

バンチ圧縮のopticsについて (途中経過)

コンパクトERL Mini Workshop

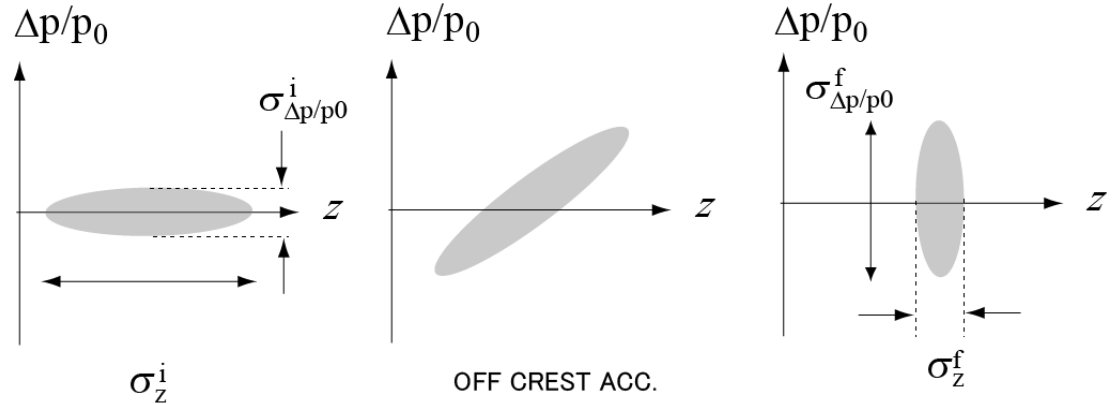
2016年5月31日（火）

島田 美帆、中村 典雄、宮島 司、本田 洋介、上田 明、
原田 健太郎、帯名 崇、高井良太

バンチ圧縮

$$\Delta z = R_{56} \frac{\Delta p}{p_0} + R_{566} \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)^2 + \dots$$

R56の1次項のみの
モデル



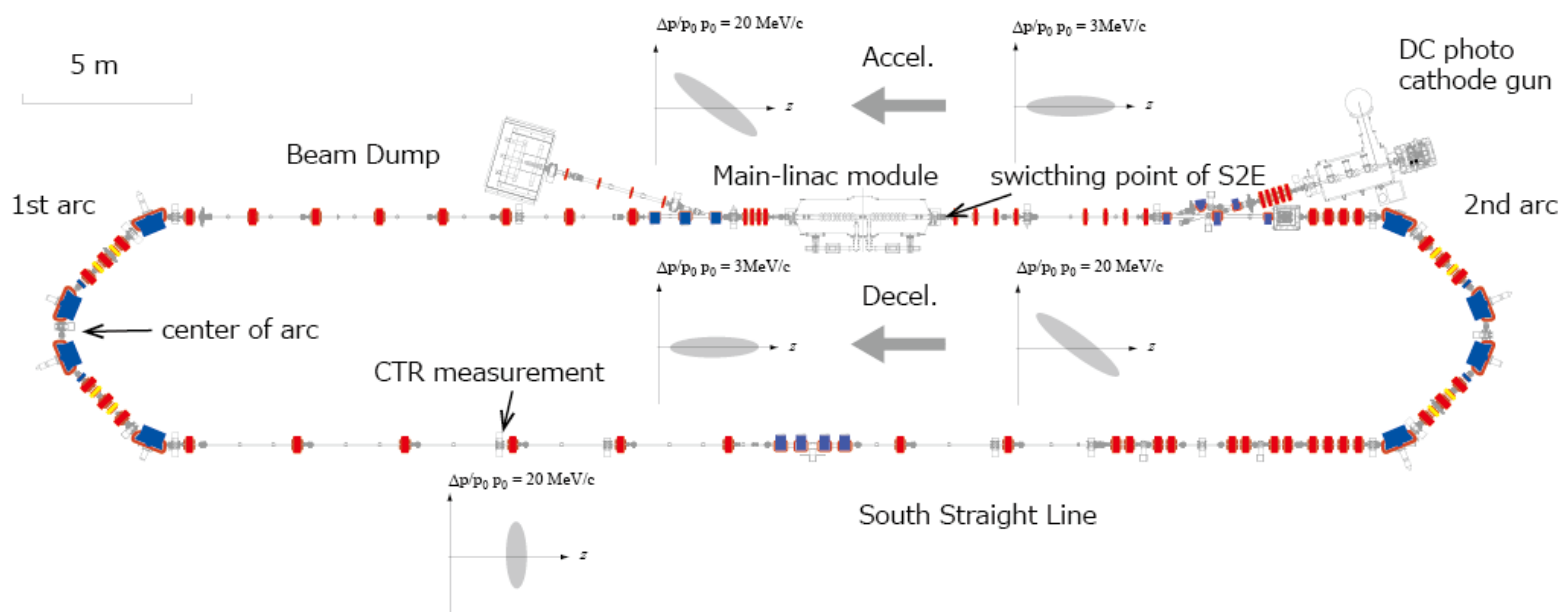
- バンチ長が最短となるときの R_{56} とバンチ長 σ_z^f

$$R_{56} \sim \frac{c}{2\pi f_{RF}} \frac{1}{\sin \varphi_{RF}} \quad \sigma_z^f \sim R_{56} \sigma_{\Delta p/p_0}^i \quad \sigma_{\Delta p/p_0}^f \sim \frac{2\pi f_{RF}}{c} \sin \varphi_{RF} \sigma_z^i$$

