

第122回Bファクトリー計画推進委員会

2022年11月22日

2022入射器運転とLS1アップグレード

KEK e+/e- injector linac group

紙谷 琢哉

報告内容

● 入射器の状況について

- ❖ ビーム入射状況(入射電荷量の履歴)

- ❖ 最近の改善項目

- [1] RF-gun レーザー導入窓の交換と真空ポンプ追加

- [2] RTL (from DR to Linac) への高速キッカーの導入
(2バンチ間の DR 出射角度の違いの補正用)

● LS1期間における入射器のアップグレード項目

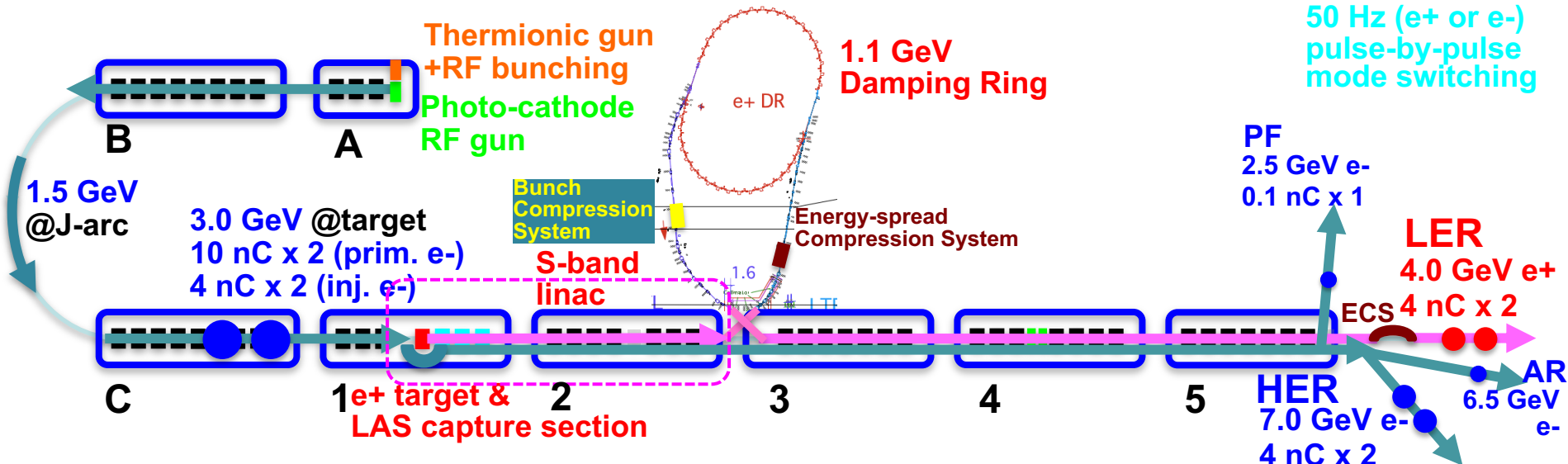
- ❖ [1] J-arc matching section でのパルス四極への置き換え

- ❖ [2] セクター 1, 2 (e+/e- compatible optics region) での
パルス四極への置き換え

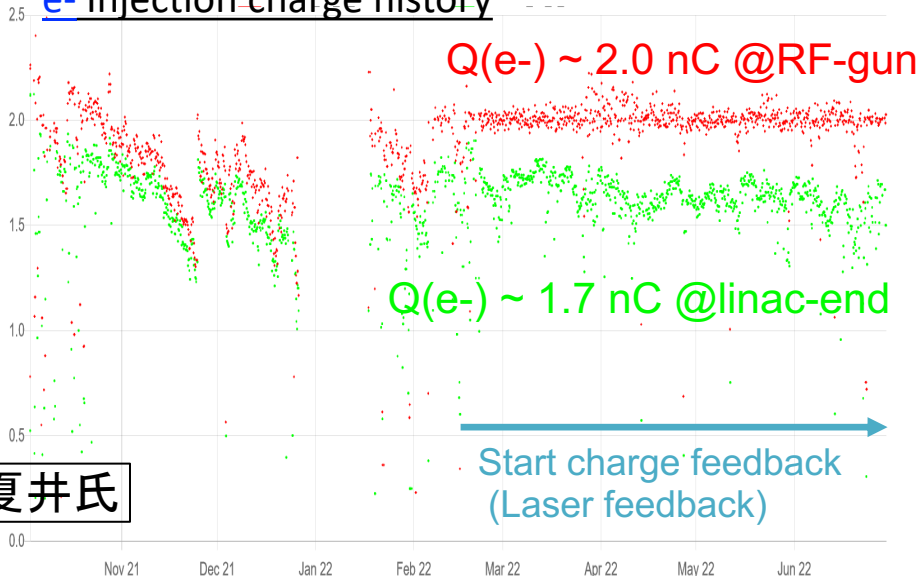
- ❖ [3] Linac への高速キッカーの導入 (2バンチ間の軌道差の補正用)

