head#5) :
 - ❖ 銅材を加工硬化処理したhead(#5) => 放電問題対策済み
 - ❖ 昨年中の地上部テストスタンドでの試験運転でパルス電流仕様値12kA(同時にブリッジコイル電流750A通電によるDC磁場中)を達成。
 - ❖ しかしパルス電源内の抵抗器の異常発熱問題のため、連続通電時間は1週間程度で耐久性試験としては不十分。
 - ❖ 地上部テストスタンドで電源の抵抗器を新規品に入れ替えて試験運転中
- 予定
 - ❖ パルス電源及びFC本体の耐久性試験@テストスタンド(2016年1, 2月)
 - ❖ ビームラインのFCをassembly#2に入れ替える工事(2016年3月)
FC及びLAS加速管交換機構を含めた設置作業と交換試行
 - ❖ 電子ビーム照射による陽電子生成試験(2016年4, 5月)
FC及びtargetの耐久性確認、陽電子収集性能確認
 - ❖ 2017年11月DRコミッション、2018年2月～SKB Phase2運転で活躍する予定

FC部交換機構

- FC-headとTargetを含むFC-assemblyは運転時のビーム照射による**残留放射線が強烈**なので、FC交換作業を行う際には作業者の被曝量をなるべく低減する仕組みが必須となる。
- FC-assemblyを一体として他の部分から切り離して、しかるべき保管場所へ移動する。
- **切り離しや搬出作業が迅速に行えるような交換機構**を組み込み、また放射線遮蔽を備えた搬送台車を準備した。
- またFCの下流にあるLAS加速管の部分についても交換作業を迅速化するための改良を行っている。



仮入射部 (3T)

- これまでは

- ❖ 3T以降の入射器後半部分を用いた PF, AR入射運転 と
- ❖ 前半部分でのビームコミッショニング 或いはビームライン工事

を平行して行う事ができた。

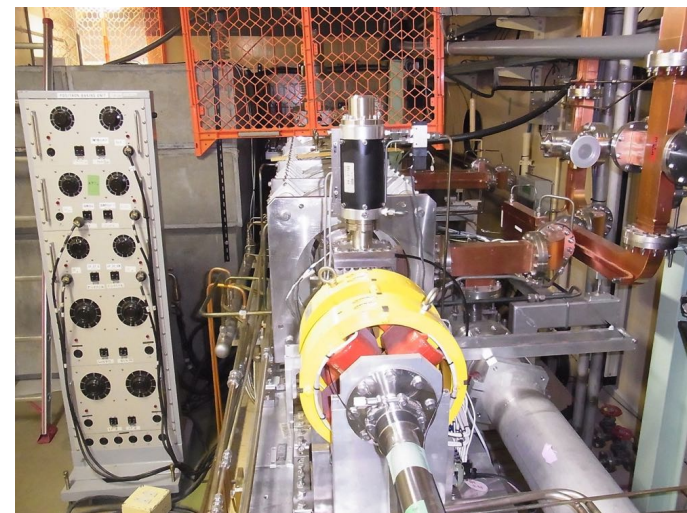
- 2017年5月からの工事で3Tを撤去する。

- 撤去する理由

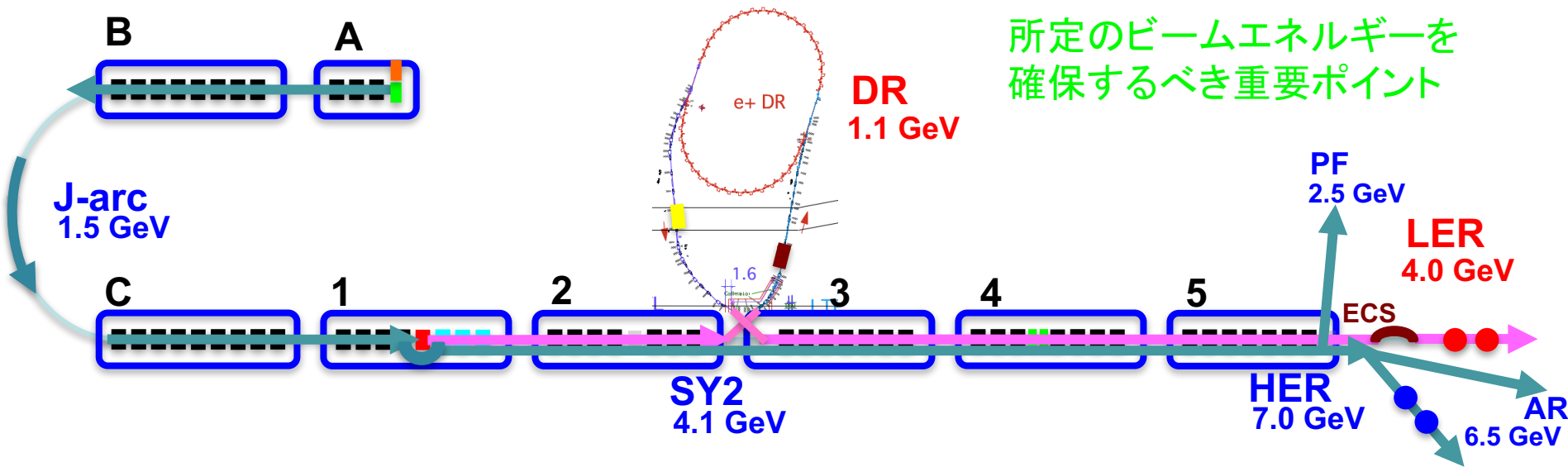
- ❖ DRのECS及びBCS用のクライストロン電源を置くスペースは 3T用の電子銃電源、クライストロン電源とは両立しない
- ❖ ビームラインに3Tの代わりに通常の加速ユニット3-2を再設置しなければHER, LER入射エネルギーのマーヅンが足りなくなる