上付き文字 i: バンチ圧縮前 f: バンチ圧縮後

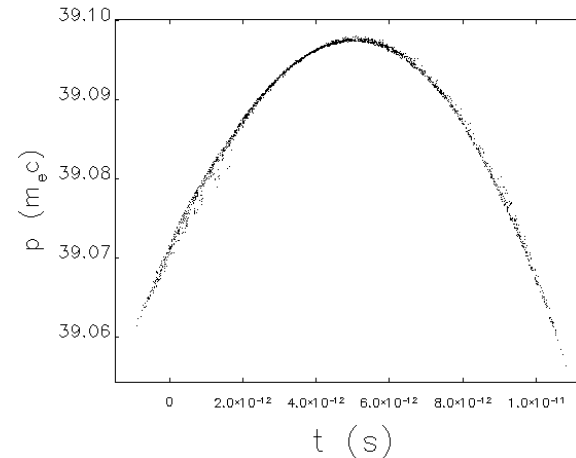
コンパクトERLのバンチ圧縮

- バンチ圧縮手順
 1. RFの位相を決める。(4, 8, 16.5, -16.5度)
 2. 周回エネルギーが20MeVになるように主空洞の振幅を微調整
 3. CTRでTHz信号が最大になるように第1アーケのR56を調整
 4. 同様にTHz信号が最大になるようにR56を6極で調整
- 実験と同じ手順でStart-to-end simulationの最適化も実施
 - Switching point (GPT -> elegant)は主空洞手前
 - Elegantで加速勾配を指定・計算



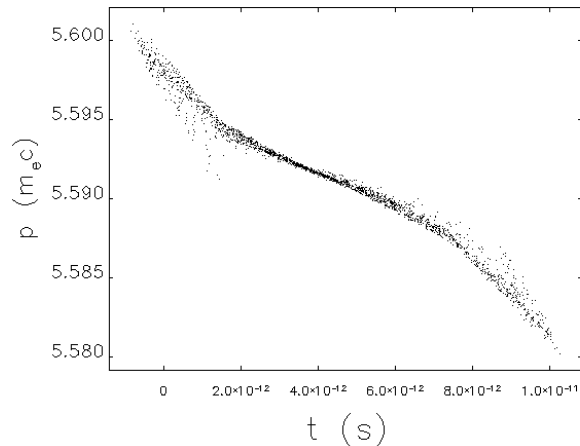
On crest加速とエネルギー広がり (Start-to-end simulation)

- On crest加速となる点を探す。
 - Elegantの設定で3degとしたときに on crest 加速
- Cam15のエネルギー広がり
 - GPT+elegant: $2.6e-4$
 - 測定値: $\sim 2e-4$



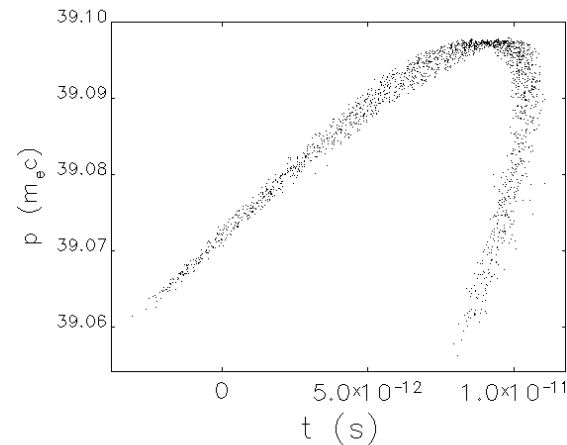
watch-point phase space--input: step1.ele lattice: temp.new

Cam14 (第1アーク入口)



watch-point phase space--input: step1.ele lattice: temp.new

Switching point

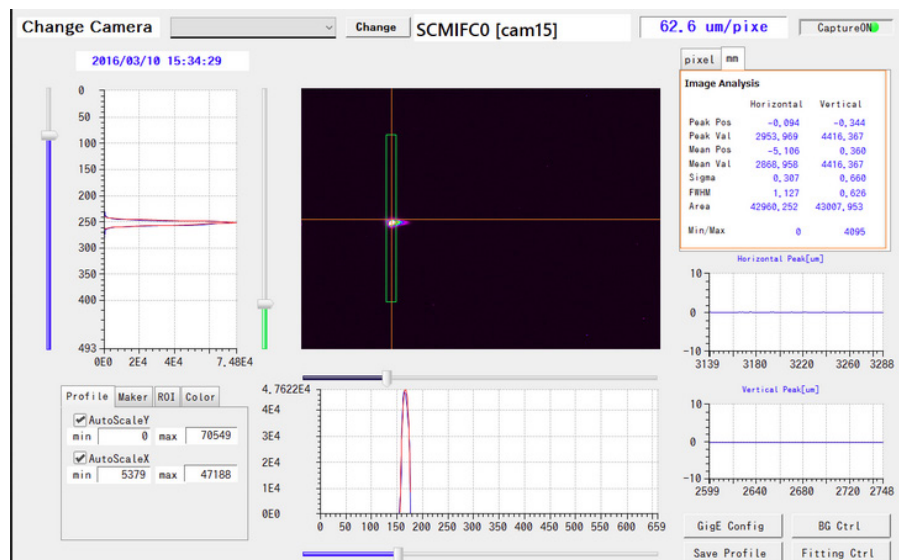
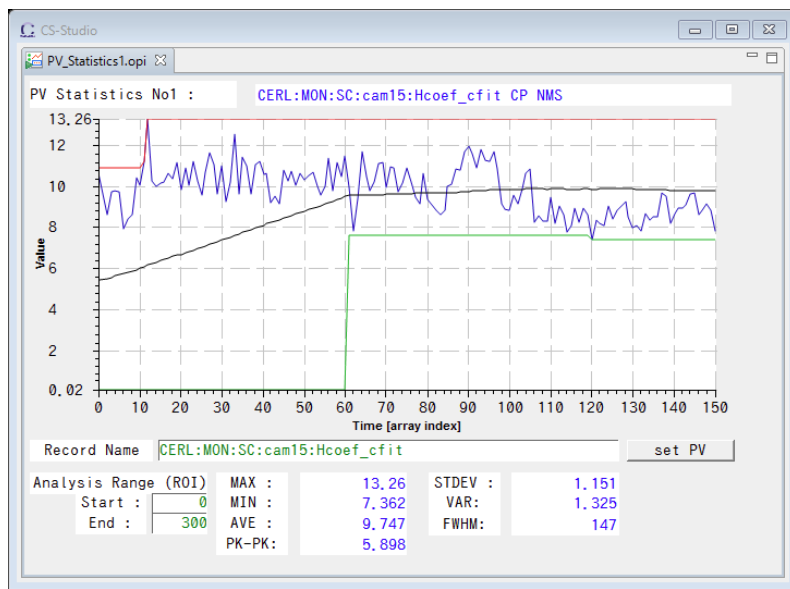


