

# 入射器の現状とエミッタンス 維持・安定入射への取り組み

入射器 宮原 房史

# 2018 秋以降のスタディの成果と 現状報告

主な機器の更新、軌道補正と低エミッタンス輸送の障害となるビームジッター原因の調査、低エミッタンスビームの輸送に向けた取り組みを報告する。  
最後に RF-gun の現状を報告する。

## 2018秋～のスタディ：軌道補正、ビームジッター調査

- ・ Linac Dispersion 補正
- ・ ビームジッターの原因調査

## ビームの安定化、低エミッタンスビーム輸送に向けた取り組み

- ・ 24度ライン合流部偏向電磁石のパルス化
- ・ 可動式パルスマグネット架台
- ・ ビーム誘起波モニター
- ・ ビームの4次モーメント（～エネルギー広がり）測定
- ・ 新型スクリーンモニター
- ・ RF-gun
- ・ BPM, RF Monitor, Pulsed Magnet 同時測定

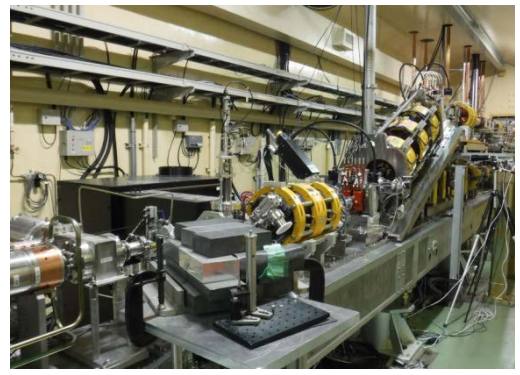
## Phase3 初期の目標と今後の課題

# 軌道補正、ビームジッター調査

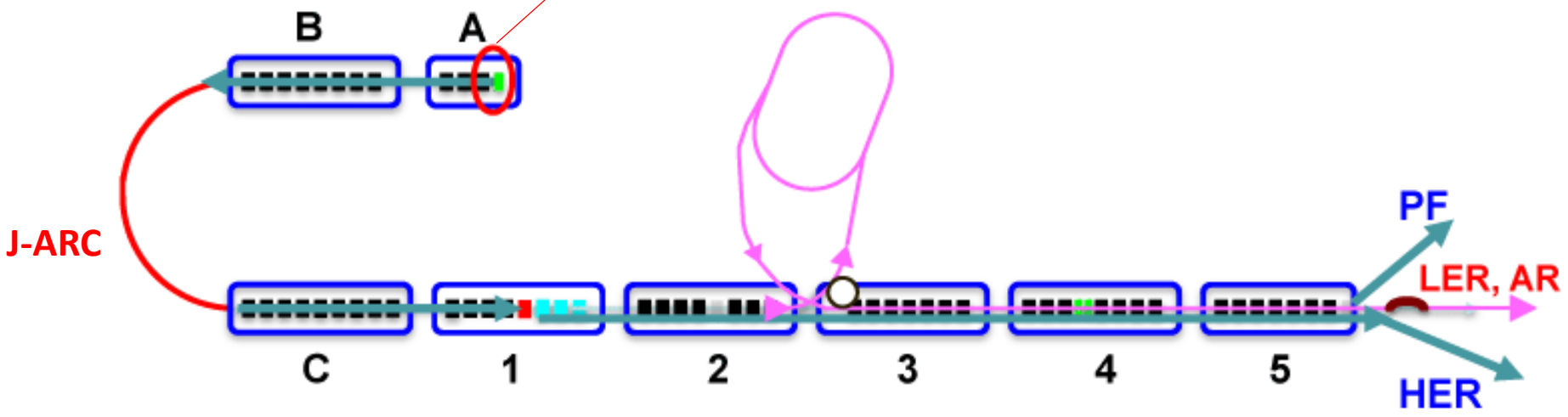
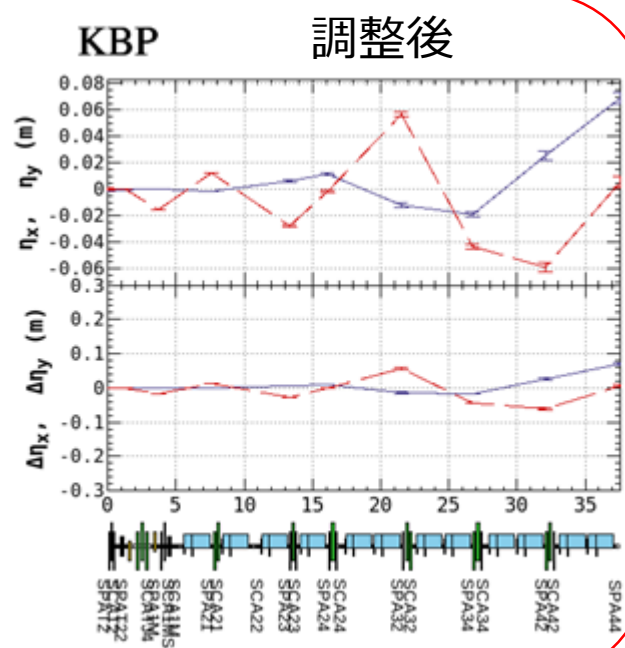
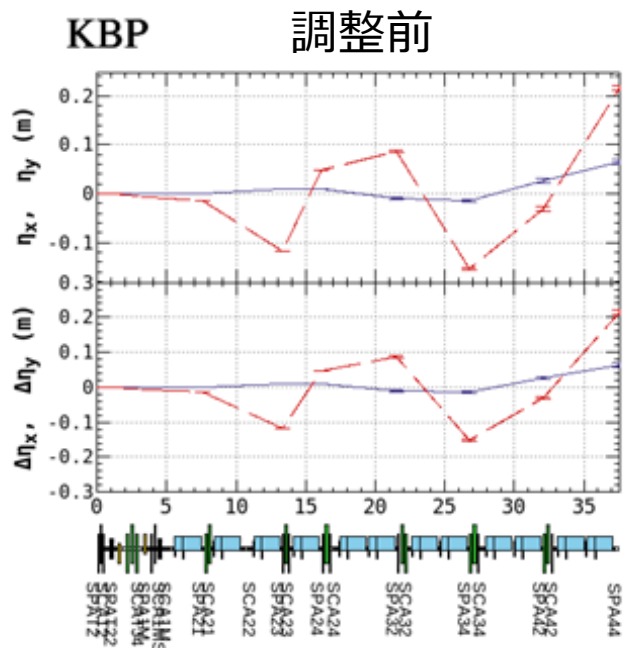
# Linac Dispersion 補正 : 24度ライン