- その結果として

- ❖ PF, ARについてもA1/ATから入射するため、ビーム運転と工事を 平行して行う事はできなくなる
- ❖ 重大な故障等の発生時には SuperKEKB, PF, AR は一蓮托生となる



ビームエネルギーのマージン



1つの加速ユニットが使えなくなった場合、普段は予備として加速に寄与していないスタンバイユニットが代わって加速することで必要な加速エネルギーを確保する。

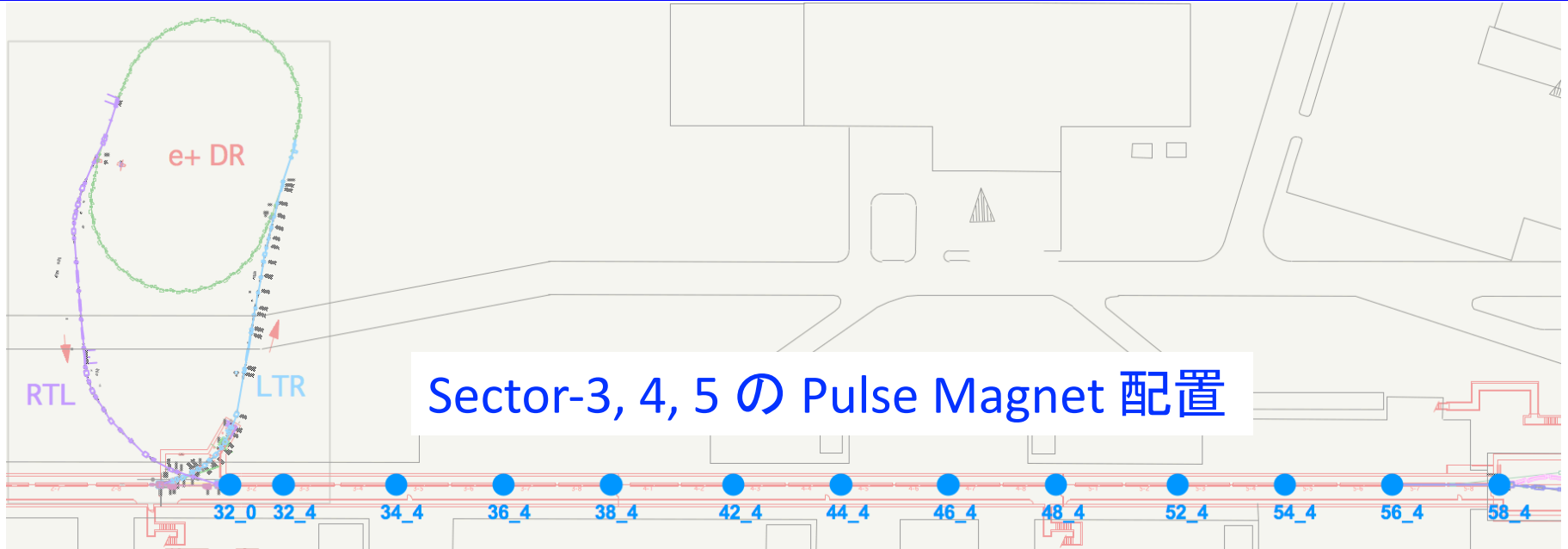
- J-arc 1.5 GeV e⁻ in A, B-sector 1台 (unit B-8)
- DR 1.1 GeV e⁺ in 1, 2-sector 1台 (unit 2-6)
- SY2 4.1 GeV e⁻ in C, 1, 2-sector 同じく共通でunit 2-6
- LER 4.0 GeV e⁺ in 3, 4, 5-sector 1台 (unit 5-7)
- HER 7.0 GeV e⁻ in 3, 4, 5-sector 同じく共通でunit 5-7
(AR 6.5 GeV e⁻ 及び PF 2.5 GeV e⁻)