watch-point phase space--input: step1.ele lattice: temp.new

Cam15 (第1アーク中央、QMIF**=0A)

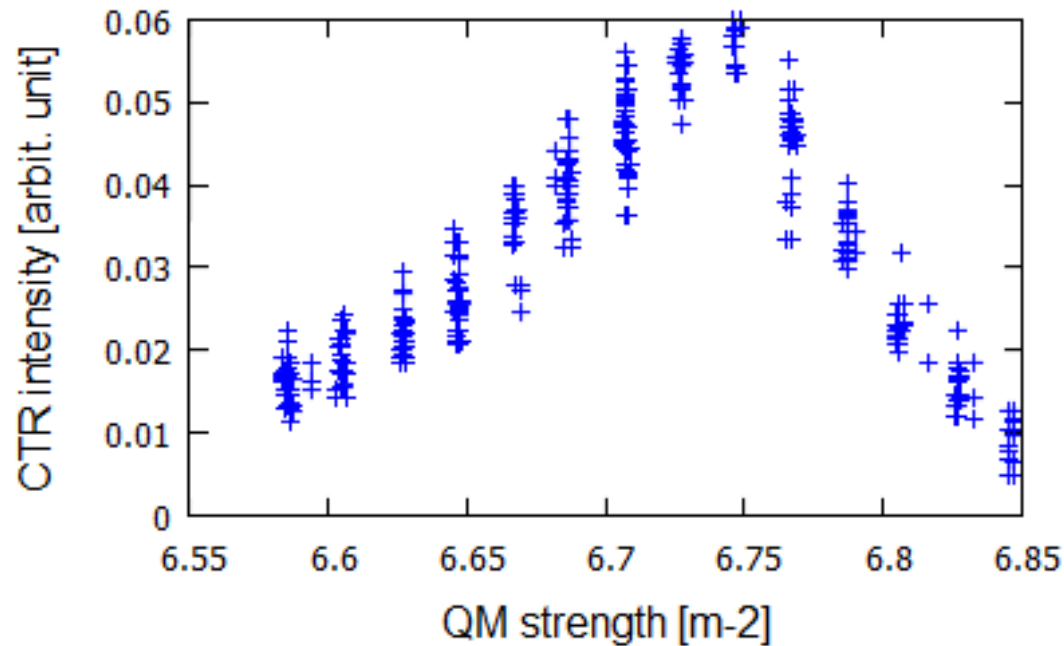
On crest加速とエネルギー広がり (測定)

- 3/10にcam15でジッターのstudyを実施
 - QMIF01-03をK=0に設定。
 - Cam15の分散関数は-2.39m
- エネルギー広がり推定値 $\Delta E/E : 2e-4$
 - 水平ビームサイズ $\sim 530\mu\text{m}$ (8.5 pixel、62.6 $\mu\text{m}/\text{pixel}$)



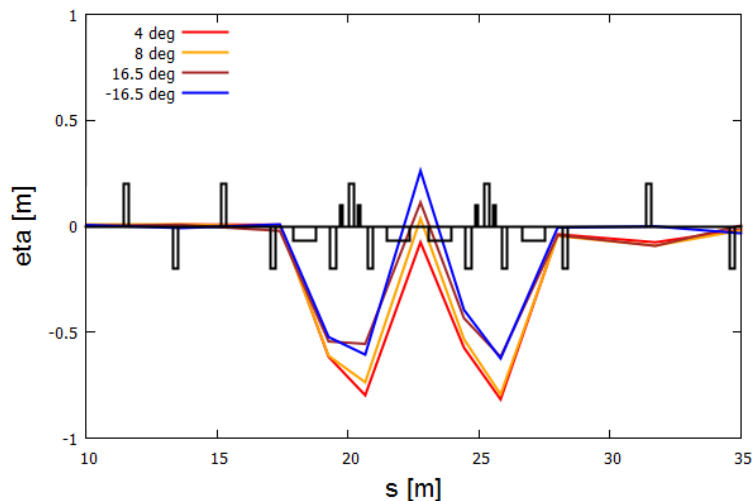
R56の最適化

- R56最適化には専用のパネルを用意
 - QMIF01,02,03,04,05,06を比率1:2:0:0:2:1で変更
 - グラフではQMIF02を表示
 - 3/15の測定ではVDI社のWR-3.4ZBD (Schottkey diode) でTHzを測定