清宮、飯田

24度ライン

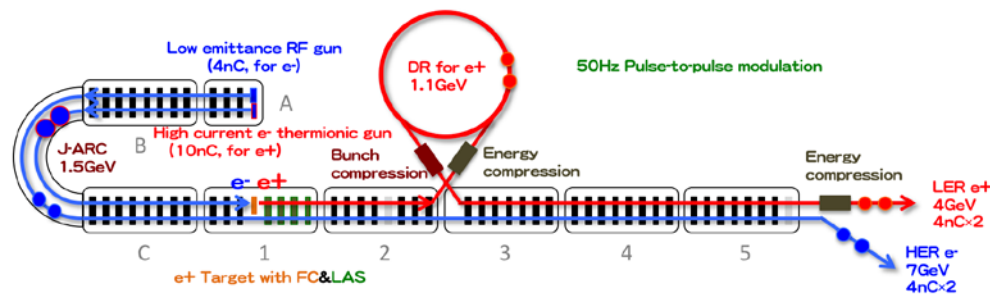
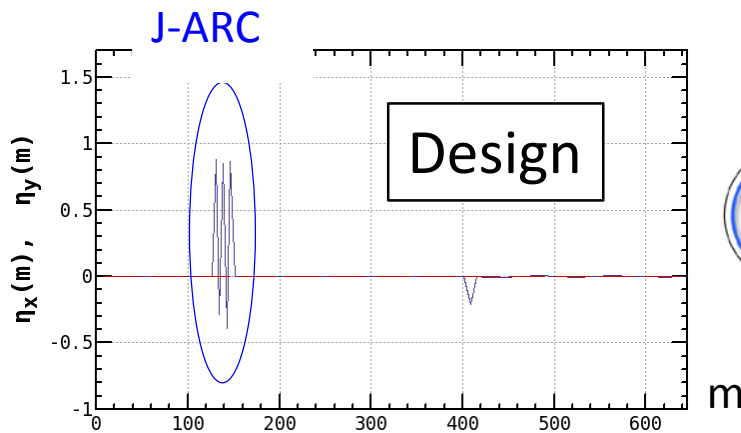


上流と24度ラインのQの調整で閉じるパラメータに最適化

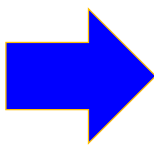
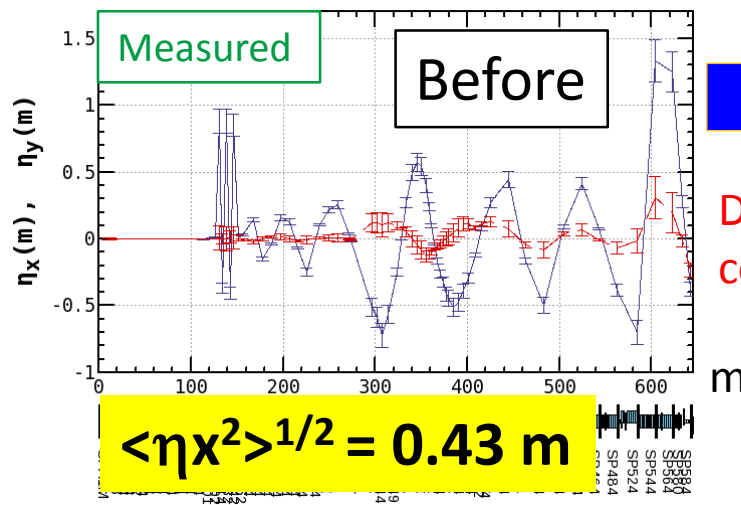


# Linac Dispersion 補正: J-ARC

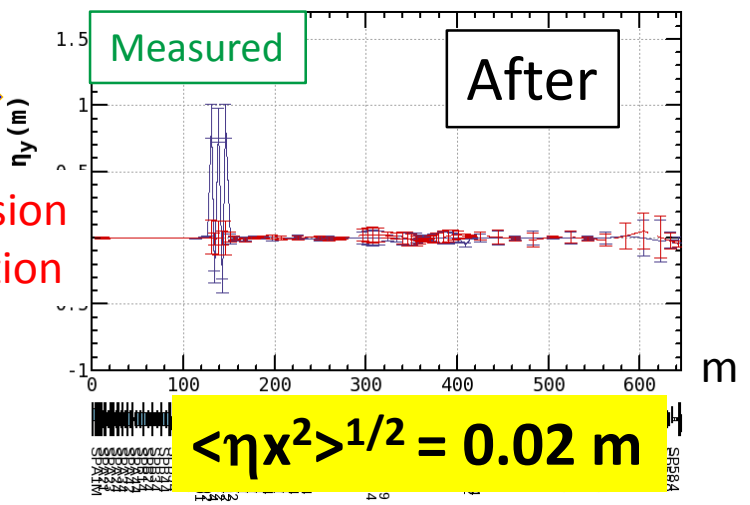
清宮、飯田



ビームエネルギーを変えた時の軌道の変化からディスパージョンを測定。  
測定されたディスパージョンを閉じるようにARC内の4極磁石を調整。



Dispersion correction



Linac end の規格化エミッタンスは ~50  $\mu\text{m}$  減少

# Linac Dispersion 補正: J-ARC 軌道、6極の影響

清宮

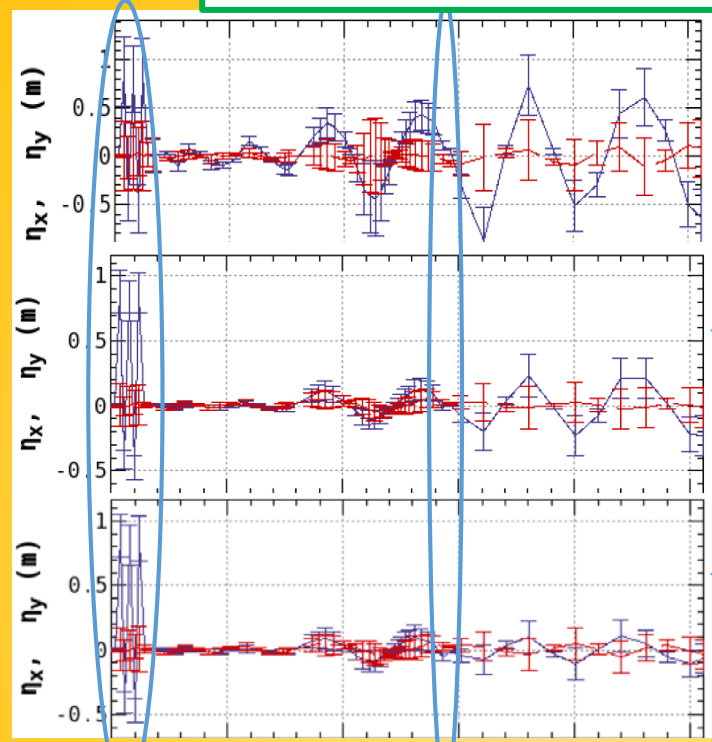
その他のディスパージョンの発生原因

- Bendに入るビーム軌道、角度
- 6極磁石の影響

これらの余剰ディスパージョンを発生させないためには軌道を固定する必要がある。

→軌道フィードバックプログラムを充実させる

Bendに入るビーム軌道、角度



J-ARC bendに入る軌道、角度を補正

シケインのbendに入る軌道、角度を補正

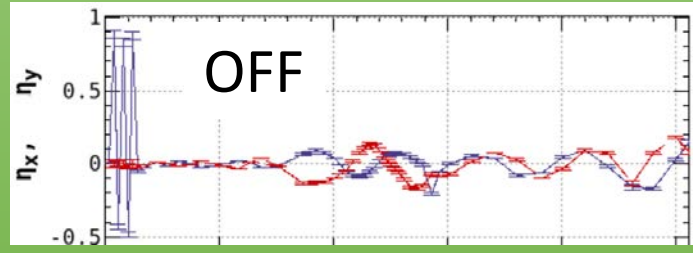
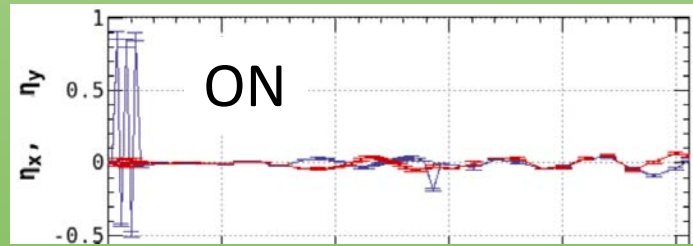
J-ARC

