

# 電子銃からCWで暗電流が出た時のビーム損失の評価

2012年6月1日(金)14時

3号館5階会議室

第69回ビームダイナミクスWGミーティング

宮島 司

# はじめに

- ビーム損失評価は、主な原因と考えられる暗電流の位置や量が分からないと定量的な評価が難しい
- 暗電流の位置や量は実際に実験してみないと分からない部分が多い
- しかしながら、それでは全く評価が出来ないことになってしまうので、比較的仮定が分かりやすい部分から評価を開始することとした。
  
- 今回評価した部分：電子銃からCWで暗電流が出続けた時に、合流部の分散がある部分でどれ位ビーム損失となるか
- 電子銃からの暗電流は基本的にCWなので、下流のバンチャー空洞、入射器空洞で望まない位相で加速されることになり、合流部手前で大きなエネルギー差をもつことになる。
- このようなエネルギーをもったビームが合流部での分散関数によって、大振幅をもちチェンバーの内壁に当たると考えられる。
- CW暗電流の内、どの程度の割合が合流部で損失するかを見積もった。
  
- 割合が分かれば、後は暗電流量を仮定すれば損失量を評価できる。
- 電子銃からの暗電流は、NPES3電子銃を使ったビーム試験で数十nAであることが観測されており、数十 nAというのを仮定するのは悪くないのではと考えている。