Linac レイアウトと入射電荷量の履歴

● Linac は e-/e+ ビームを HER, LER, PF & AR へ安定的に入射している

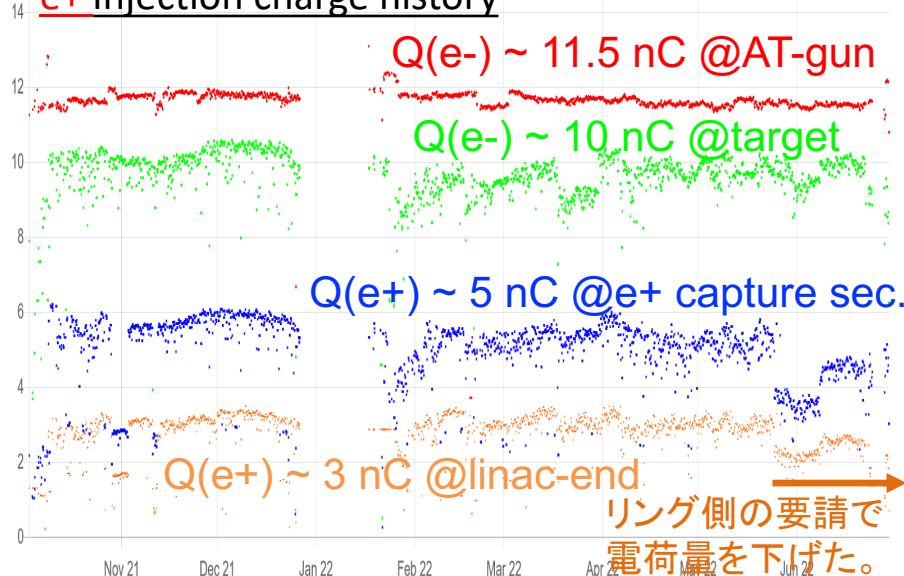


e- Injection charge history



夏井氏

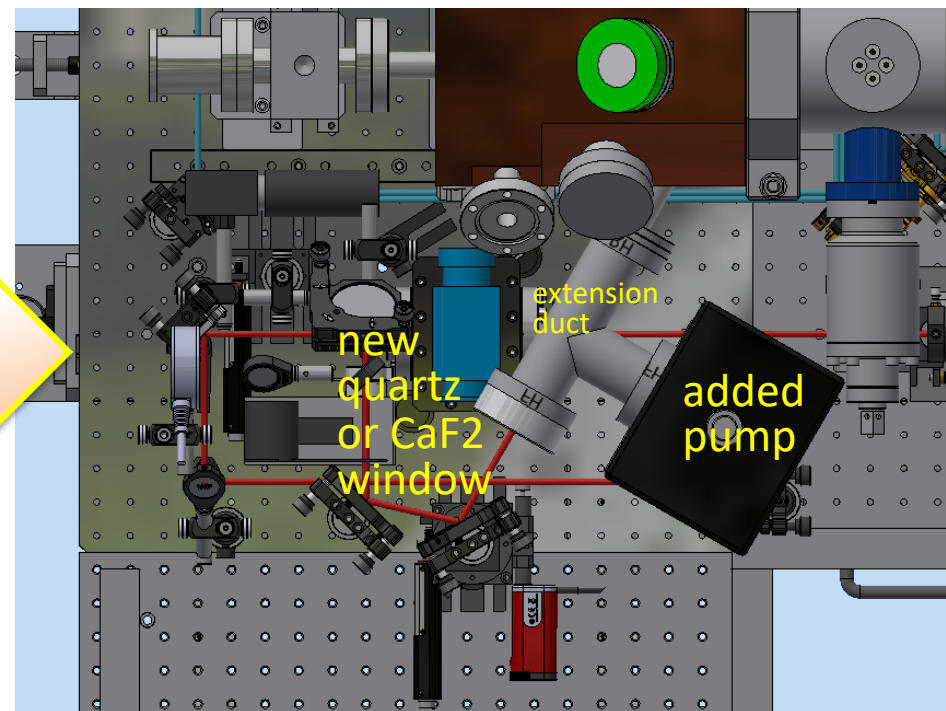
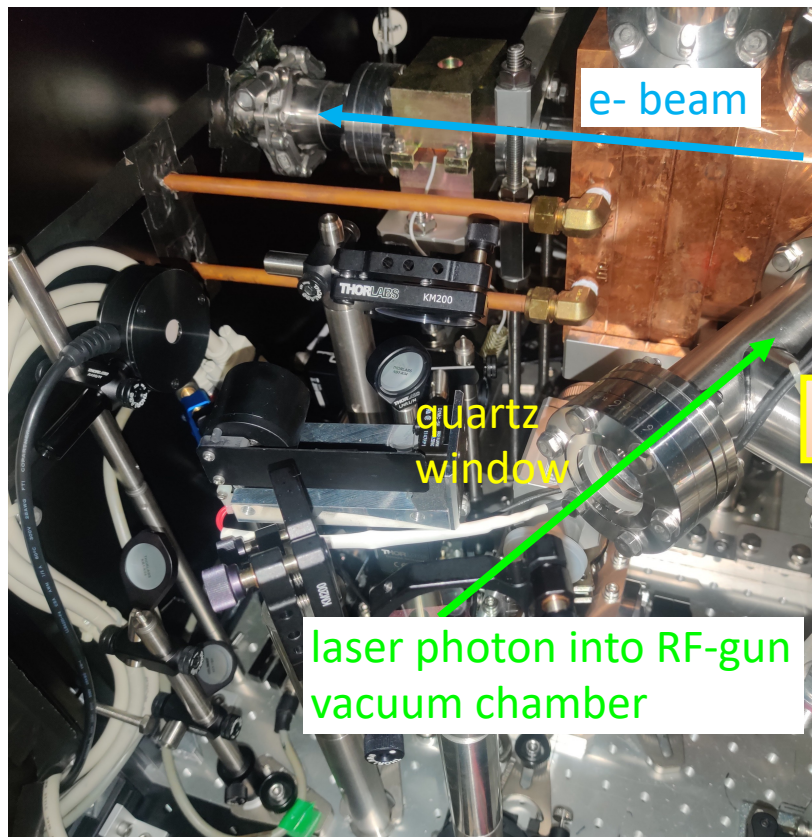
e+ Injection charge history



[1] RF-gun レーザー導入窓の交換

- レーザー光導入用の石英窓の内側表面への汚れの付着によりビーム電荷量が漸減していく現象があり、対策として
- 新しい窓(石英及びCaF₂)に交換した
- イオンポンプを追加した(表面の汚損を低減するため)

周氏

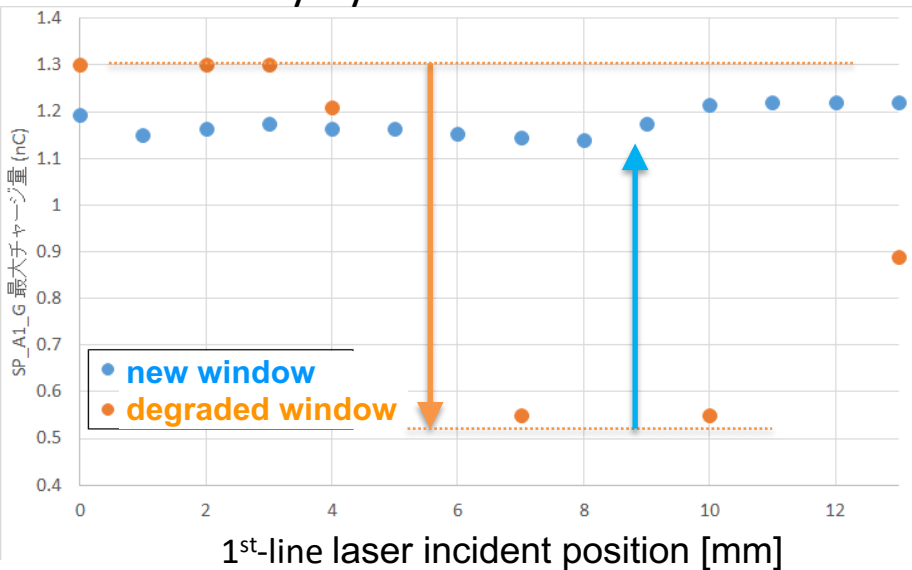


窓交換後の電子ビーム強度の回復

- RF-gun は2つのラインのレーザー光を合流させて使用している
- 窓のレーザー光の当たる領域では汚損により電子ビーム強度が40%減少しており、光の入射位置を少しずつずらして対応していた。
- 窓の交換後は全領域で電子ビーム強度が回復した。

