

cERL phase 1コミッショニング検討(3)

第78回ビームダイナミクスWGミーティング
4号館2階輪講室1

2013年3月4日(月)14時30分
加速器第七研究系
宮島 司

はじめに

- cERL phase1 コミッショニングに向けてビーム性能、オプティクス等を検討することを目的とする
- 2013年2月1日(金)のcERL建設打合せで、放射線検査に合格するためのビーム性能、配置、励起レーザーの仕様、入射器空洞の加速電圧について紹介
- 2013年2月13日(水)のERL-BDWGにて、モニター、コミッショニングの大まかな流れについて紹介
- 前回の打合せでの検討課題
 - 空洞の位相調整時、Qの中心を通過していない時に、エネルギーを変更したら、Bの下流の軌道はどうなるか？
 - モニター可能な最低の出力はいくらか？
 - マクロパルス幅: 空洞のダメージを考慮して小さくした方がよいのではないか？ 最小幅の100 nsとか。
- 今回の検討項目
 - これまでの検討のまとめ
 - コミッショニングの流れ(つづき)

Phase 1 コミッショニング

- 電子銃、入射器超伝導空洞、診断ラインから構成されるビームラインでのビーム試験
- 性能
 - 加速粒子の種類: 電子
 - 最大運動エネルギー: 6 MeV
 - 最大出力: 6.0 MeV μ A
- 当面の目標
 - 放射線発生装置の検査に合格するだけの出力(最大出力の2から3割)の電子ビームをダンプまで輸送すること(ビーム性能向上はその後)
 - 最大出力の3割とすると、1.8 MeV μ A
 - 運動エネルギー 5 MeVの場合: 0.36 μ A
 - 運動エネルギー5.5 MeVの場合: 0.327 μ A
 - 入射器空洞の試験結果から、phase 1コミッショニングでは、入射器空洞での加速は5.2 MeVまで行けそう。電子銃の電圧を足して、5.7 MeVくらいが最大の運動エネルギーとなる。
 - とりあえず、300 nA 程度出せれば良い

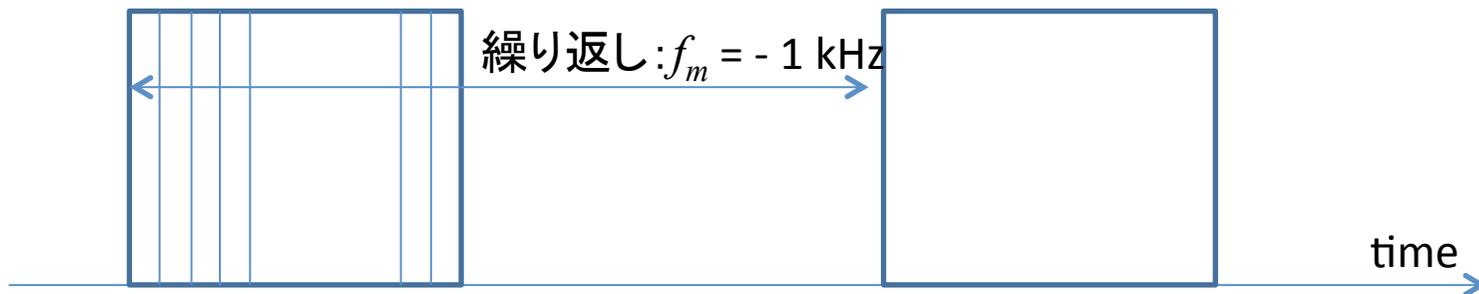
Phase 1 の時の励起レーザー

- 基本的にバーストモードで運転する
 - マクロパルス幅: 1 μ s から 100 ns 程度
 - 繰り返し: 1 kHz から遅い方は幾らでも可
 - 1パルスの時間構造: 3 ps rms (Gaussian), スタッキングはなし \Rightarrow 全時間幅 16 psを想定して計算していたので、バンチャー空洞のパラメタの見直しが必要(現在見直し中)

マクロパルス幅: $\Delta T = 100 \text{ ns} - 1 \mu\text{s}$



最初は100 nsくらいが良い(1マクロパルス当たりの電荷を下げて、損失時のダメージを極力小さく抑える)



1バンチ当たりの電荷(Q)

$$Q = \frac{I}{\Delta T \cdot f \cdot f_m}$$

I: 平均電流 (A)

バンチ電荷

- ERL入射器では空間電荷効果が支配的なため、バンチ電荷によってビーム光学が変化する
- ビーム光学一定で調整するためには、バンチ電荷を一定に保つことが望ましい
- cERL phase1コミッショニングでのバンチ電荷を幾つにするか？
 - 案1: 7.7 pC/bunch
 - メリット: 周回部コミッショニング時と同じ電荷なので、調整が一度で済む。
 - デメリット: 空間電荷効果を見逃すことができない
 - 案2: 極力バンチ電荷を小さくして空間電荷効果の影響をなくす
 - メリット: 空間電荷効果を見逃して調整できる。施設検査まで素早く調整できる(かも)
 - デメリット: 周回部コミッショニング時に7.7 pC/bunchで再調整が必要
- 前回の打合せの結果
 - 7.7 pC/bunchに固定して調整する