シケイン

LINAC end

6極磁石の影響

- J-ARC内の6極磁石
- 軌道によって4極成分が発生



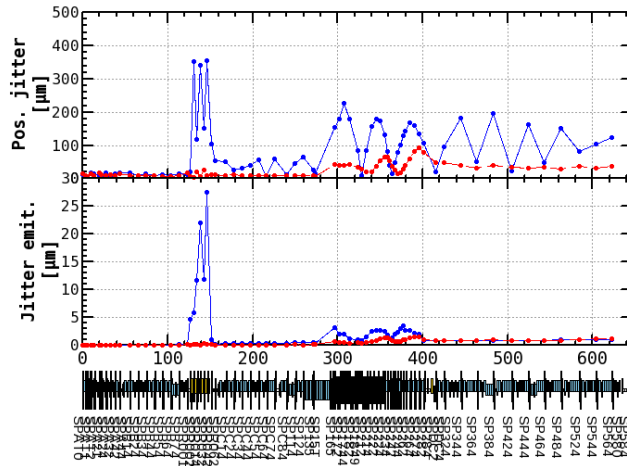
LINAC end

# ジッター調査：ターゲット後のジッター

清宮

Phase2 ではターゲットの穴を通ったビームに大きなジッターがあり  
原因が不明であったため、調査を行った

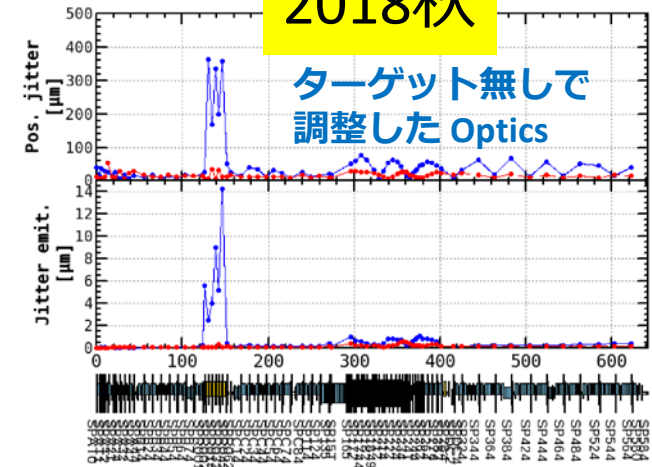
Phase2



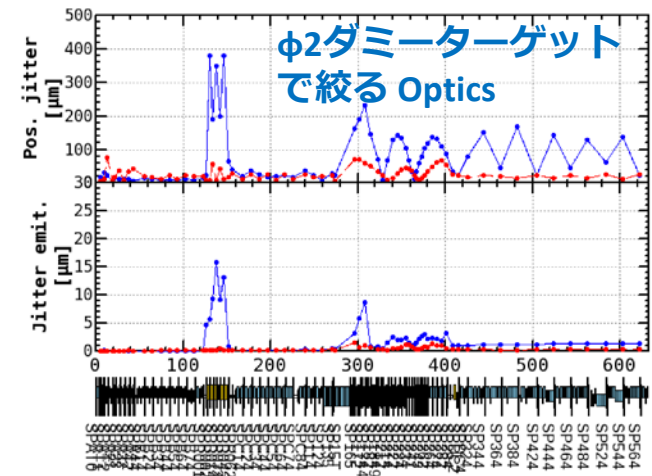
ターゲット孔でのビームロスをなくすようにターゲットでビームを絞っていた。  
このため、 $\beta$ 関数が巨大化し、軌道ジッターが大きくなっていた

→ 絞り過ぎない様に調整することで  
ジッターを抑えられた

2018秋



ターゲット無しで  
調整した Optics

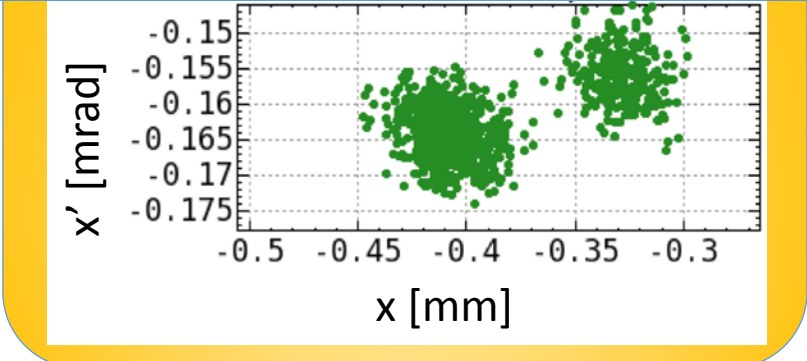


φ2ダミーターゲット  
で絞る Optics

# ジッター調査：その他のジッター要因

清宮

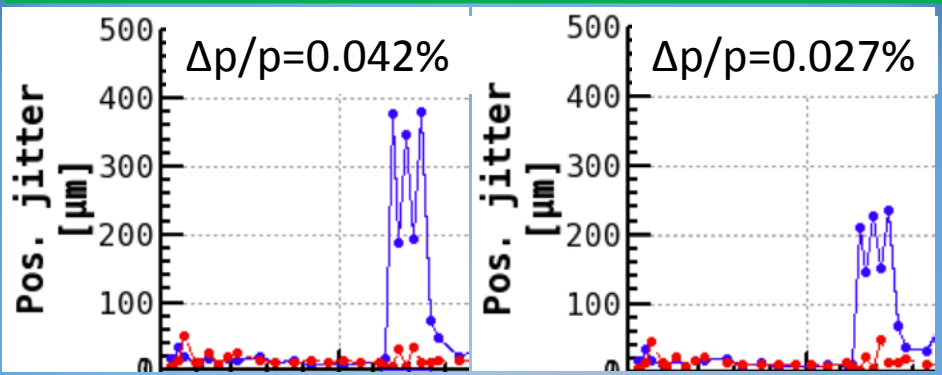
Pulse magnetの2値化 (直線部のBPM)



→直前のパルスの影響を受ける。  
 電源が問題で原因が明らかになったので  
 対策（出力時に充電電源を切り離す）を  
 施した試作電源を制作中 (夏井、榎本)