吉田氏

e- intensity by 1st-line laser

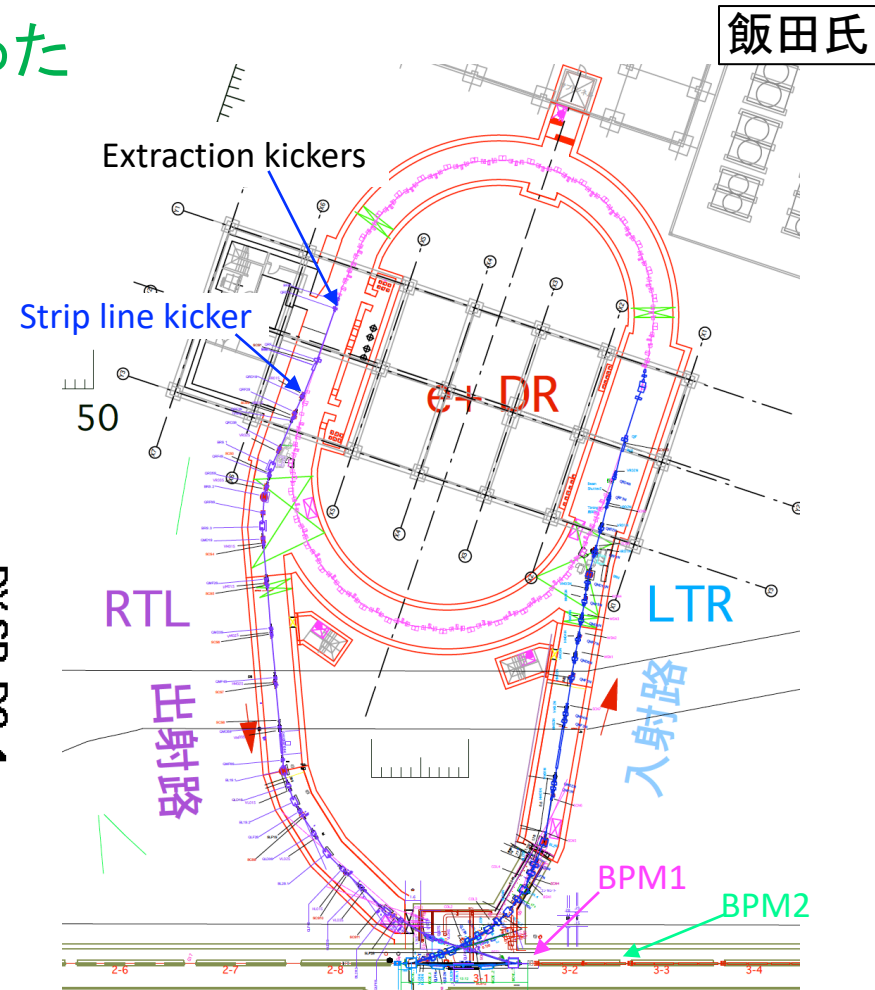
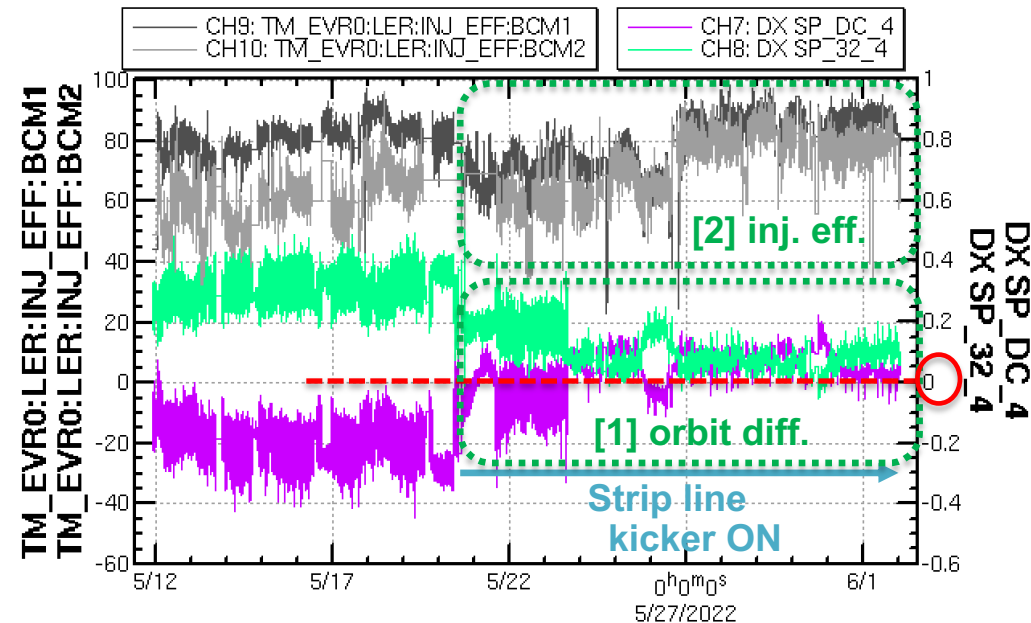


e- intensity by 2nd-line laser



[2] RTL 2バンチ軌道差の低減

- DR 出射キッカーのパルス電流波形の不均一性のため陽電子の1st/2nd バンチ間に軌道差とリング入射効率差を生じた
- この補正のため高速ストリップラインキッカーがインストールされた
- [1] バンチ間の軌道差が小さくなった
BPM1 and 2 にて測定
- [2] LER入射効率がほぼ同じになった