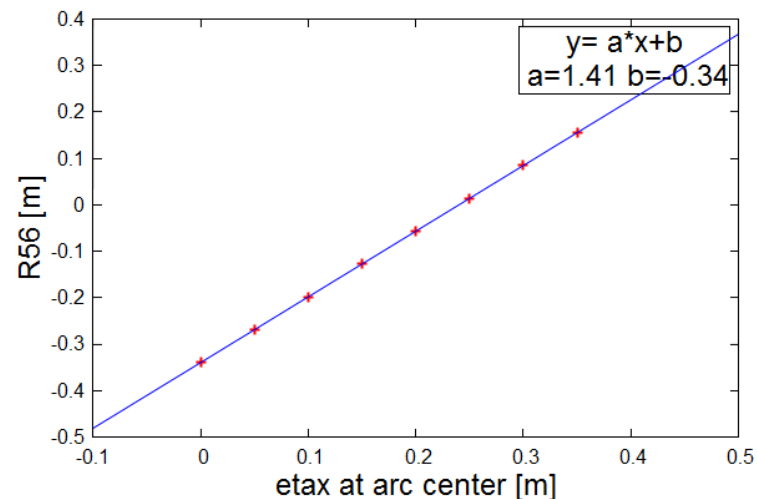


分散関数とR56

- バンチ圧縮を $\varphi=4,8,16.5,-16.5$ degの位相で実施。
- 分散関数 η_x をCTRの応答が最大になるように調整。
- そのときの分散関数を測定
- アーク中央の η_x からR56を推定可能。



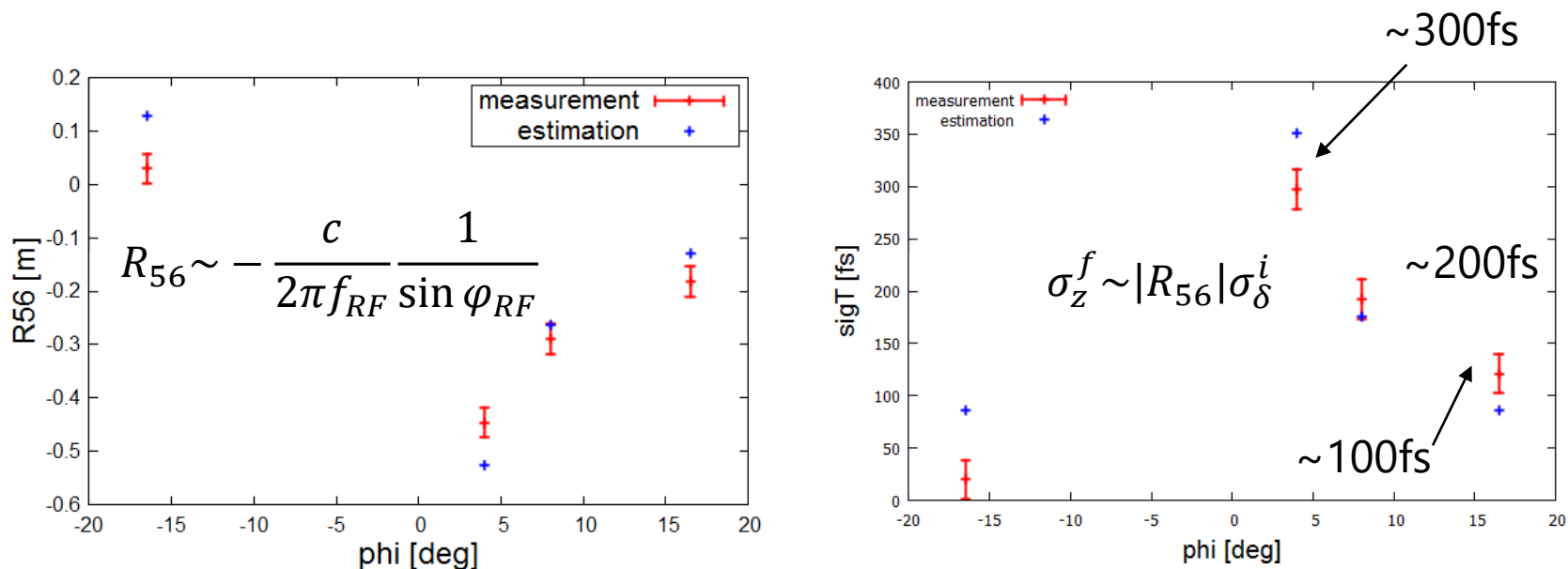
CTRの応答が最大になるように調整
した時の分散関数
(BPMの測定点をつなげたもの)



R56と第1アーク中央の
分散関数の関係式

バンチ圧縮のときのR56（1次近似）

- バンチ圧縮を $\varphi=4, 8, 16.5, -16.5$ degの位相で実施。
- アーク中央の η_x からR56を推定。
- バンチ長が最小になるR56の理論値と比較。
- エネルギー広がり $\Delta E/E \sim 2e-4$ としたときにR56からバンチ長を推定