# ビーム損失に繋がりそうな場所

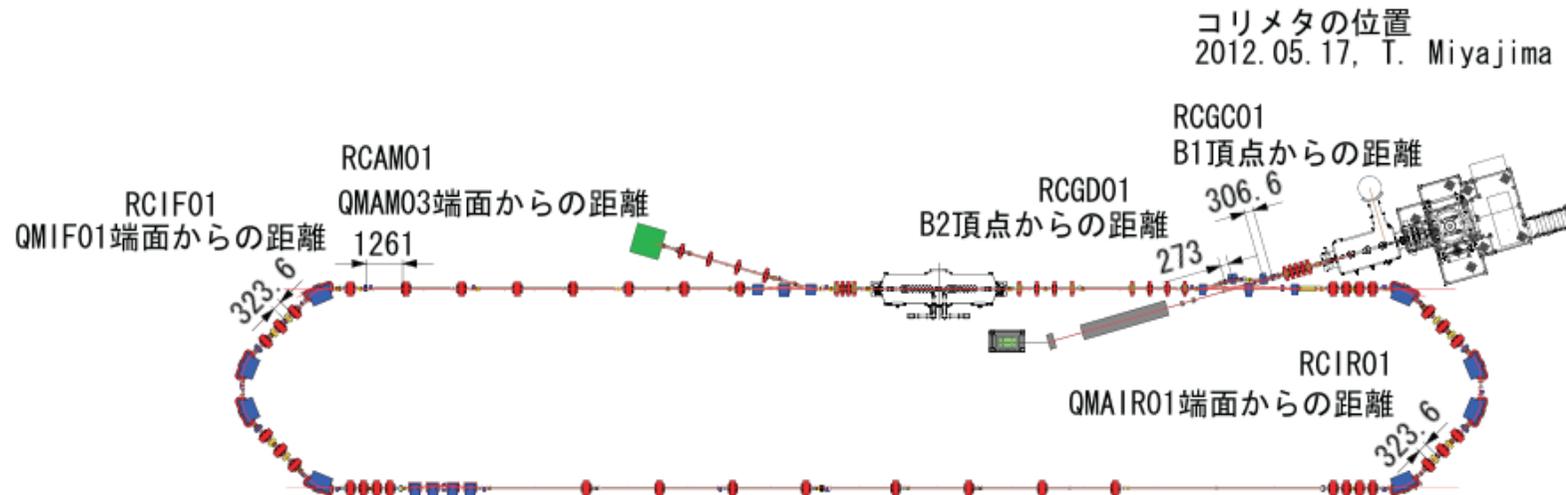
- ビーム損失に繋がりそうな場所

- 合流部
- 周回部アーク
- 入射器診断ライン偏向電磁石下流
- ビームダンプ部
- コリメータ部等

今回はこの組み合わせを評価した

- ビーム損失につながる電子の源

- 電子銃からの暗電流
- RF空洞からの暗電流
- 電子内散乱、ガス散乱等

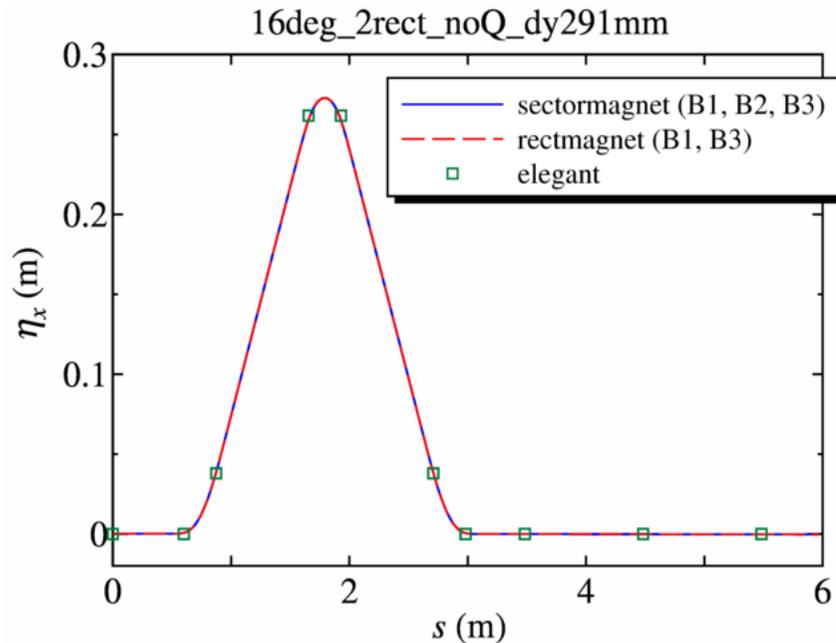


# 合流部での分散関数

- 分散関数の最大値 : 0.273 (m)
- 単粒子で考える(ビームの拡がりは無視する)と、分散関数のある位置でのエネルギー変化による軌道のずれは、

$$\Delta x = \eta_x \delta$$

$$\delta = \frac{P - P_0}{P_0}$$



チェンバーの内半径を仮に 30 mm と仮定すると、分散関数最大部分で電子が壁に当たるときの運動量変化率は

$$\delta = 0.110$$

と見積もられる。

$P_0 = 5.510 \text{ MeV/c}$  の場合

ビームが壁に当たらない範囲:

$$P = 4.904 \text{ MeV/c} - 6.116 \text{ MeV/c}$$

電子銃からのCWの暗電流による電子が、入射器空洞後に上記のエネルギー範囲から外れる場合をビーム損失とする。

# エネルギー変化の原因

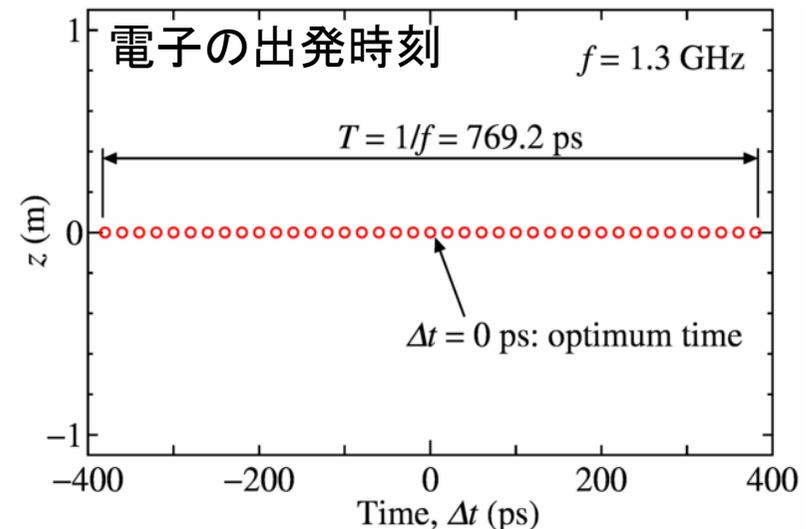
- 電子銃からの正規のビームはパルス状になっており、1.3 GHzの間隔でRF空洞に入る
- 一方、電子銃からの暗電流はCWであり、あらゆる位相で加速されることになる⇒空洞出口では異なったエネルギーをもつことになる
- 場合によっては、電子銃側に逆流するものも発生する
- 今回の計算
  - 電子銃から単電子を加速
  - 出発時刻は最適時刻から、-380 ps から 380 ps の範囲でずらした粒子をトラッキングする。20 ps 間隔で電子を配置(合計39個の電子)
  - 1.3 GHz の周期: 769 ps