計3台をスタンバイ用ユニットとする。但し、局所的に2台同時に不調になった場合は運転停止

Upsilon-5S, 6Sでの運転

- 通常はUpsilon-4S ($E_{\text{cms}} = 10.58 \text{ GeV}$, $E(e^-) = 7.0 \text{ GeV}$, $E(e^+) = 4.0 \text{ GeV}$) で運転する。
- Upsilon-6S ($E_{\text{cms}} = 11.02 \text{ GeV}$, $E(e^-) = 7.29 \text{ GeV}$, $E(e^+) = 4.17 \text{ GeV}$) で運転するためには、通常スタンバイとなっている unit 2-6 及び 5-7 を動員しなければ必要なビームエネルギーが確保できない。
(1ユニット当りの加速エネルギーはおよそ 0.16 GeV である。)
- Upsilon-5S ($E_{\text{cms}} = 10.87 \text{ GeV}$, $E(e^-) = 7.19 \text{ GeV}$, $E(e^+) = 4.11 \text{ GeV}$) でもほぼ 6S での運転と同様の状況となる。
- ほぼスタンバイが無い状態に近い運転状況となるので、**加速ユニットに不調が起きた場合にはすぐにビーム入射が止まるような不安定な運転状態であることを覚悟していただきたい。**

パルスマグネット導入



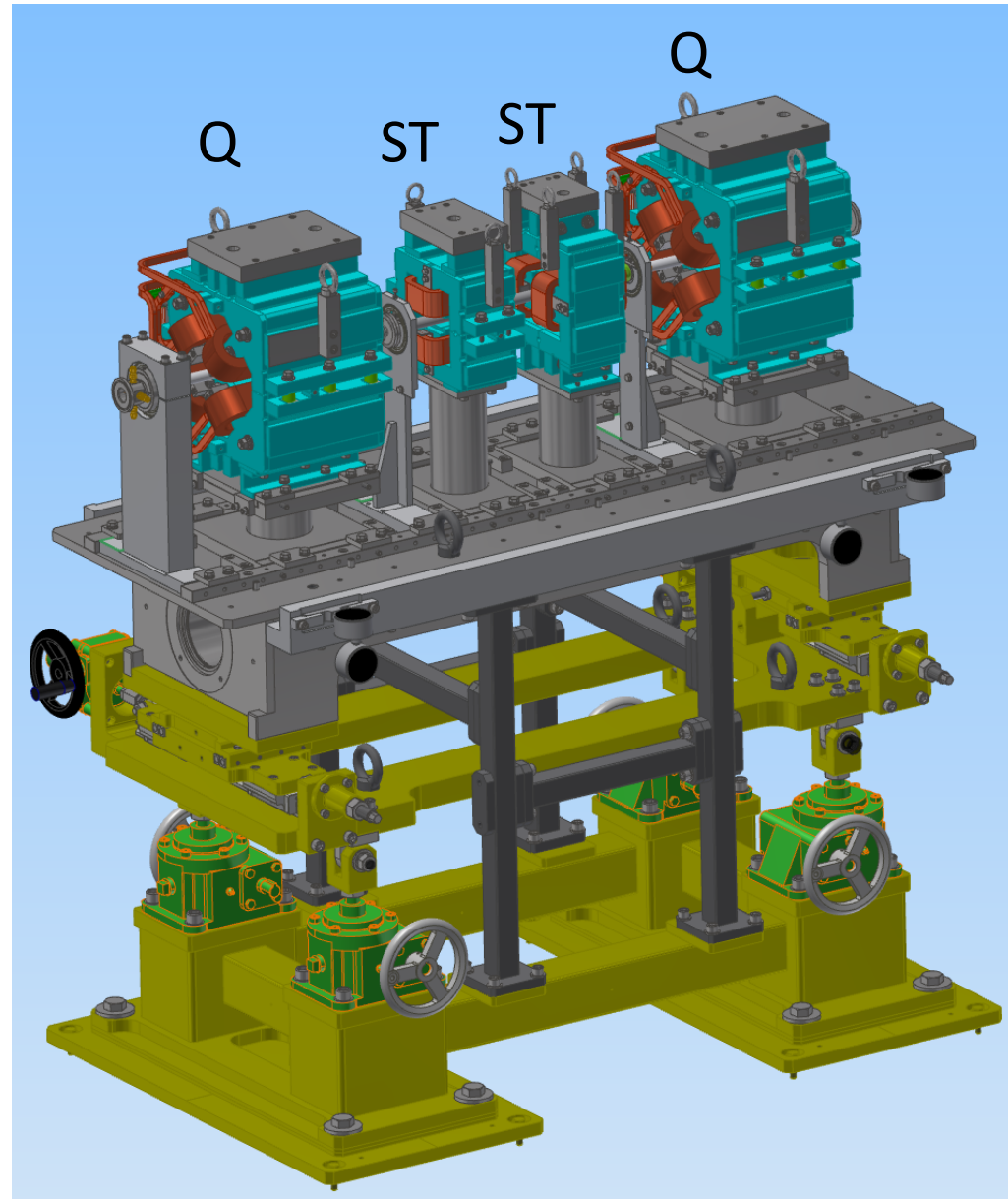
Sector-3, 4, 5 の Pulse Magnet 配置

それぞれのbeam mode (HER, LER, PF, AR) について、マグネットのoptics設定及びorbit設定をpulse毎に切り替えられるように、pulse-Q, pulse-Steeringを導入する。(KEKBでは限定された箇所のみpulse-STを使用していた。)

- Sector-3, 4, 5 の Q-magnet は既存の DC-Q を全て撤去してpulse-Q に置き換える。
- Sector-3, 4, 5 の steering は既存の steering coil と新設の pulse-ST を併用する。
- 入射部のAT/A1合流部の DC bend は pulse bend に置き換えて、モード毎にビームを打ち分ける。
- Sector-1, 2 では DC-ST と pulse-ST を併用する。
- Target直前では DC-Q と pulse-Q を併用して収束の強さをモード毎に変える。

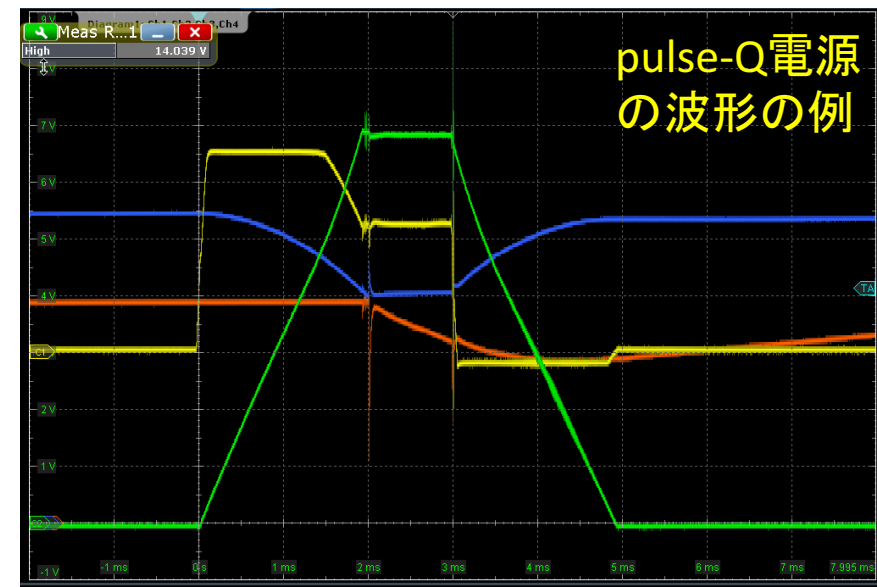
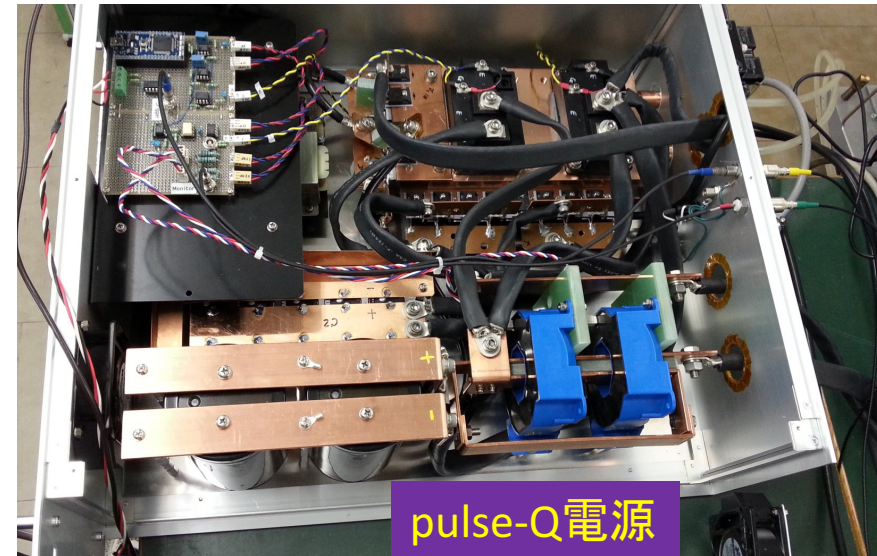
パルスマグネット(3, 4, 5-sector標準型)