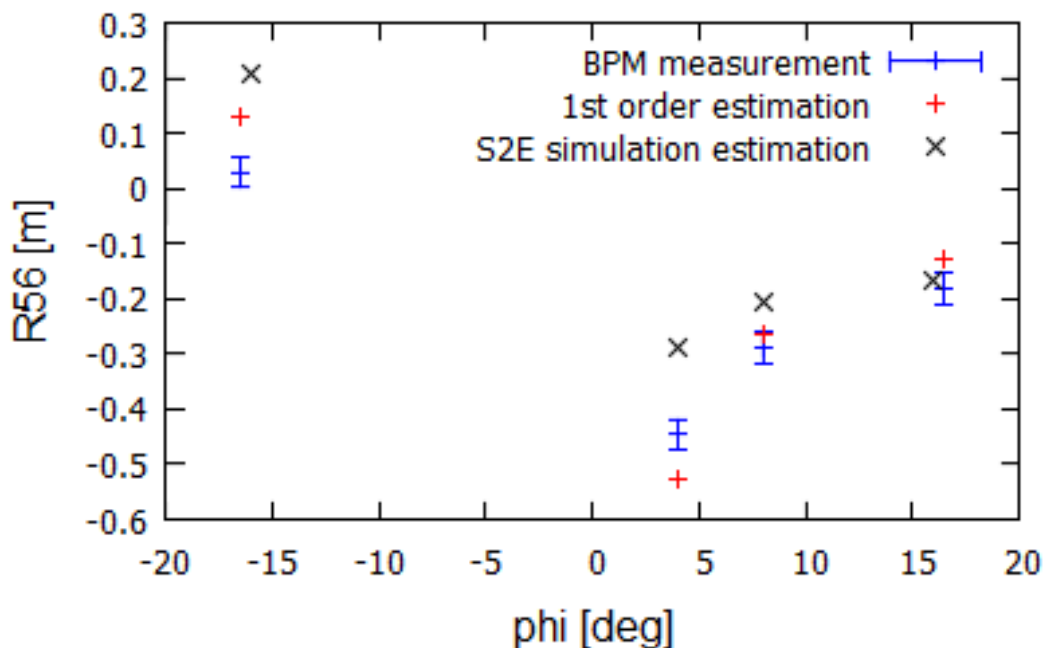


バンチ圧縮に最適化したR56の実測値と理論値の比較
(エラーバーはBPM200umに相当)

左図から推定したバンチ長

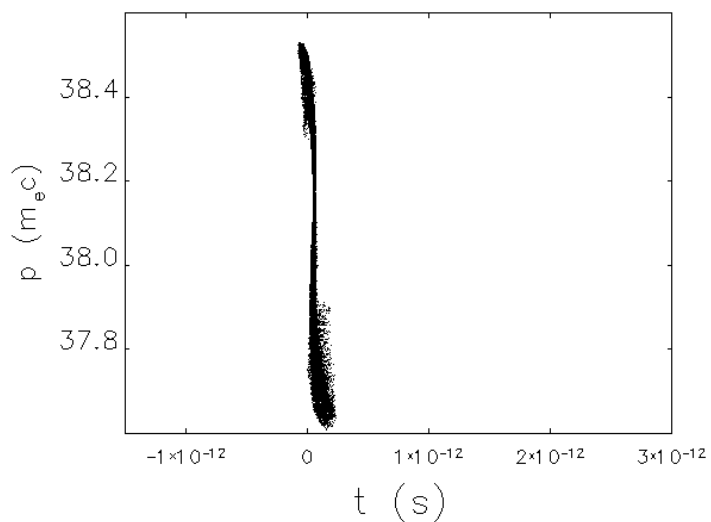
R56依存性とS2E simulationの課題

- 前ページのグラフにS2E simulationの結果を合わせる。
 - 1st orderとの結果が合わない理由：電子の速度の影響と主空洞前の縦方向の位相空間プロファイル
 - 実験結果は1次近似に近い。



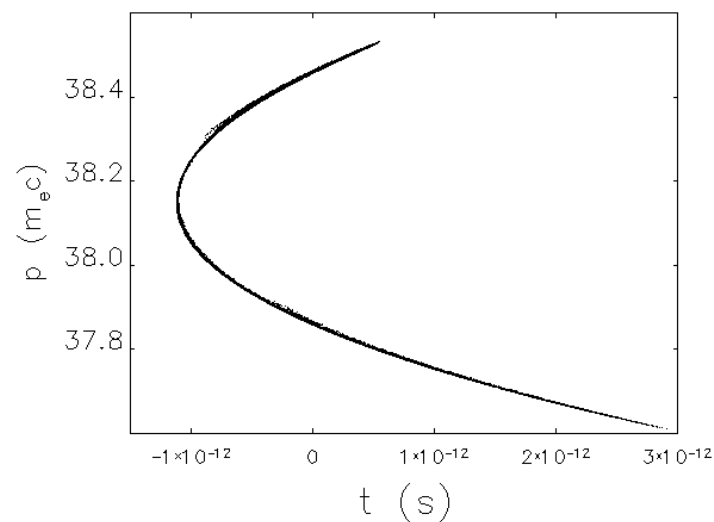
バンチ圧縮最適化

- S2E simulationの結果
- 主空洞位相8度に設定
- Elegantでバンチ圧縮の最適化
 - パラメータはR56とR566
 - 時間短縮のため2kで最適化した後に100kでトラッキング