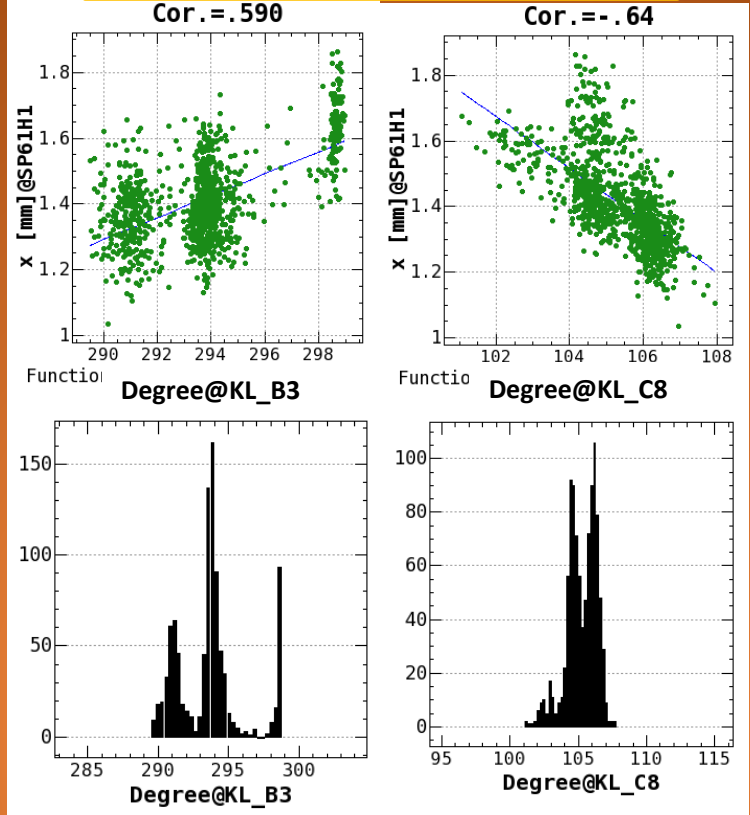
zero cross付近のRF位相の変動

- RF位相がzero crossに近いとenergy変動大



B5: Crest +70 deg.    B5: Crest +46.8 deg.  
 B6: Crest -70 deg.    B6: Crest

RF位相の2値化的変動 (dispersive sectionのBPM)



→ RFケーブルのコネクタの緩みが原因。  
 緩んでいる箇所は直した (三浦)

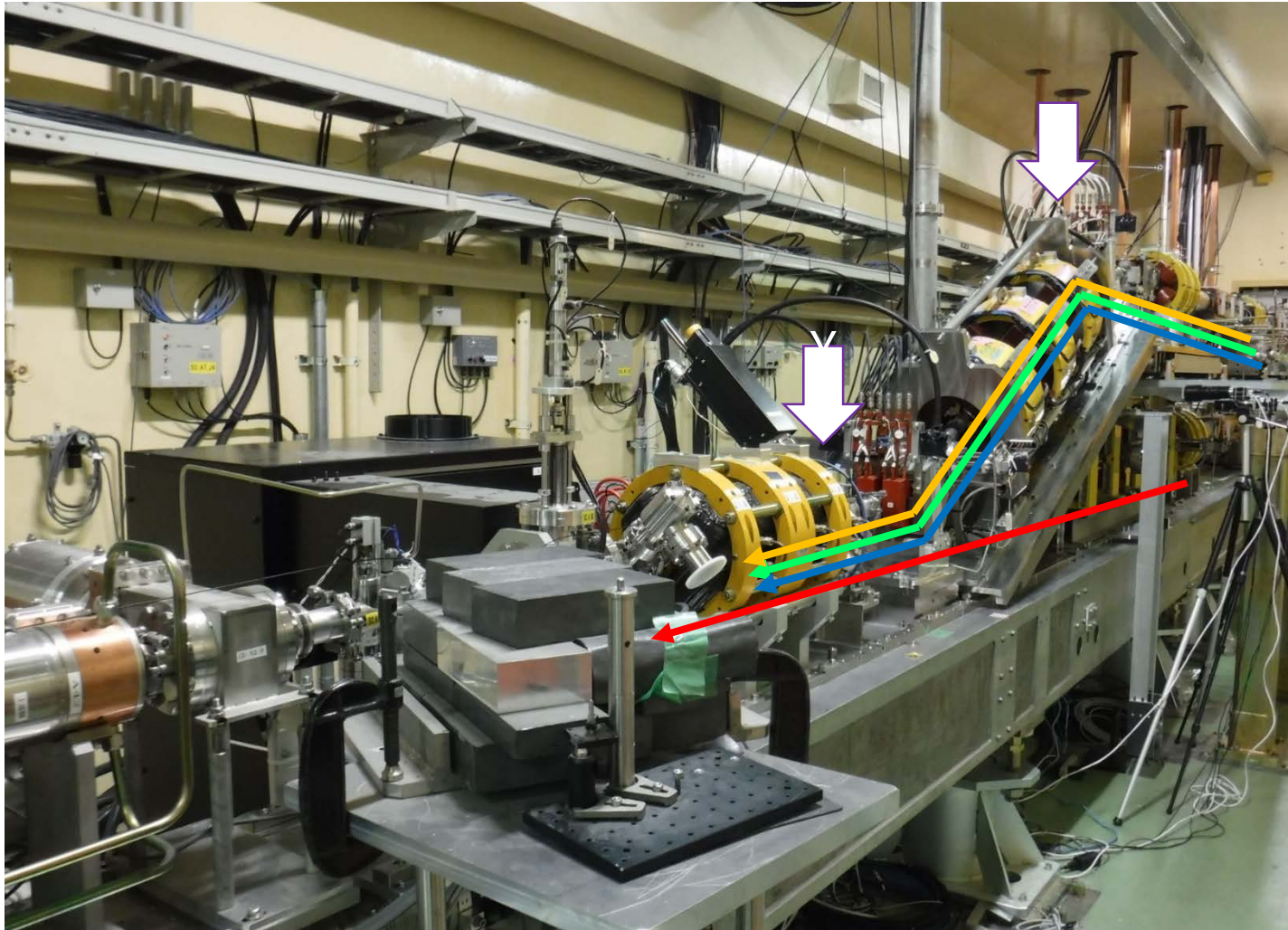


# ビームの安定化、低エミッタ ンスビーム輸送に向けた取り 組み

# 24度ライン合流部偏向電磁石のパルス化

夏メンテで24度ラインのパルス電磁石電源を導入し、50 Hz で熱電子銃とRF-gunの打ち分け（ただし、どちらもMax 25 Hz）が可能になった

榎本



熱電子銃

PF-AR PF  
LER(e+ 生成用  
プライマリ e-)

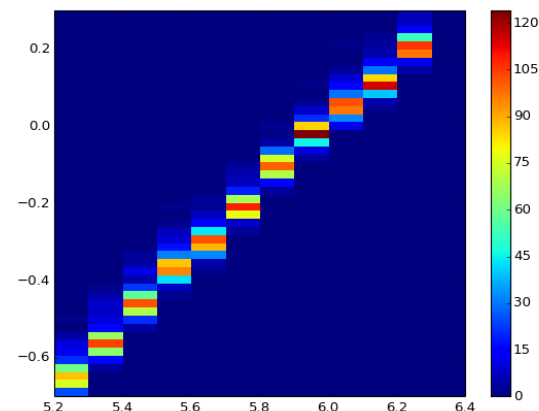
RF-gun

HER

# 可動式パルスマグネット 架台

榎本

架台上のBPMの位置 [mm]