$\Delta t = 0$  が最適な時刻。

出発時刻がずれると、RF空洞の最適な位相からずれることになる。

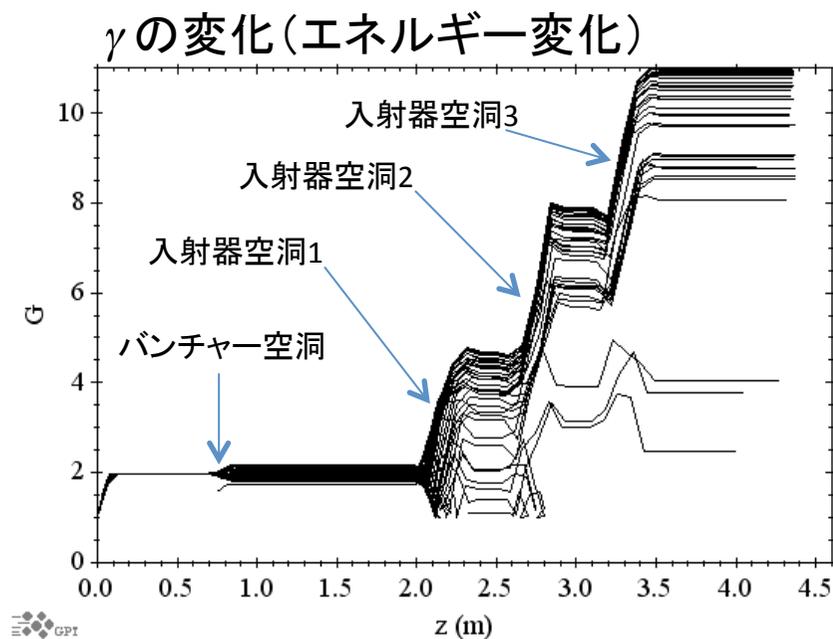
出発時間のみをずらした電子を加速して、入射部空洞下流でのエネルギー変化を計算した。