watch-point phase space--input: step7.ele lattice: step6.new

6極あり $-67 [m^2] : \sigma_z = 26 \text{ fs}$

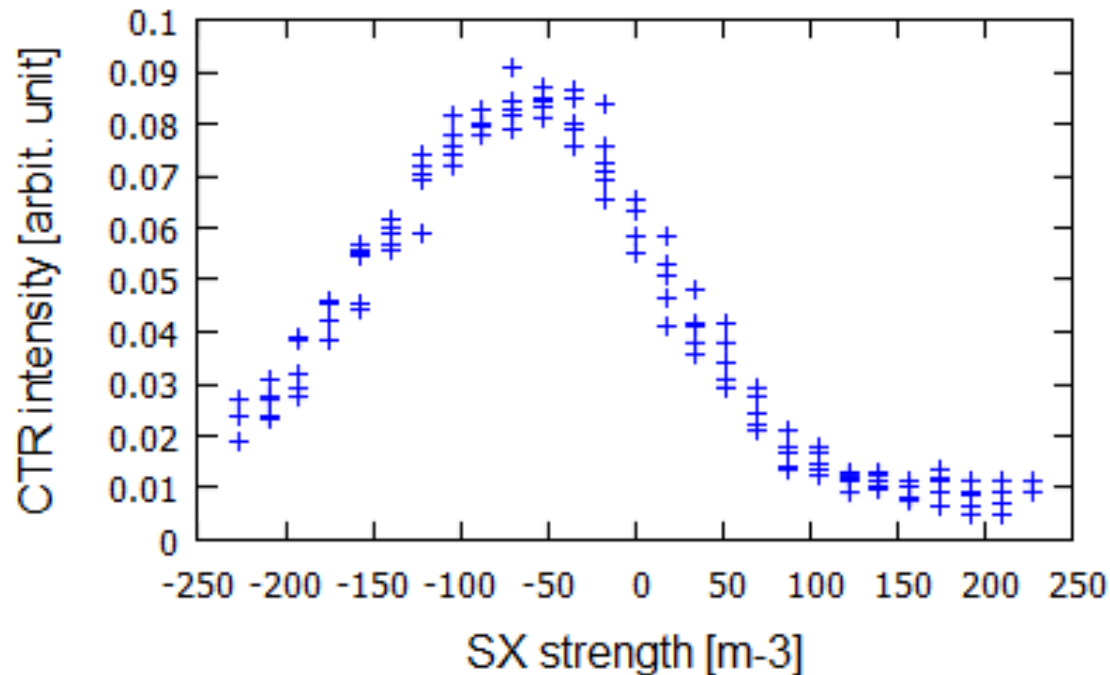


watch-point phase space--input: step7.ele lattice: step6.new

6極なし : $\sigma_z = 670 \text{ fs}$

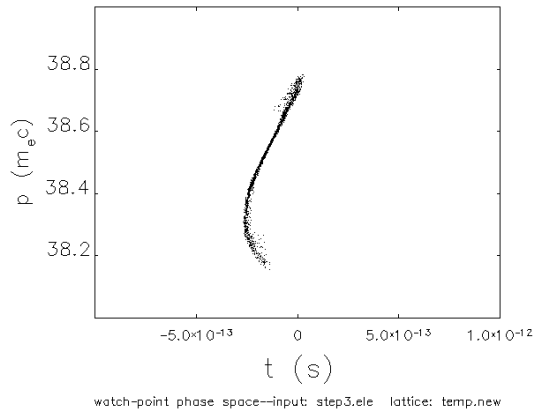
6極の調整

- 3/15の時だけ、SXが有効に働いたように見えた。
 - 前の週のバンチ長測定ではSXは効いていなかった。原因は不明
- S2E simulationでは $K2=-67\text{m}^2$ に対し、実験では -50m^2
- IPACではおおむね一致していると報告（疑問が残るが）

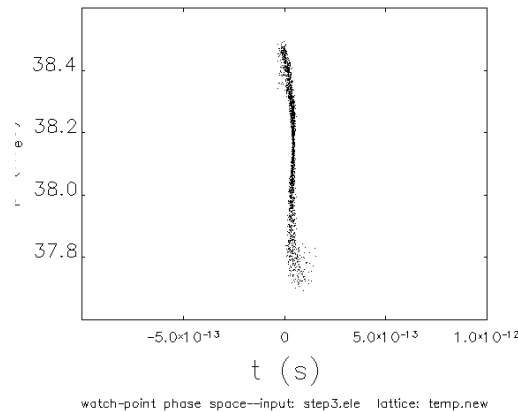


S2E simulationのSX補正

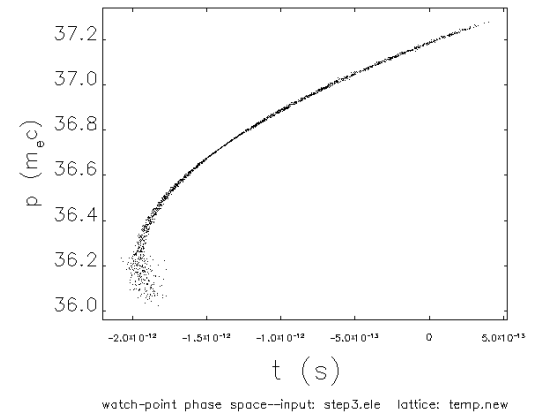
- IPACのproceedindsでは4,8,16度で54 fs, 24 fs, 670 fsと報告
 - 特に16度では最適化に失敗しているように見えるが、再計算の時間がなく、嘘がかけないので現状を報告してしまった。
 - トラッキングの結果はすべて2kのもの（100kは時間がなく未計算）