架台の垂直位置 [mm]

PM\_58\_4架台の垂直位置  
を変化させたときのBPM  
(SP\_58\_4) の応答。

ビーム進行方向以外の5軸に動かすことが可能。  
精度0.01 mmのゲージがついており、現在位置  
の測定が可能。  
3～5セクターに設置。

床面の長期的な変動に対する補正やステアリングと合わせて低エミッタンス維持  
のための軌道調整が可能



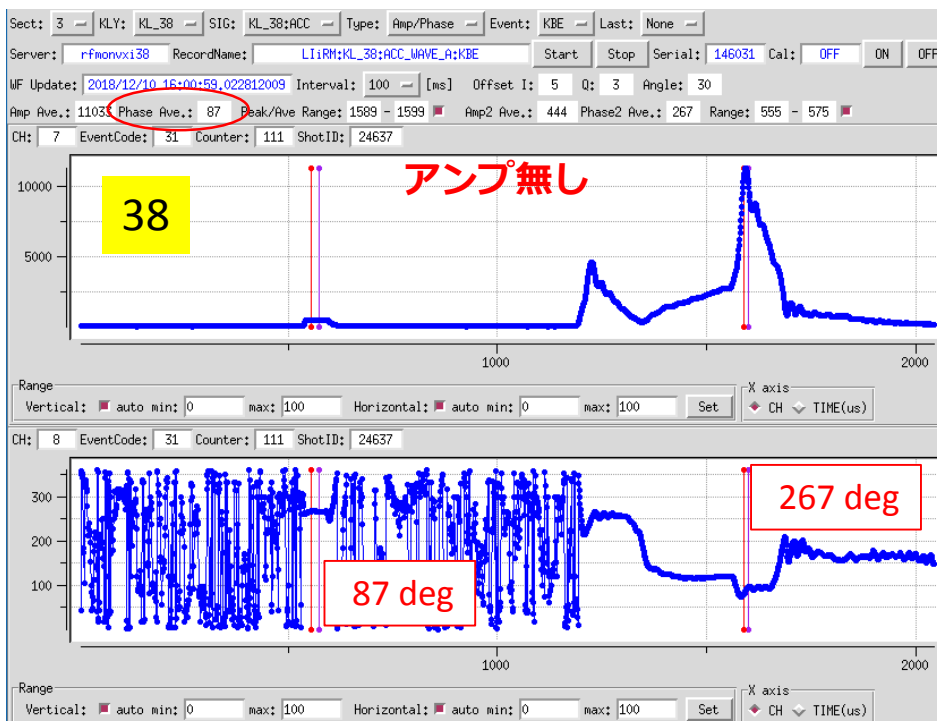
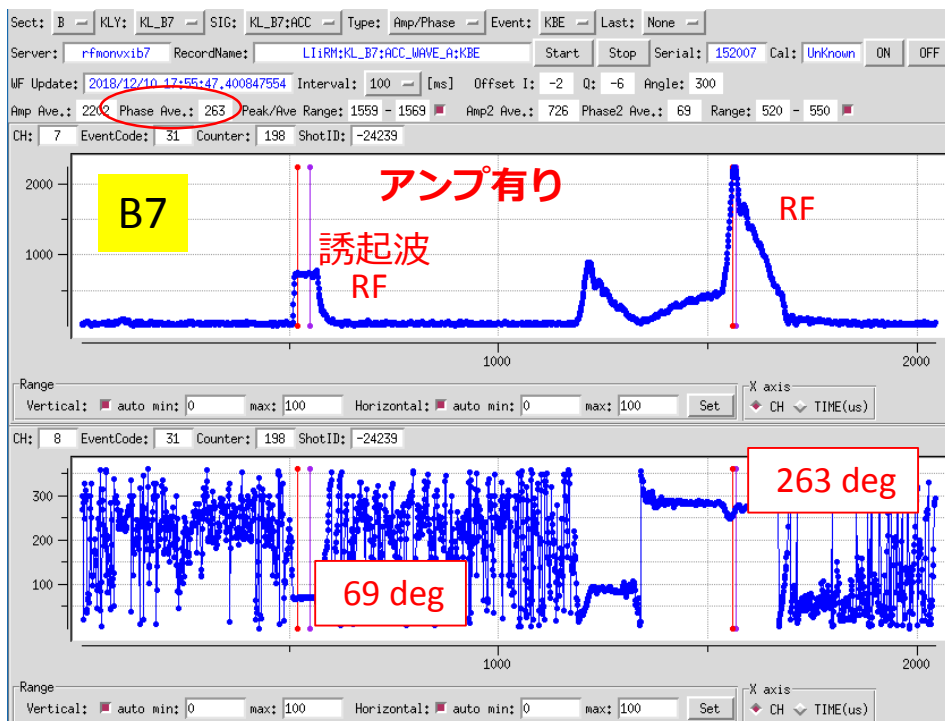
# ビーム誘起波モニター

三浦

ビーム誘起波モニター：  
スタンバイ状態の加速管にビームを通し、誘起されたRFを測定する。  
ビームの位相を高精度（ $\sim 0.6$  degree RMS）で測定出来る。

2018秋からビーム誘起波の感度向上のため、B7, C1にアンプモジュールを導入。  
アンプが入っている箇所(B7, C1)は誘起波が大きく見えるようになった。

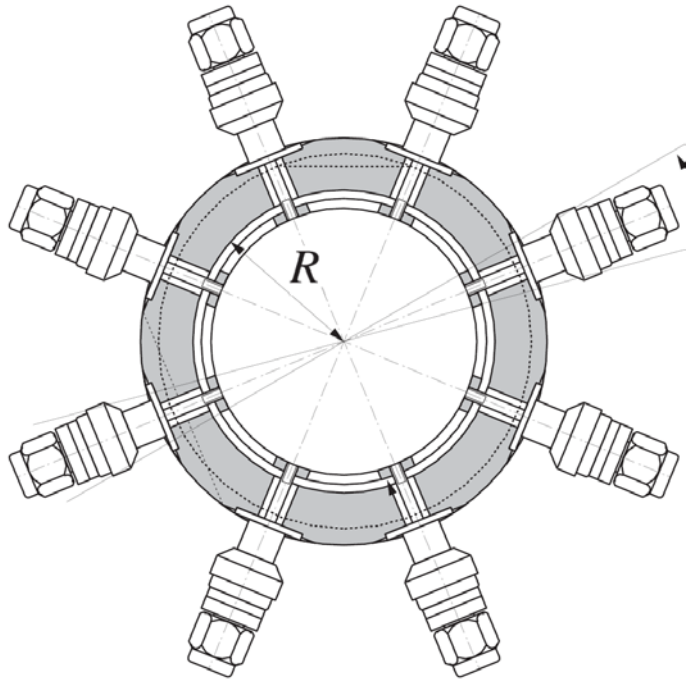
モニター箇所：A2, B7, C1, 12, 22, 38, 45, 53, 57