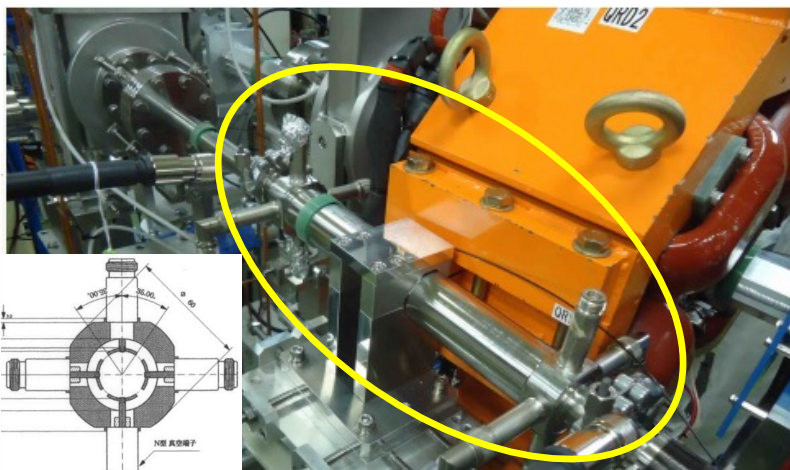
高速 ストリップライン キッカー

- RTL (DR to Linac) において 2nd バンチのみ蹴るストリップラインキッカーを導入した。(KEK ATFにて開発されたもの)

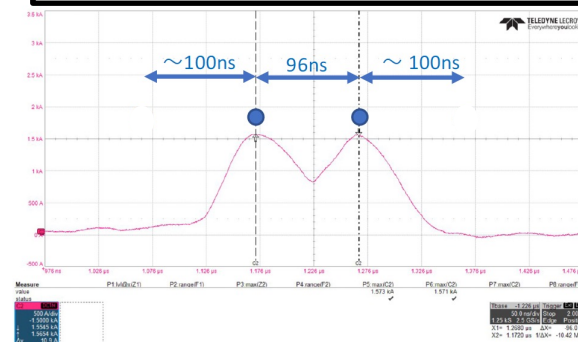
小玉氏、内藤氏

- 電場型キッカー

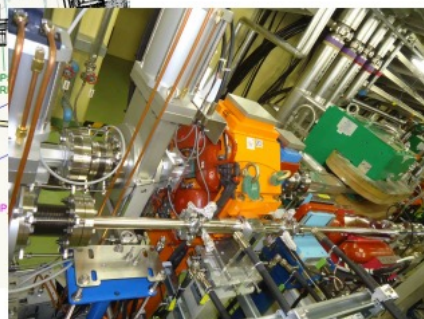
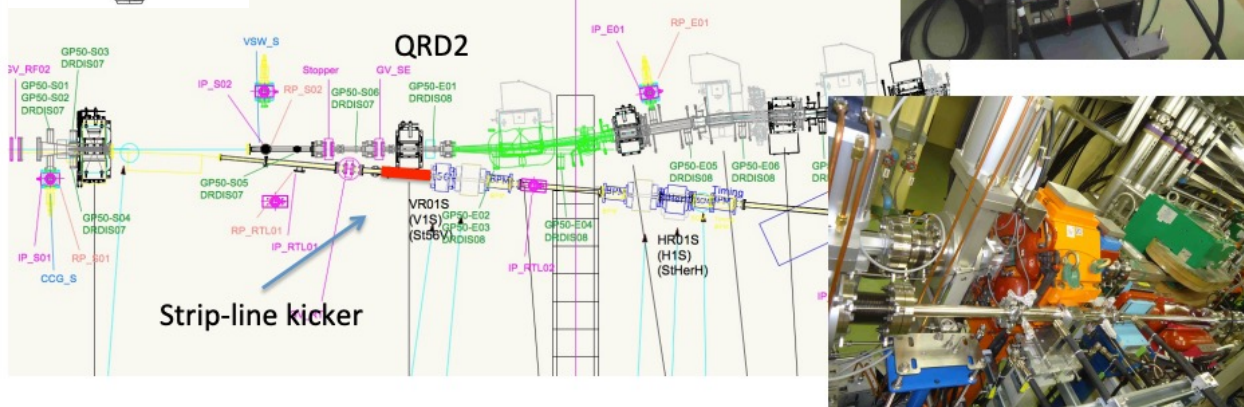
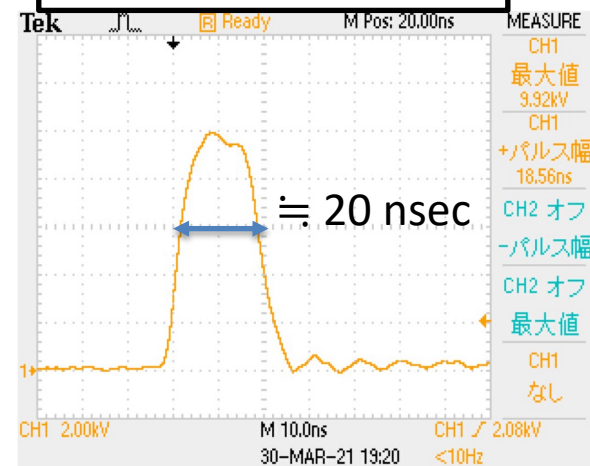
kick angle 0.14 mrad with +/- 8 kV
pulse length ~ 20 ns