4 deg



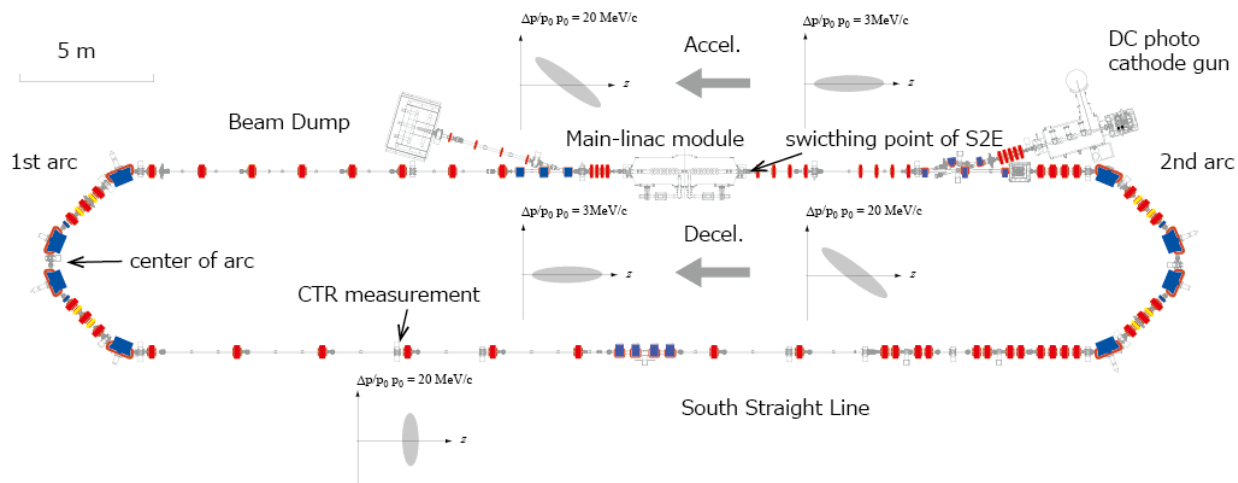
8 deg



16 deg

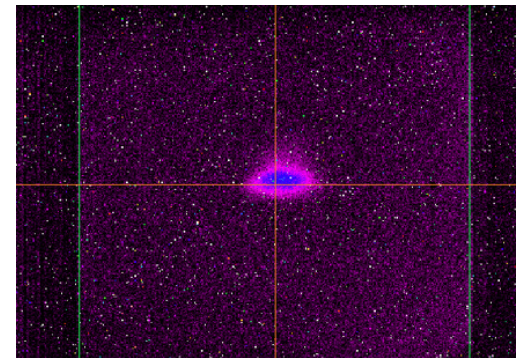
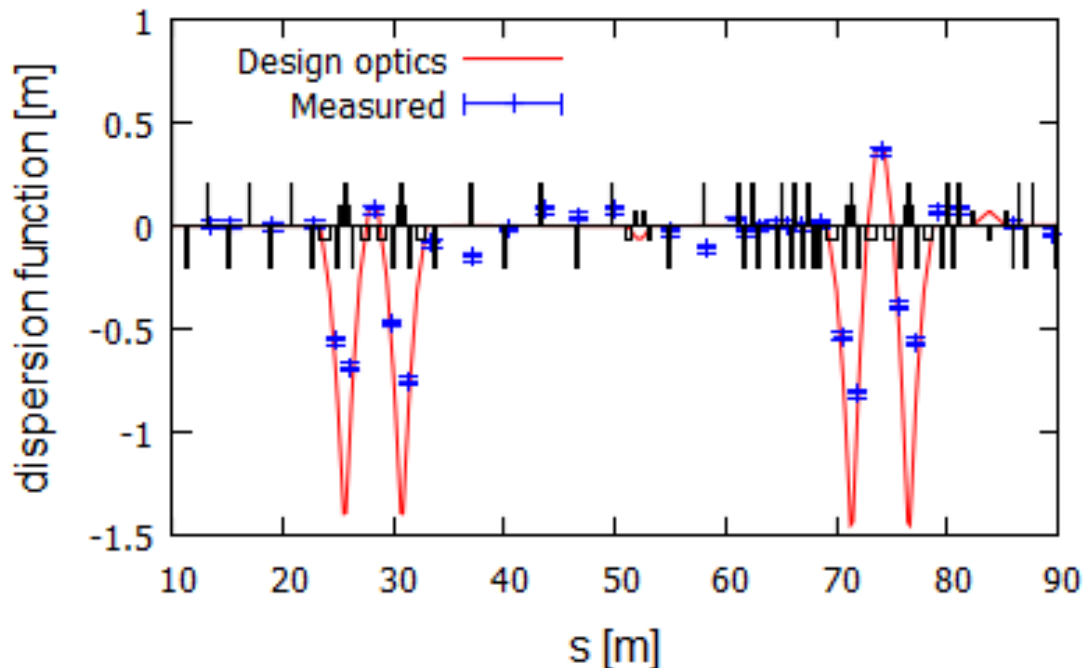
コンパクトERLのエネルギー回収