電子はビーム進行軸上に配置して、x, y 方向への変化はない状態とした。

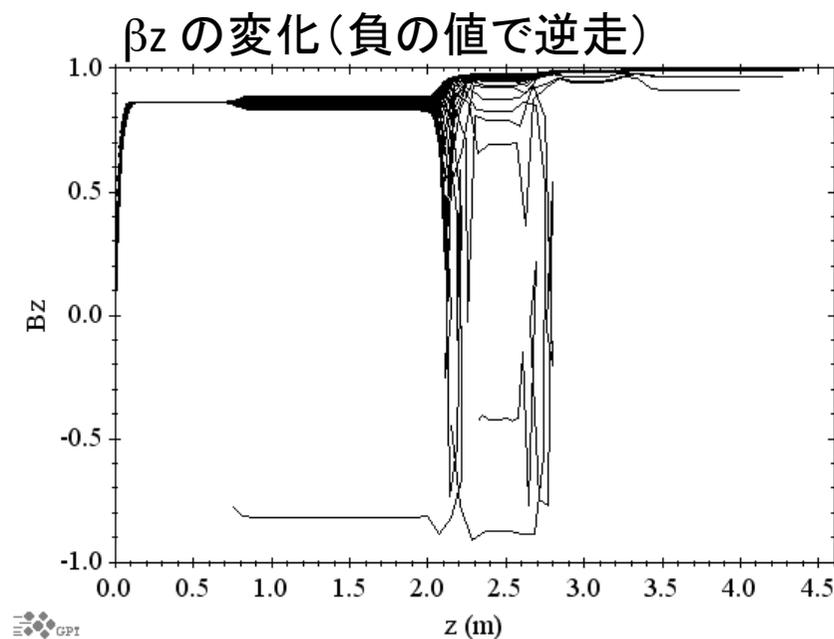


# 出発時刻のずれによるエネルギー変化

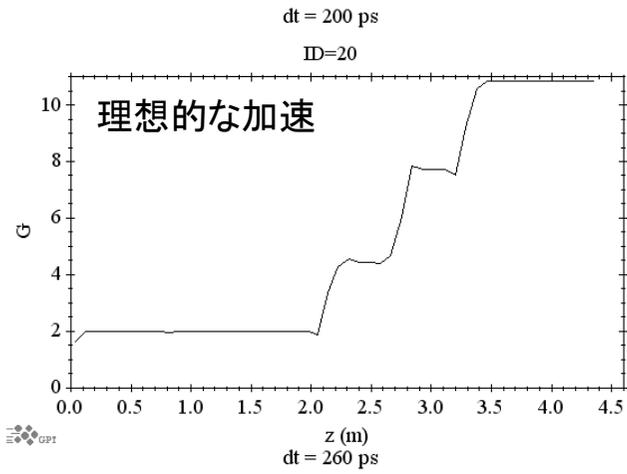
- 39個の計算結果をまとめてプロット



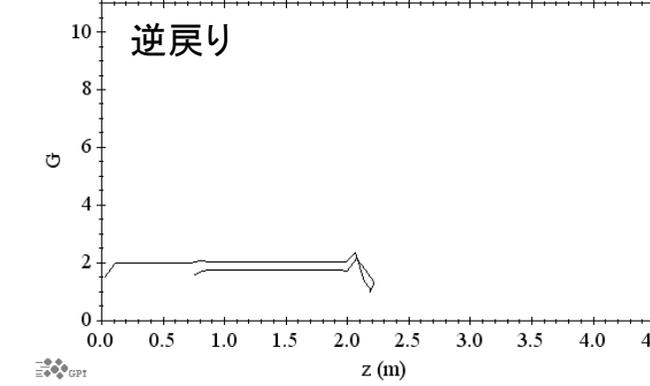