- 3, 4, 5-sectorの全13ヶ所には、pulse-Q 2台(QF, QD)とpulse-ST 2台(PX, PY)のセットを導入する。
- これに伴いこれらの場所にあるDC-Qは撤去する。
- このセットは図のような架台上に設置される。
- この架台は隣接する加速ユニットとは独立に水平、垂直方向のalignmentを調整することができる。
- 将来はリモート制御できるように改造する事が可能。



パルスマグネット電源

- pulse-Q
 - ❖ 最大仕様peak電流値 330 A
 - ❖ 最大仕様磁場勾配 60 T/m
 - ❖ インダクタンス 1.0 mH
- pulse-Q用電源
 - ❖ エネルギー回収型 (夏井氏, 吉田氏開発)
 - ❖ 電流立ち上がり時間 2 ms
 - ❖ 電流フラットトップ時間 0.5 ms 以上
 - ❖ 電流値安定度 0.1% 以下
- pulse-ST
 - ❖ 運転仕様peak電流値 6.6 A (10 A)
 - ❖ 磁場値 29 mT @ 6.6 A (32_4タイプ)
 - ❖ インダクタンス 2.9 mH (32_4タイプ)
- pulse-ST電源
 - ❖ バイポーラリニア型 (榎本氏, 夏井氏開発)
 - ❖ 電流立ち上がり時間 2 ms
 - ❖ 電流フラットトップ時間 0.5 ms 以上
 - ❖ 電流値安定度 0.1% 以下



今年2017年の春、夏工事

- 2017年3月
 - ❖ FC assembly #1 → #2 への交換工事
- 2017年4～5月(Beam運転)
 - ❖ FC assembly #2による陽電子ビーム性能確認及び耐久性試験
- 2017年5～9月
 - ❖ 3T仮入射部及び仕切り壁シールド撤去
 - ❖ SY2シケインビームライン設置
 - ❖ DR-LTR, RTLのECS, BCS関連コンポーネントの設置
 - ❖ 3-2ユニット復元
 - ❖ 3, 4, 5-sector Pulse magnet (Q+ST) 系への置き換え作業
 - ❖ AT/A1合流部bendのpulse化
 - ❖ 1, 2-sector Pulse Q 及び Pulse-ST 設置

まとめ

- SuperKEKB Phase1運転において入射器は熱電子銃、RF電子銃及び陽電子生成部からSuperKEKB運転に必要な電荷量の電子、陽電子ビームを安定に供給する事ができた。
- 2017年秋の運転及びPhase2運転に向けては、
 - ❖ 低エミッタンス電子ビームの供給
 - ❖ 陽電子生成部Flux Concentratorの安定運転と陽電子電荷量の向上
 - ❖ 3T仮入射部の撤去に伴うAT/A1入射部からの全リングへのビーム供給
 - ❖ DR運転開始に向けたDR-LTR, RTLのECS, BCS系加速ユニットの立ち上げ
 - ❖ パルス毎optics/orbit切り替えに向けたPulse Magnet系の安定稼働が課題となる。
- 2017年の夏工事ではSuperKEKBのみならずPF, ARへの影響も大きいと思われる改造項目を含んでいる(3T部撤去及び3,4,5-sectorのPulse magnet系への置き換え)が、工事及び物品調達のスケジュールがきついこと及び、開発要素(特にRF電子銃とPulse magnet電源)があるものの立ち上げを行う必要があるという条件下で進めているということについてご理解をいただきたい。