- エネルギー回収最適化手順（実験）
 1. エネルギー回収後で3MeVとなるように周長補正（あまり厳密にはやってなかった。）
 2. 第2アークのR56とR566を調整してダンプラインのエネルギー広がりをも最小になるように調整。
 3. 分散を閉じる。
- S2E simulationでは
 1. 第2アークのR56は全体（1周）でR56=0となるように調整。
 2. エネルギー広がりが最小になるようにRFの位相とR566を最適化



エネルギー回収の分散関数

- デザインオプティクス
 - 8度でR56を最適化、アーク全体（20MeVの場所のみ）でアイソクロナス
- 分散関数測定値
 - R56微調整の前のデータでやや不正確。
 - 空洞の振幅を変えてBPMで測定。おおよそ一致している。
 - バンチ長がもとに戻っていると判断
- エネルギー回収後にダンプリンを問題なく通過。平均電流50uAを達成。

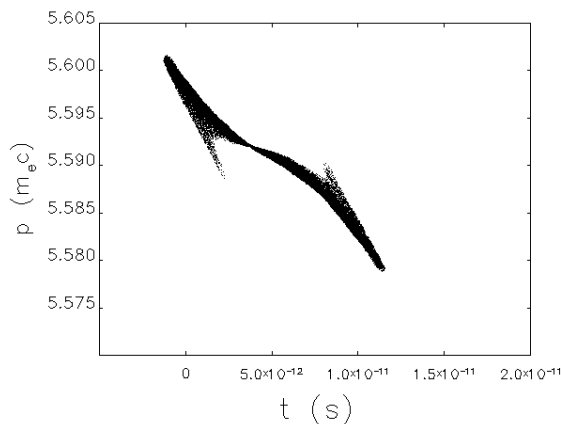


cam31の画像

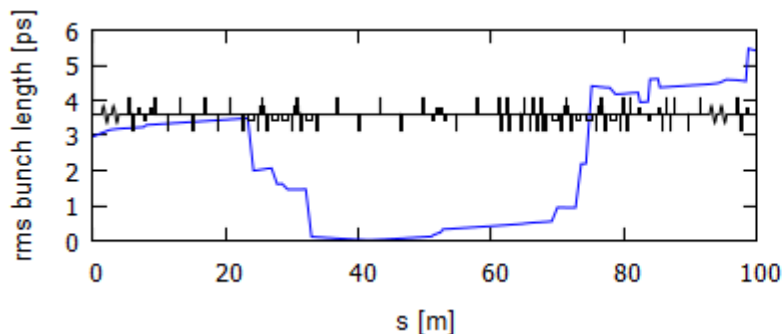
エネルギー回収

- 加速位相8度でエネルギー回収の最適化

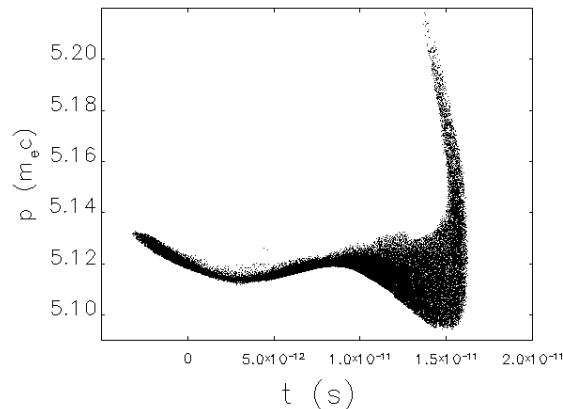
- エネルギー回収後でエネルギー広がりが増えている。
- 原因のひとつは2kで最適化した後に100kでトラッキングしたことのミスマッチ。



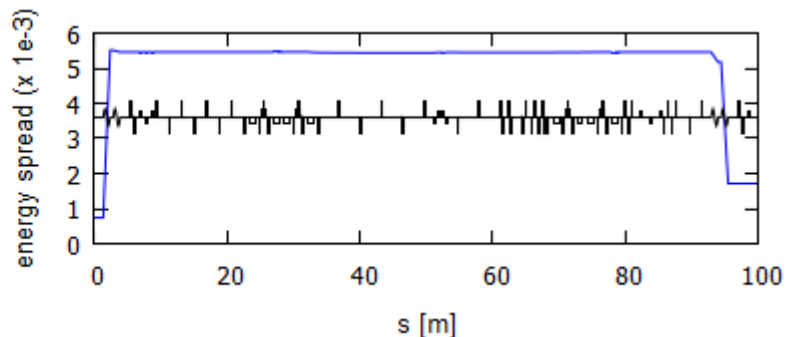
Switching point (100k)



バンチ長の推移



エネルギー回収直後 (100k)



エネルギー広がり の推移

まとめ

- 3/15に行ったバンチ圧縮のオプティクススタディとその後実施したS2E simulationの結果について報告
- RF位相4,8,16.5,-16.5度でバンチ圧縮を実施
 - 電子速度の影響などで、S2E simulationと1次近似に差があった。
 - R56の実験結果は1次近似に近かった。
 - この日だけ、6極を励磁してTHz信号が強くなった。
- エネルギー回収
 - 分散関数の測定結果より、完全ではないがバンチ長はもとに戻っていると思われる。
 - エネルギー回収後のダンプラインを比較的小さなビームサイズで通す。平均電流50uAに達成。
- S2E simulation
 - 6極電磁石やエネルギー回収の最適化に課題が残る。