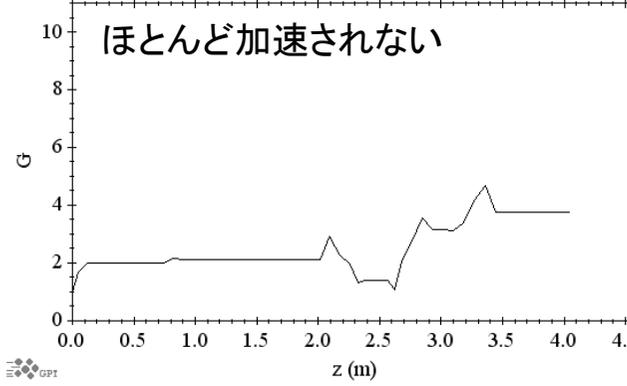
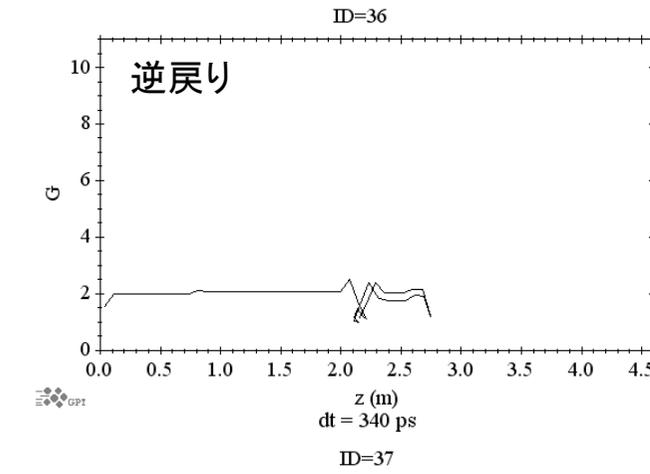
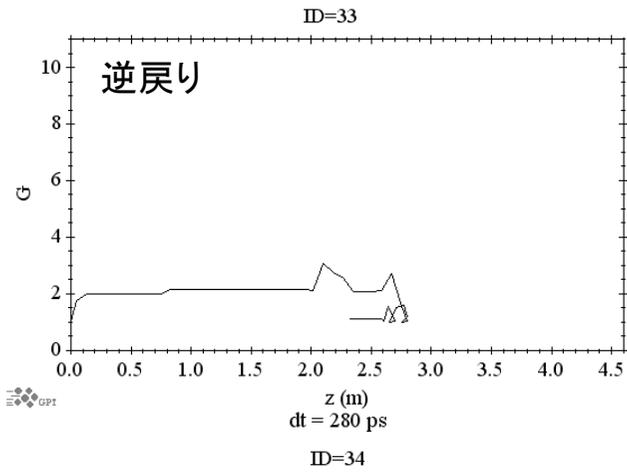
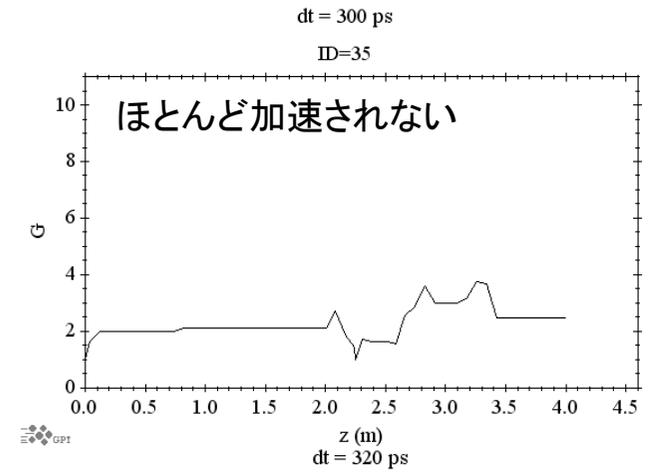
- 出発時刻がずれてもバンチャーまでは当然変化なし。
- バンチャー出口からずれが見え始める
- 幾つかの電子ではおかしい軌道を取っている