スタディでの運用を本格的に始めた

# ビームの4次モーメント（～ビーム広がり）測定

宮原



$$J_q = \frac{1}{R^2} (\langle x^2 \rangle - \langle y^2 \rangle + \langle x \rangle^2 - \langle y \rangle^2)$$

$$J_q \approx \frac{\sum_{i=1}^N V_i \cos 2\theta}{\sum_{i=1}^N V_i}$$

T. Suwada, M. Sato and K. Furukawa  
Phys. Rev. Accel. Beams **6**, 032801(2003)

4次モーメントの大きさに**ビーム広がりの変化**が分かる  
(ビームサイズ自体は測定できない)

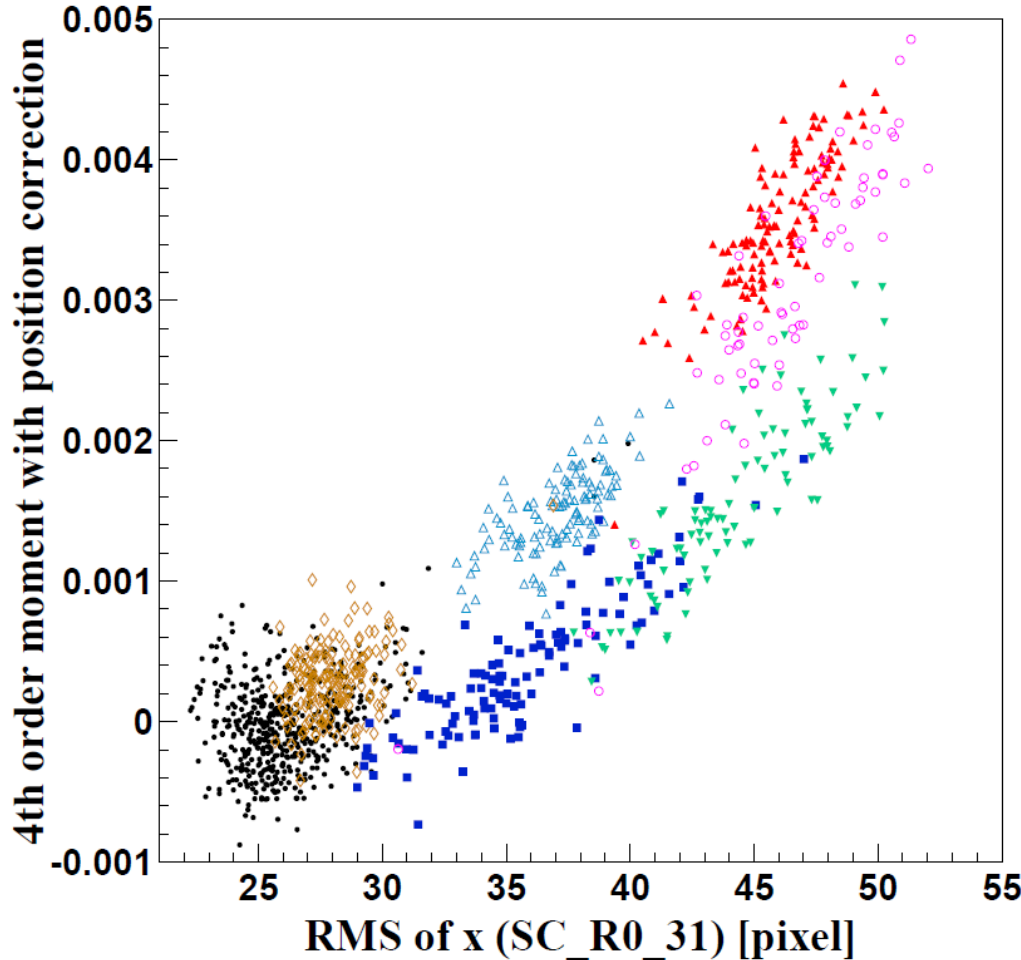
KEKB 時代から利用していたが、VMEの読み出しシステムに変更してからは4次モーメントは計算していなかったので対応。  
スクリーンモニターと同時測定を行い8電極の応答と実際のビームサイズの比較し、**位置依存を補正するための関数を導入**した。

# ビームサイズと4次モーメント@J-ARC

宮原

$\Delta\phi$  of KL\_A2/A3,A4, SB\_B phase:

▲ -3° △ -2° ◇ -1° ● 0° ■ +1° ▼ +2° ○ +3°

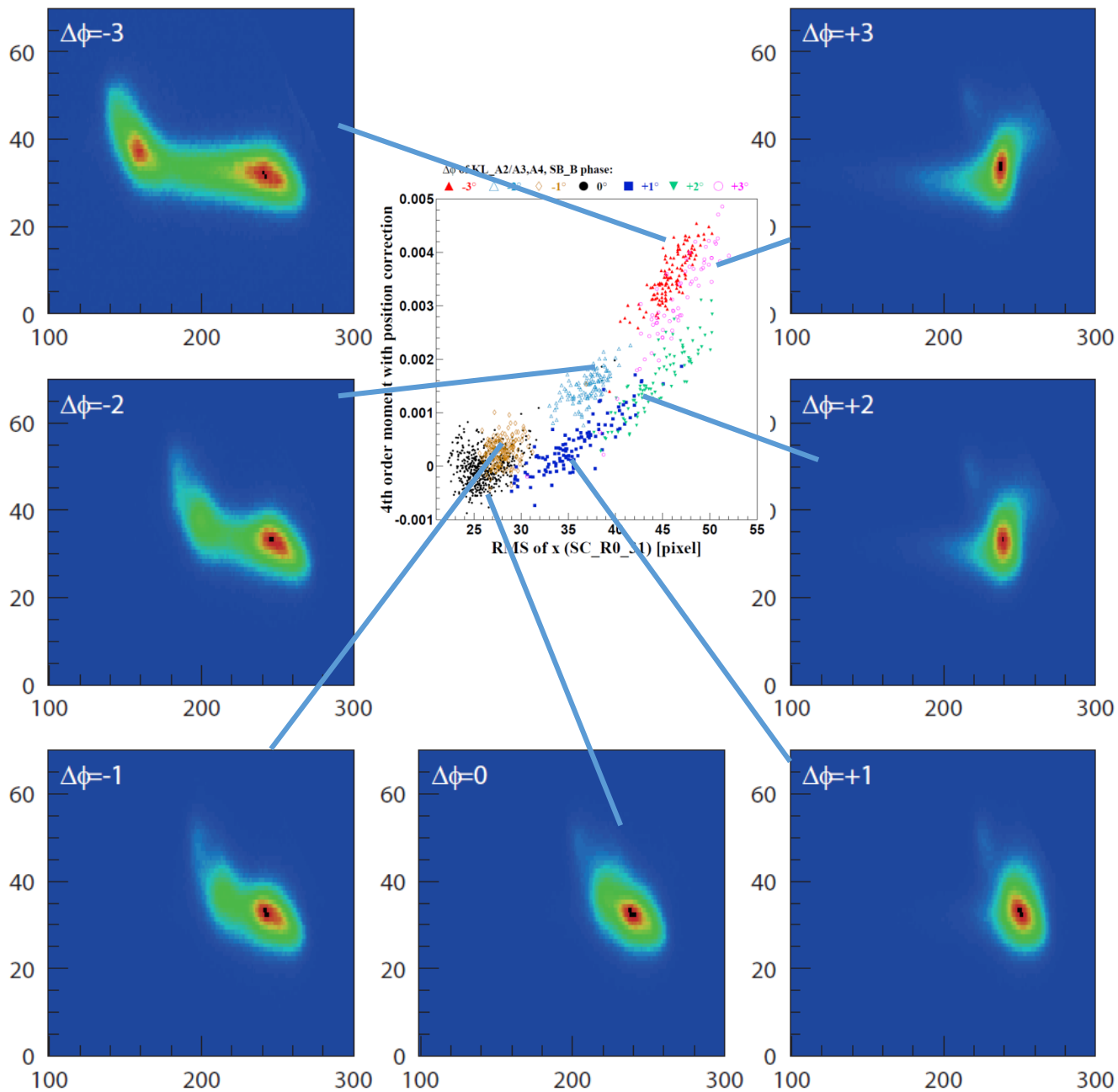


- ビームサイズの二乗に比例する分布（おおよそ）
- ビームサイズ最小 = 4次モーメント最小
- ビームサイズ（エネルギー広がり）が最小となる様に調整した運転値（ $\Delta\phi=0^\circ$ ）を境に傾きが異なる
- ショットごとのばらつきは大きい

**シングルショットの診断は出来ないが、十分な統計があれば非破壊で位置に依らずビームサイズ最小の条件を調べられる**

Klystronの位相ごとにプロットした直近のスクリーンで測定したビームサイズと8電極BPMで測定した4次モーメント（位置補正有り）の関係。

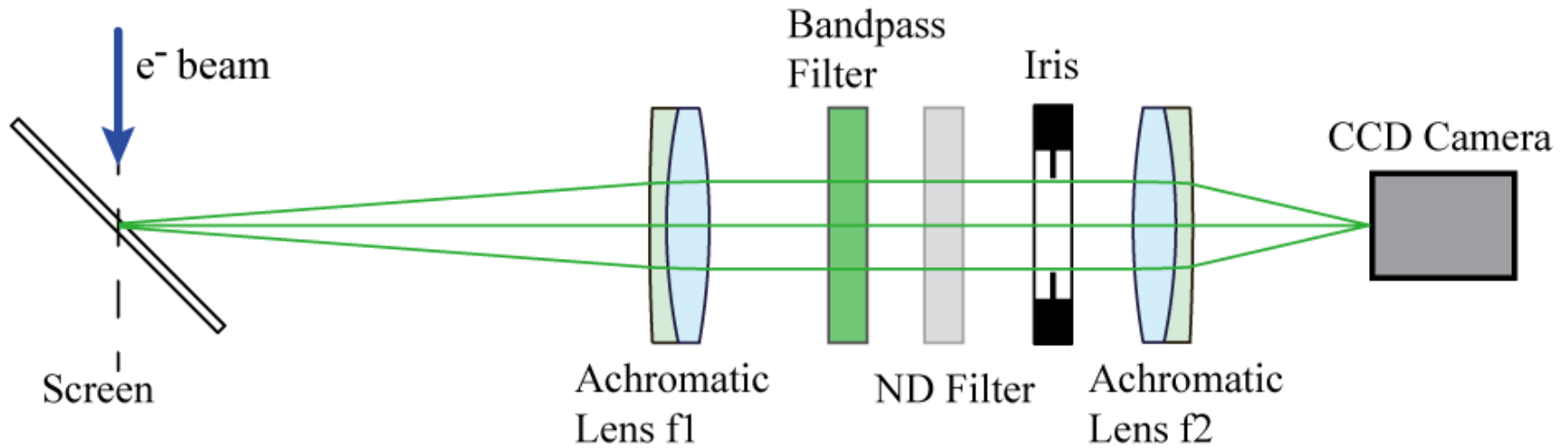
# 4次モーメントとビームプロファイル



# 新型スクリーンモニター

宮原

ビーム固有のエミッタンス（特にRF-gunの初期のエミッタンス）や特性、加速器のパラメータとの相関を測定するには高解像度でビームと同期したスクリーンモニターが必要



Screen: YAG:Ce 結晶 (厚さ 100  $\mu\text{m}$ )

or

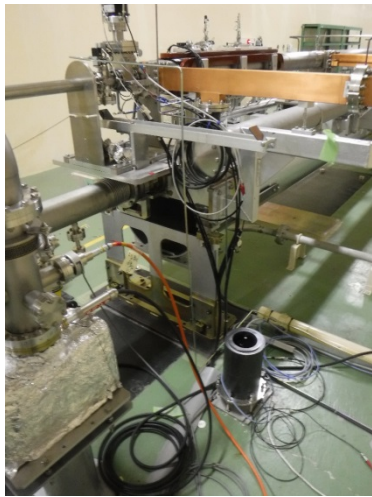
遷移放射(OTR)用プレート (厚さ 70  $\mu\text{m}$  シリコンウェハー & Al coating)

CCD Camera: GigE, 外部トリガー付き

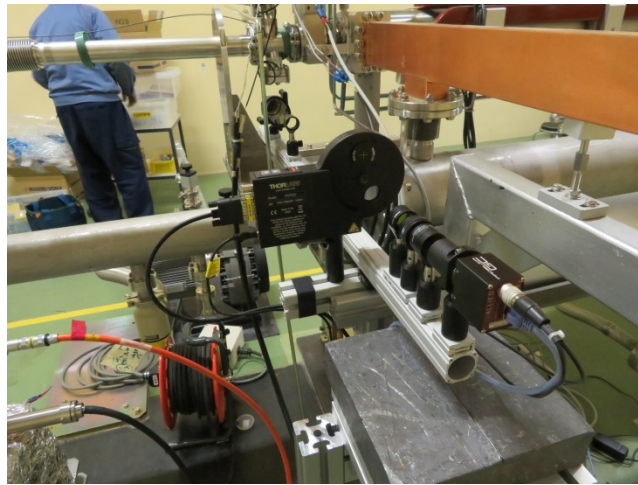
光学系: Achromatic lens 2枚、Bandpass, ND Filter, Iris

光学系の分解能はシャープなエッジ (■ 模様のエッジ) の広がりによって評価すると焦点距離  $f_1=750$ ,  $f_2=250$  の組み合わせで **FWHM で約 10  $\mu\text{m}$**