DR Extraction Kicker pulse



Strip Line Kicker pulse



LS1アップグレード項目[1] パルス四極@J-arc

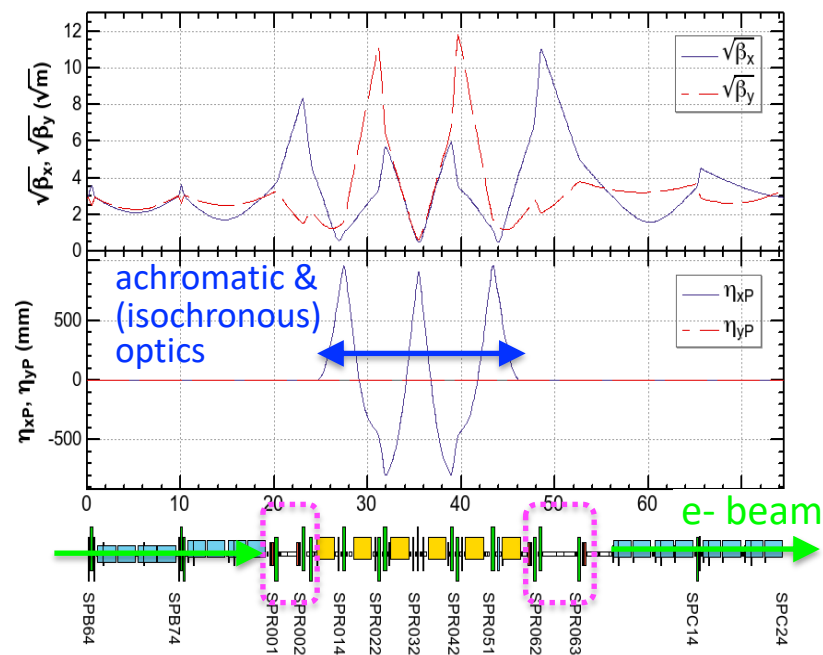
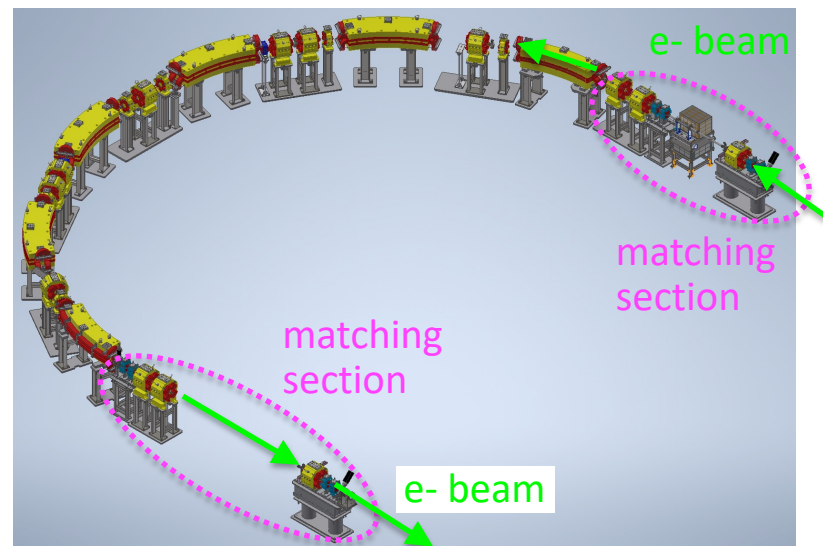
● ビーム光学の状況 @J-arc

- ❖ Achromatic である180度 J-arc ではその前後の直線部の周期的な収束系とのマッチングをうまく取らないと **光学のミスマッチが生じ、ビームロスに到ることもある。**
- ❖ このようなビームロスは、元々大きなエミッタンスを持つ陽電子生成用の一次電子において問題である (KBP)
- ❖ 一方、マッチング調整のために四極の強さを変えるとHER入射用の低エミッタンスビーム (KBE) や PF, AR 入射用のビームにも影響を与えてしまう。

● パルス四極導入の動機

- ❖ **マッチングセクションにパルス四極を用いるとそれぞれのビームモードごとに独立のマッチング調整が可能になる**

清宮氏、岡安氏



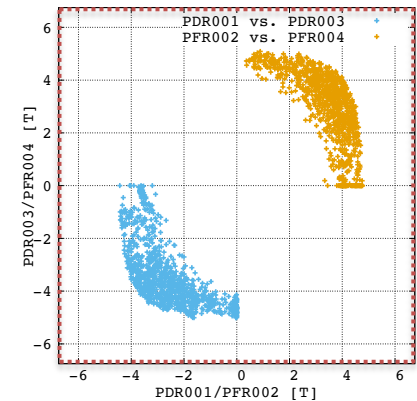
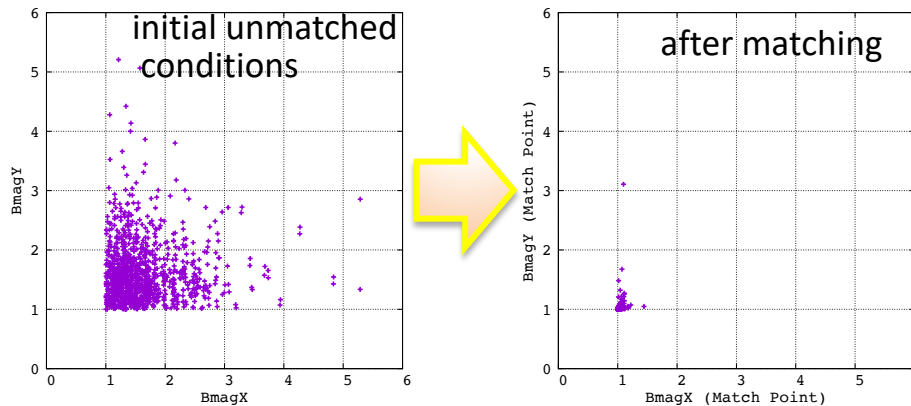
オプティクスマッチングシミュレーション

- パルス四極: 入口部 4台 and 出口部 4台
- マッチング調整能力 の評価のためシミュレーションを行い
初期Twissパラメータを乱数で振ってマッチングを試みた
- マグネットの磁場仕様値内で, うまくマッチングが取れて
 $B_{mag_{x,y}}$ 値が 1 付近になるように調整できることが確認された

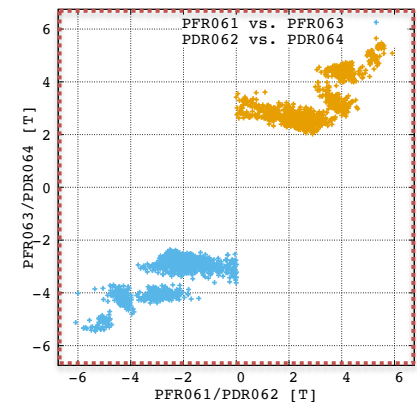
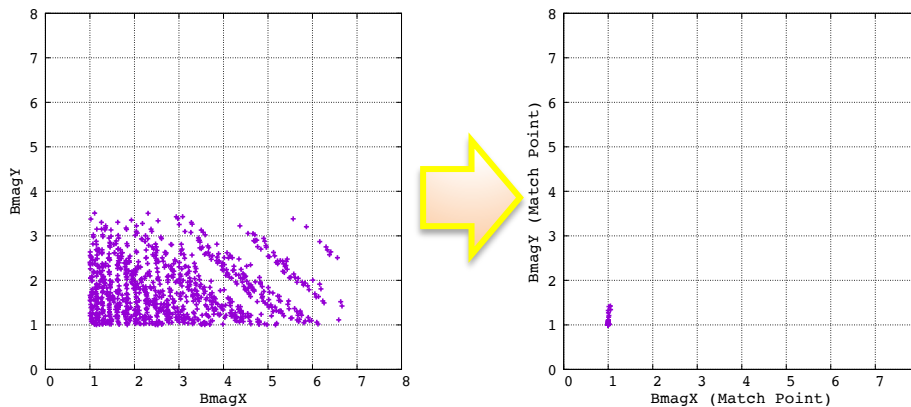
清宮氏