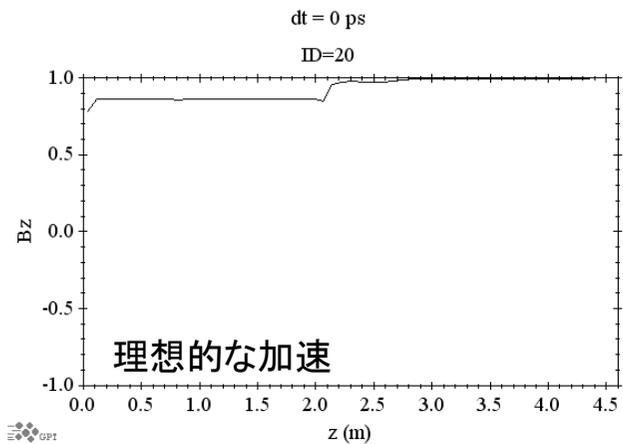


- $\beta_z$  が負になっている電子が幾つかいる
- これは電子銃側へ逆流していることを示している
- カソード面 ( $z=0$ ) に当たるかはもう少し積分時間を増やさないと分からない

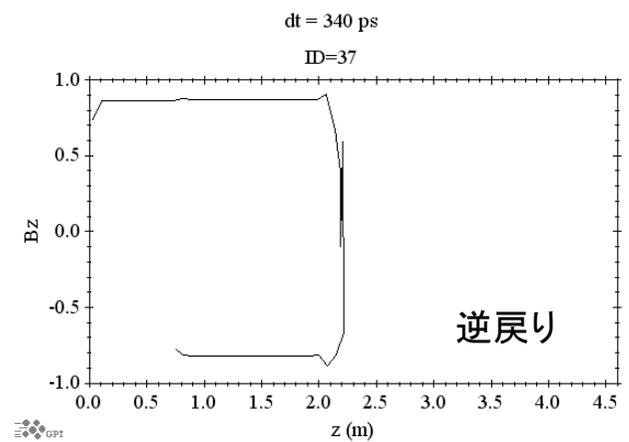
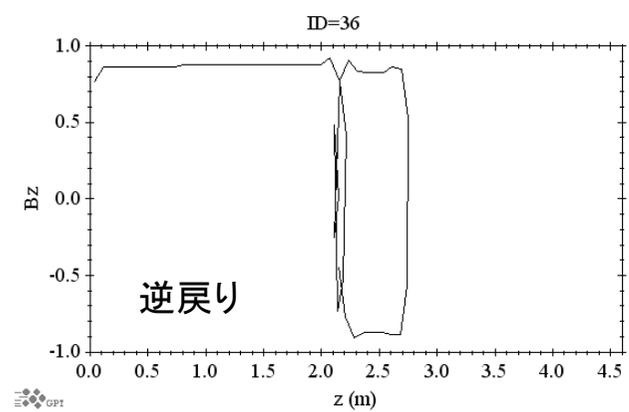
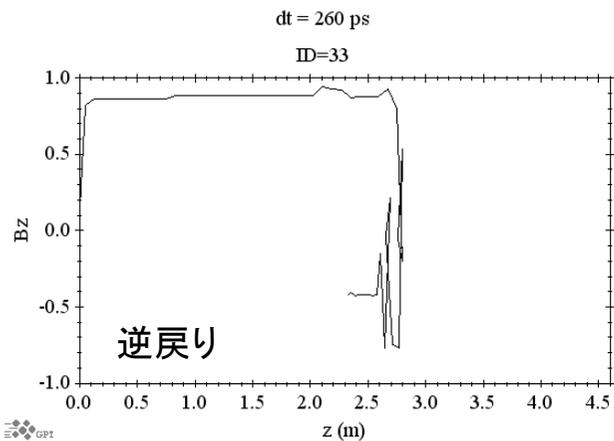
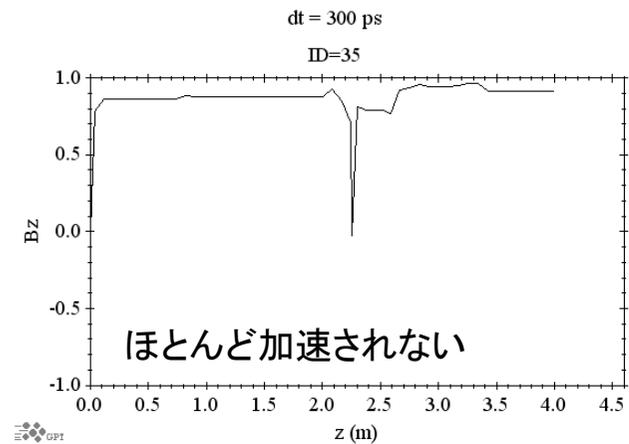