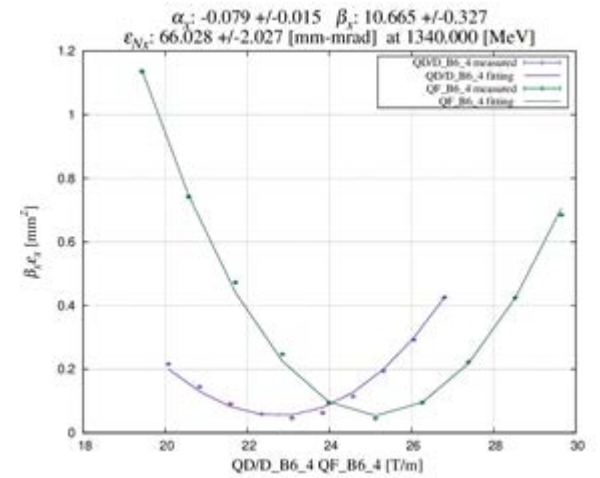




旧タイプ

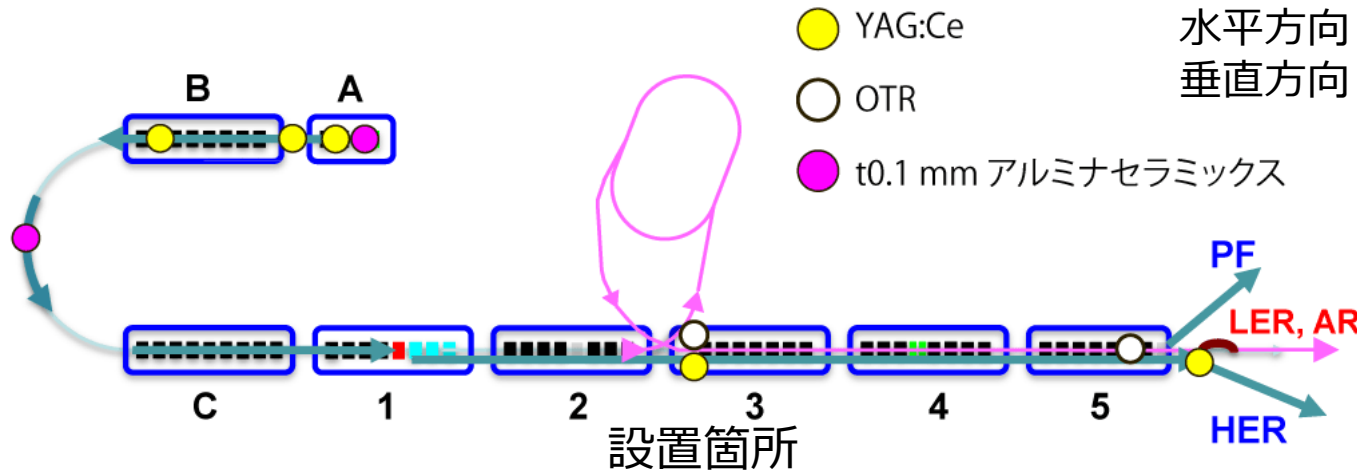


新タイプ



J-ARC手前の位置での  
Q-scan 測定 (夏井)

水平方向  $66.0 \pm 2.0$  mm-mrad  
 垂直方向  $60.2 \pm 0.9$  mm-mrad



- 軌道のジッターを含まないビーム固有のエミッタンス測定
- ビームの詳細なプロファイル測定
- Wire Scanner 測定との比較

# RF-gun

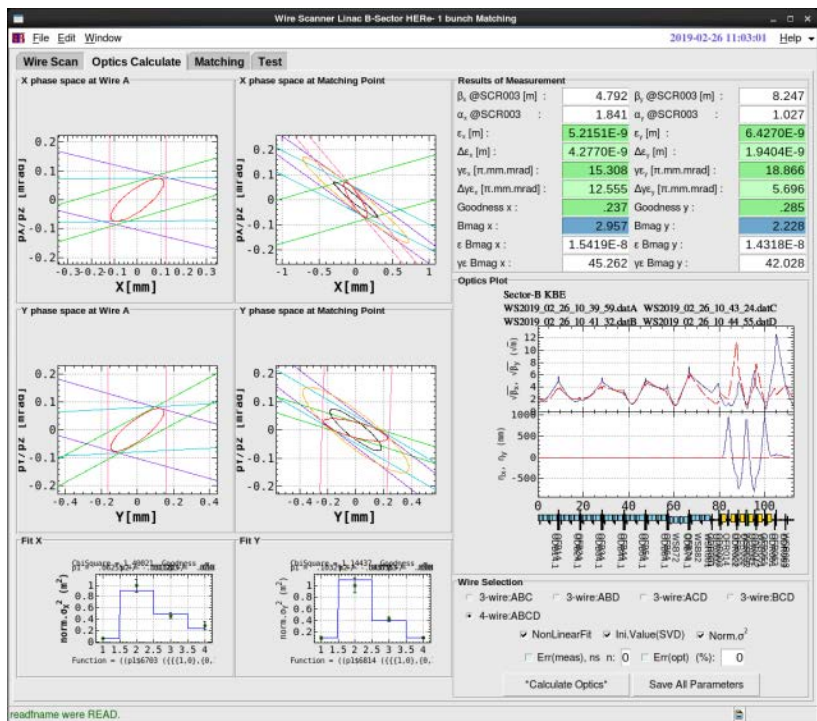
R. Zhang

## Laser

- Same beam size adjustment for the 1st and 2nd laser line
- The final amplifier adjustment in the 1st line (for better beam profile)
- Crystal exchange for 4th and 5th amplifier in the 2nd laser line
- Stable mount for division and combination polarizer plate

## ビーム試験

2018秋は空洞 view port からのリークが発生し、実験は出来なかった。  
冬メンテでブランクフランジに変更した。低エミッタンスの輸送をスタディ中。



J-ARC 直前までは低エミッタンス (<20  $\mu\text{m}$ )  
で輸送出来る様になった (吉田)。

HER, LER, PF/PF AR 共通の光学系で調整に  
苦労しているが、J-ARC後半についても  
調整中

# BPM, RF Monitor, Pulsed Magnet 同期測定

- BPM
- RF monitor
- パルス電磁石電源電流値

全てイベントシステム対応でビームモード、ショットIDの対応が取れる様になり、同一ショットでの解析が可能となった

全データ（BPMはビーム有りの場合のみ）を保存している

# Phase3 初期（～1年目）の目標

- HER（RF-gun: 1～2.5 nC）、LER（e+@DR ~2 nC）、PF, PF-AR へのTop-up 入射で長期安定運転  
トラブルが無いというだけでなく、過去のパラメータでビームが再現しなかったり、徐々にビームの状態が変わることがある
- 低エミッタンス化とエミッタンスの維持  
→最適な条件を見つける方法の確立  
→条件の維持
- 原因不明のエミッタンス増大の解明
  - RTL（DR-Linac 間輸送路）でのエミッタンス悪化
  - 3-5 sector でのエミッタンス悪化（e<sup>+</sup>）
  - KEKB BT（厳密には入射器ではないが）

# 今後の課題

## ビームの安定化

- 軌道 Feedback
- Energy Feedback
- Energy spread Feedback
- 熱電子銃の安定化（時間経過でバンチングの様子が変わっている？）
- パルス電源安定化（直前のパルスの影響を受ける問題を解決）
- レーザープロファイルの安定化

## 低エミッタンス化、エミッタンス維持

- RF-gun, レーザーの最適化
- 共通Opticsの縛りの下で良い条件を探す

## 陽電子の収量問題

- 生成される量がシミュレーションに比べて3割程度少ない→原因調査