field strengths after matching
(plot boundary shows design limit)

at J-arc
entrance



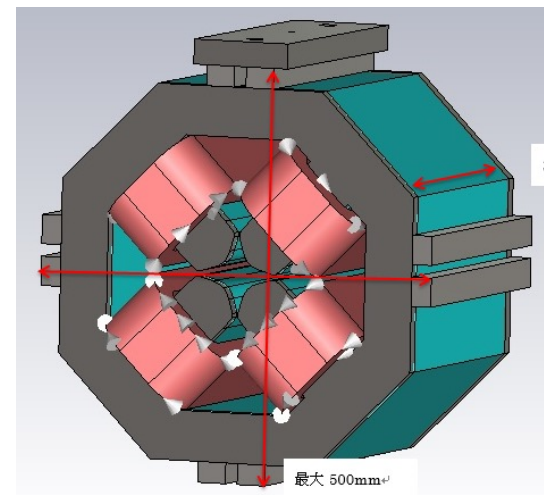
at J-arc
exit



J-arc用パルス四極マグネット

- パルス四極の場合、電源設計上インダクタンスの制約があるのでマッチング性能を損わない範囲で**磁場強度**の仕様値は**なるべく低めに設定した**
- **磁極開口径**はセラミックダクトの厚みも考慮して十分なビームアパーチャーを確保するように決定した。
- **電流値とコイル巻き数**を最適化した³⁾がそれでも、**既存のパルス電源より高出力のものが必要となり、その開発を行った。**
- **マグネットとダクト(セラミック)**の**長さ**は既存のDC四極についてのものとほぼ同じとした

parameters	DC quad R0_01 type	new pulsed quad R0_01
bore diameter [mm]	44	44
field gradient [T/m]	26.1	21
max. current [A]	56	600
pole length [mm]	300	300
effective length [mm]	323	333
B'L [T]	8.43	7
nl [A.turn]	5040	4200
turn of coil /pole	90	7
inductance [mH]	200	1.5



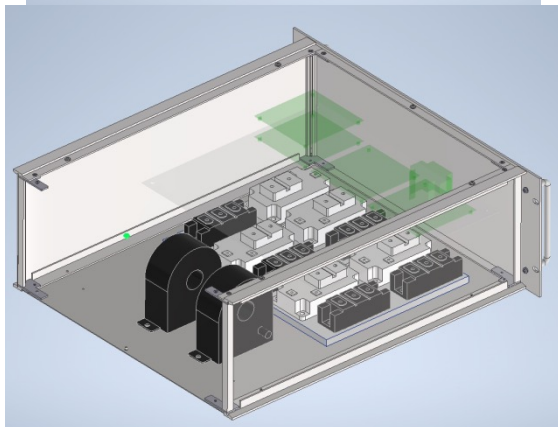
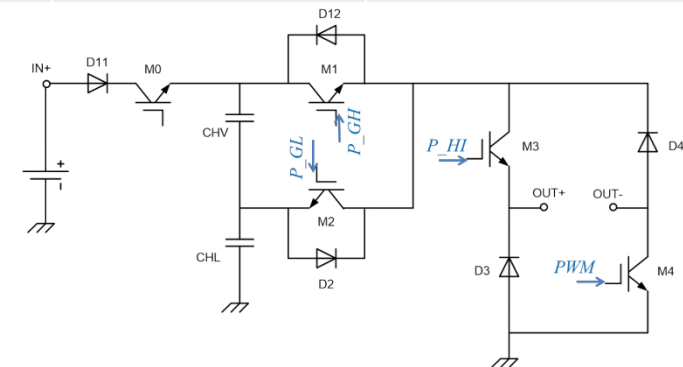
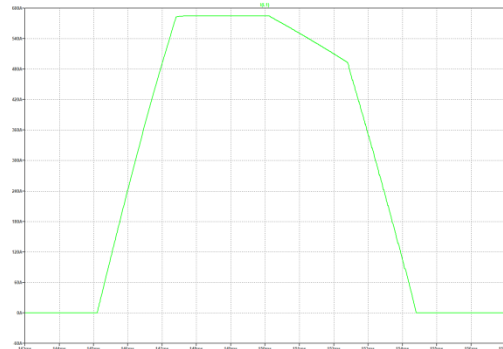
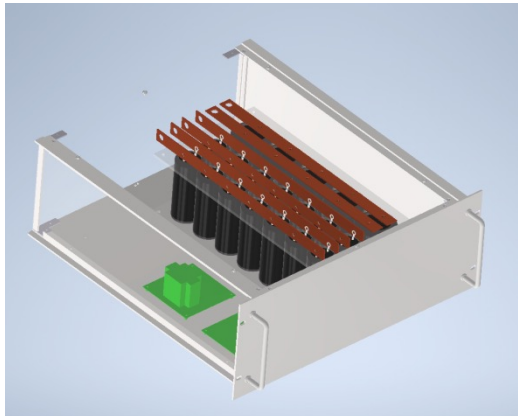
横山氏

新しいパルス電源

- J-arc のパルス四極用にこれまでよりも**高出力**のパルス電源を開発した。

夏井氏

	3-5 sector type	New pulse driver
Max Voltage [V]	230	400
Max Current [A]	330	600
Magnet inductance [mH]	1	1.5
Control method	I_D - V_{GE} analog control	Pulse Width Modulation



LS1アップグレード項目[2] パルス四極@セクター1,2

● セクター1, 2での e⁺/e⁻ ビーム光学状況

- ❖ この領域(陽電子生成部出口の 0.1 -> 1.1 GeVまで加速してDRへの偏向点まで)では、エミッタンスの非常に大きい陽電子ビームをなるべく減らさないで運ぶために、短い間隔で多数のDC四極が配置されており、**収束系の設定は陽電子ビームに最適化されている**
- ❖ エネルギーの高い(3 ~ 4 GeV)電子ビームがここを通ると大きなベータ関数値となり、**緩い収束しか受けられない**
- ❖ このため、**電子ビームのエミッタンス増大が起こりやすい領域**である