明らかに加速状態  
がおかしいものを幾  
つかピックアップ



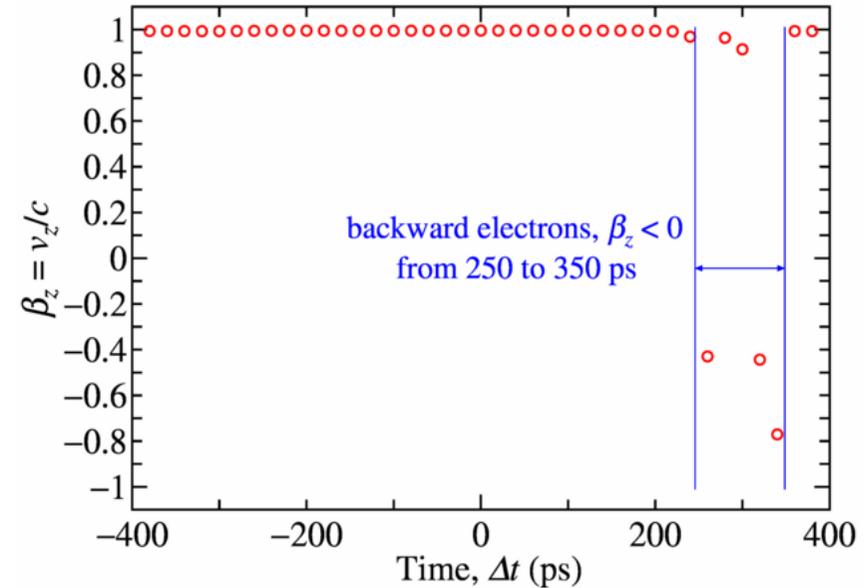
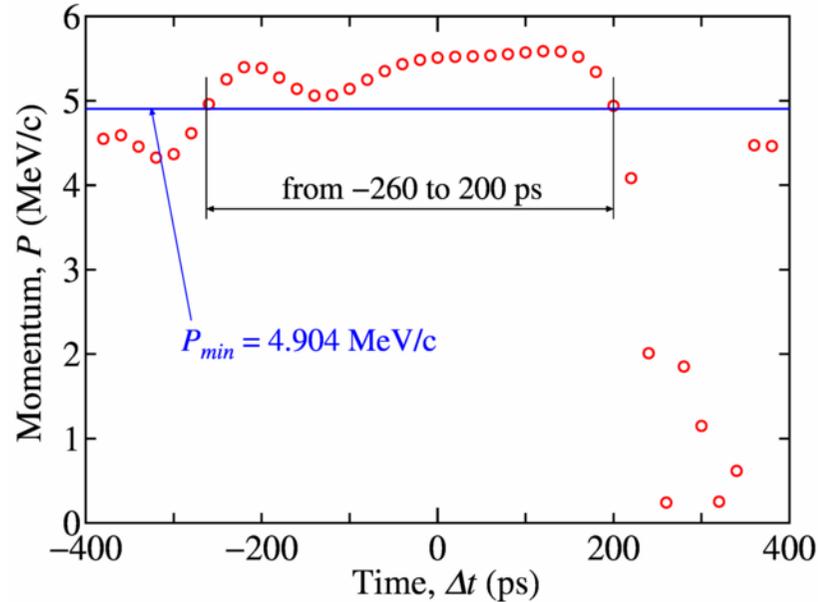


明らかに加速状態  
がおかしいものを幾  
つかピックアップ



# エネルギー変化のまとめ

- 計算開始から 15.9 ns 後のエネルギーと出発時刻の関係をまとめる



全体の領域:  $1/1.3e9 * 1e12 = 769$  ps

4.904 MeV/c より大きい領域 (損失なし): -260 to 200 ps, 460 ps

逆戻り領域: 250 to 350 ps, 100 ps

合流部ビーム損失領域 (逆戻り分を引いた時):  $769 - (460 + 100) = 209$  ps

合流部ビーム損失割合:  $209.0 / 769.0 = 0.272$

逆戻り損失割合:  $100.0 / 769.0 = 0.130$

すなわち、CW で暗電流が出続けた場合、

27%が合流部でビーム損失、13%が電子銃側へ逆戻り

これに暗電流の量を掛ければ合流部でのエネルギー変化に起因するビーム損失量が分かる

# まとめ

- ビーム損失量を評価するために、簡単な電子銃からのCWの暗電流に起因するビーム損失割合を評価した。
- CWビームはRF空洞のあらゆる位相で加速されることになり、空洞出口では大きなエネルギー変化となって現れる。
- 分散部ではエネルギー変化によって、チェンバー内壁との衝突により、ビーム損失となる。
- チェンバー内壁を内半径 30 mmと仮定すると、電子銃からのCWの暗電流のうち、27%が合流部でビーム損失となり、13%が電子銃側へ逆流する結果となった。
- 電子銃からの暗電流を仮定すれば、ビーム損失量を評価することができる。
- ただし、この結果は設定オプティクスに依存(特に加速位相間の位相差)するので、第一コミッショニングモード以外のオプティクスでも評価する必要がある。
- 今後は、同様の手法でコリメータ部、周回部アークでの損失を見積もる予定である。