● パルス四極導入の動機

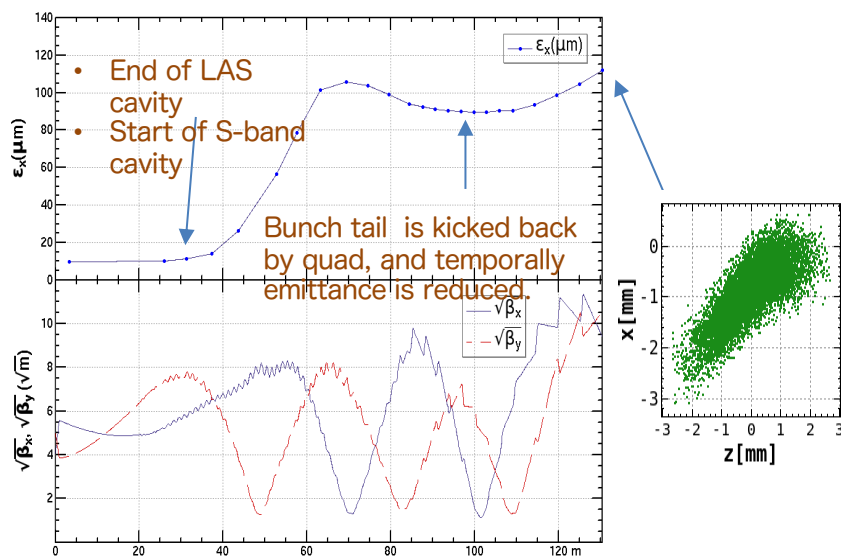
- ❖ ビーム光学 シミュレーションの結果、少なくとも**4台のパルス四極を用いることにより**電子ビームに対する **ベータ関数値を小さくして** **エミッタンス増大を抑制することができる**ことがわかった

低ベータオプティクスによるエミッタンス増大の低減

- 前記の4台のパルス四極のみ、電子ビームに最適化した設定に変更することでベータ関数を小さくすることができる
- これによりエミッタンス増大を半分以下に減らせることがシミュレーションにより示されている

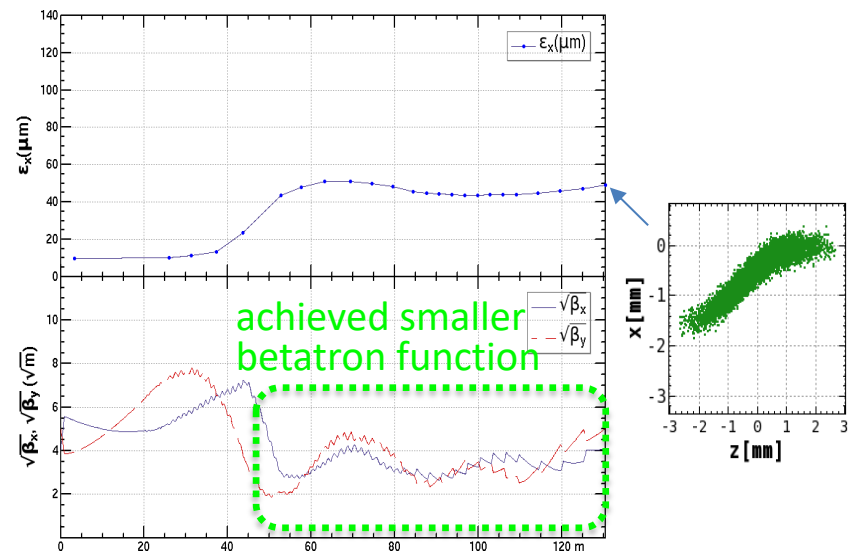
清宮氏

$\Delta\gamma\epsilon_x \sim 100 \text{ } \mu\text{m}$, $\overline{\beta_x} = 45.2 \text{ m}$



e+ target

$\Delta\gamma\epsilon_x \sim 40 \text{ } \mu\text{m}$, $\overline{\beta_x} = 16.3 \text{ m}$



e+ target

セクター1, 2用パルス四極マグネット

- インダクタンスの観点から磁極開口径と磁場強度の仕様値はシミュレーションに基づいて性能を損なわない範囲でなるべく小さくした
- マグネットとダクト(セラミック)は既存のマグネット、ダクトと置き換えられるように設計した
- 電流値とコイル巻き数を最適化した結果、このマグネットのパルス電源には既存のものと**同じ仕様のもので使えることがわかった**

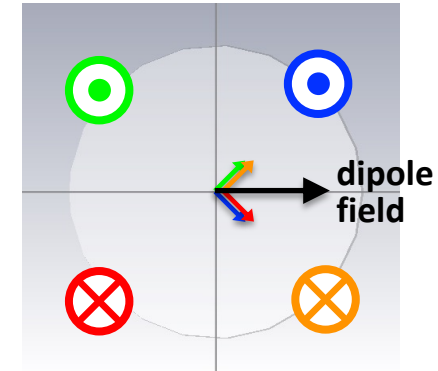
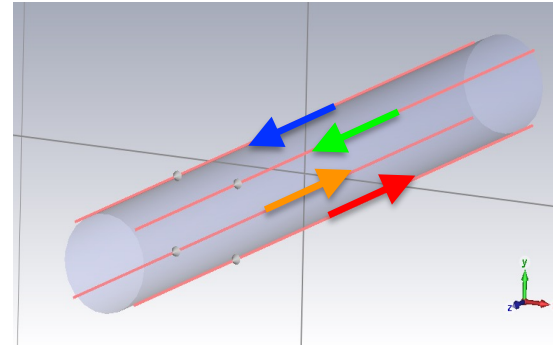
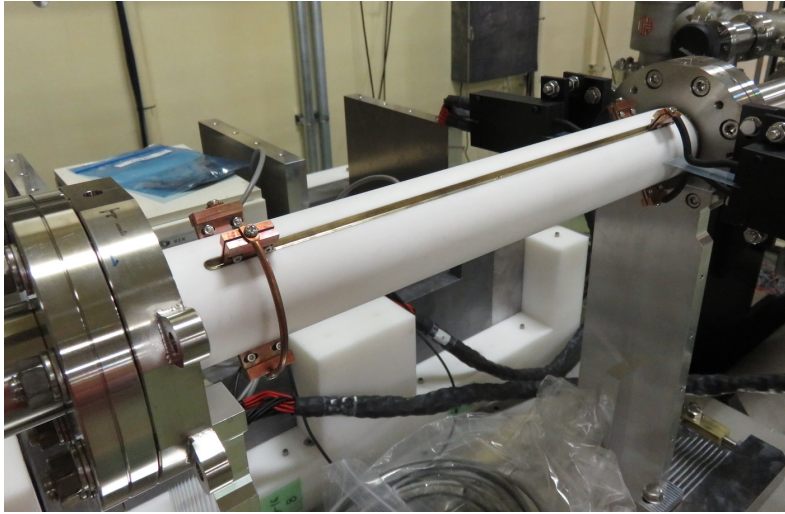
parameters	DC quad 17_14 type	new pulsed quad 17_14
bore diameter [mm]	44	32
field gradient [T/m]	20.9	23.6
max. current [A]	80	300
pole length [mm]	160	160
effective length [mm]	173.8	168.0
B'L [T]	3.63	3.96
nl [A.turn]	3760	2400
turn of coil /pole	47	8
inductance [mH]	32.3	0.94

横山氏

LS1アップグレード項目[3] Linac 高速キッカー

- Linac で 1st/2nd バンチ間の軌道差を調整することは重要
 - ❖ リングへの入射効率 を両方のバンチともに最適化できる
 - ❖ エミッタンス増大の抑制 を Linac 内の軌道オフセットにより行う
 - ❖ ビームロスの低減 を両方のバンチで独立に調整できる
- Linac 高速キッカーへの要求 (J-arc用初号機)
 - ❖ パルス磁場の立ち上がり < バンチ間隔 (96 ns)
 - ❖ キック角 ~ 0.4 mrad @1.5 GeV
BL = 2.0×10^{-3} T.m

セラミックチェンバー 一体型高速キッカー



満田氏

- **CCiPM : Ceramics Chamber with integrated Pulsed Magnet**
(SPring-8、KEK-PFで開発されたもの)
- 磁場型キッカー
- 4本の平行するコイルワイヤーにパルス電流を流す
- 上図のような向き(平行及び反平行)に電流を流すと
水平方向の dipole 磁場が発生し、ビームを垂直方向に蹴ることができる

高速キッカー用パルス電源

● パルス電源の特徴

- ❖ SiC FET 高圧スイッチを使用 (Nexfi 社製)
- ❖ パルス立ち上がり < 96 ns
 - 初号機ではまだケーブル配線長さの改善の余地があり、現時点の達成値は 200 ns 程度
- ❖ ピーク電流値 1000 A
- ❖ ピーク電圧値 20 kV
 - 初号機目標は 10 kV で 450 A であるが、11/16 通電試験時は放電もあり、安定な運転は 8 kV で 360 A 程度、実効的な2バンチ間のキック量の差としては 200 A 程度であった
- ❖ ビームモードごとにキック量を変えたいのでパルス電流の振幅は固定にしてキック角の調整はパルスタイミングを変えることにより行う。
(パルスの肩でキックする)
- ❖ スイッチモジュールはトンネル内にキッカーに近接して設置する
(放射線シールド構造が必要となる)

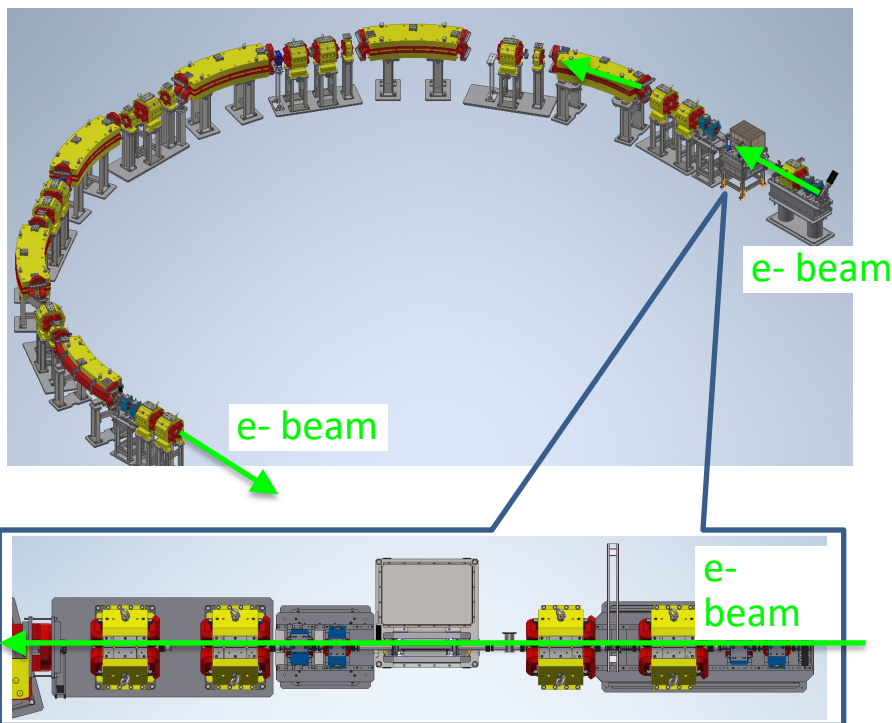


first prototype
pulse power supply
at test stand

榎本氏、夏井氏、岡安氏

初号機高速キッカー設置(2022年夏)

- セラミックチェンバー一体型高速キッカーの初号機は 2022 年夏に Linac J-arc部に設置された。
- 通電試験スタート(11/16)。今後、ビームキック試験を行う予定。



岡安氏、夏井氏、満田氏

- 第2期製作予定の2号機、3号機は Linac 終端 と SY3内HER-BT への設置を検討中。LS1後の運転に向けて2023夏設置予定。

まとめ と スケジュール

● Linac 入射状況と最近の改善項目

- ❖ Linac は安定して e-/e+ beam を HER, LER, PF & AR へ供給している
- ❖ [1] レーザー導入窓の交換によりRF-gunからの電子ビーム強度が回復
- ❖ [2] RTLへのストリップライン高速キッカー導入により陽電子の2バンチの軌道差が改善

● LS1 期間中の Linac upgrade 項目

- ❖ [1] J-arcマッチング部に8台のパルス四極を導入して
各ビームモードごとのマッチング調整を可能にする (2023年夏)
- ❖ [2] セクター1, 2部に4台のパルス四極を導入して
電子ビームの低ベータオプティクス化を実現する (2023年夏)
- ❖ [3] セラミックチェンバー一体型高速キッカーを導入して
1st, 2nd バンチ間の軌道差を調整可能にする
初号機 (2022年夏に設置済み),
通電試験開始、2022年内にビームキック試験を予定
2号機、3号機 (2023年夏に設置予定)