マクロパルス幅を固定した場合

- マクロパルス幅を 100 ns に固定した場合
- マクロパルスの繰り返しを変えることになる
- バンチ電荷は 7.7 pC/bunch に固定

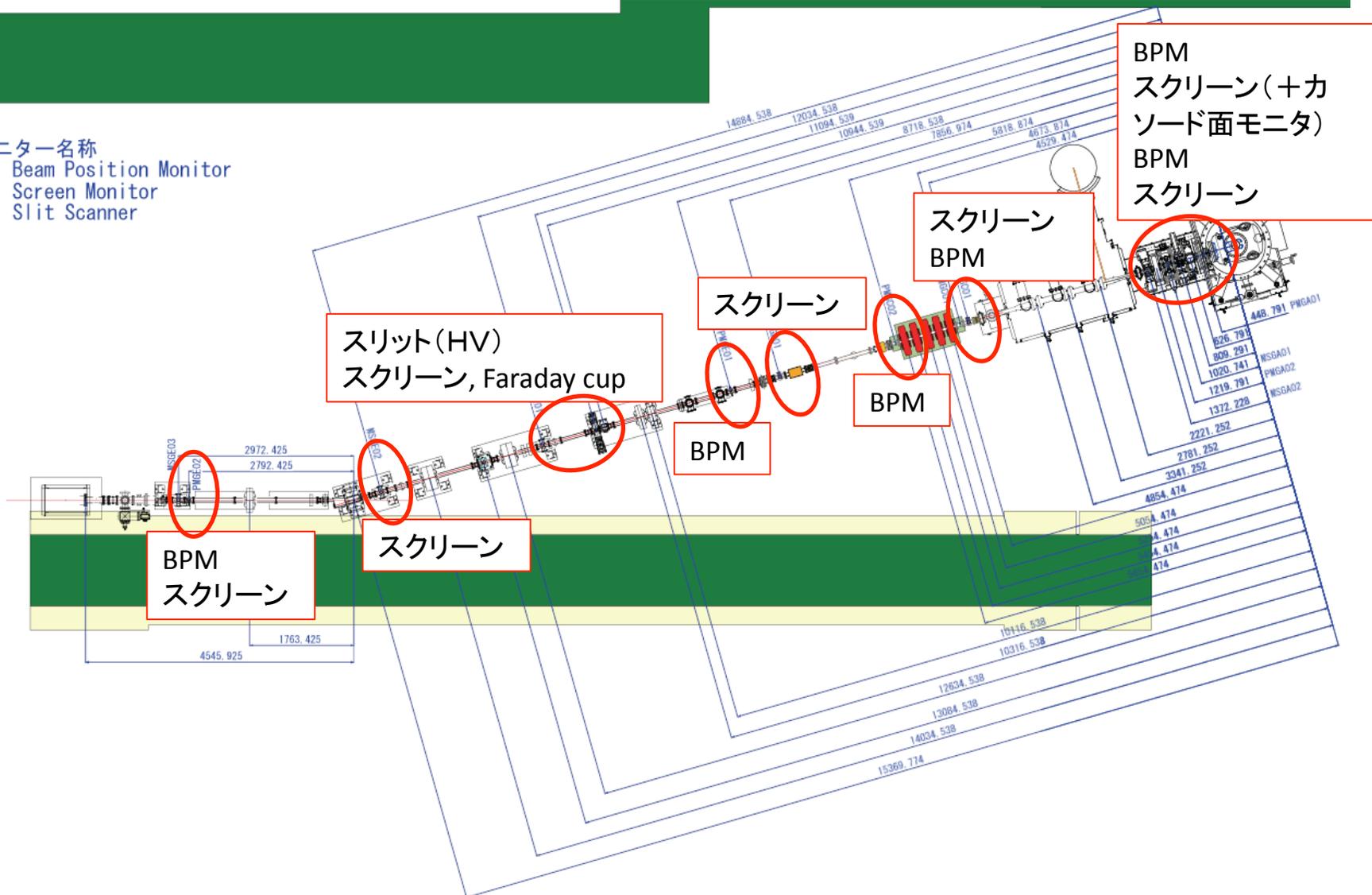
- 平均電流: 360 nA の場合
 - 繰り返し: 360 Hz
- 平均電流: 1 μ A の場合
 - 繰り返し: 1 kHz

- スクリーン等に当てる場合には、より小さい電流とする
 - 繰り返しを変えるか、マクロパルス幅を変える
 - マクロパルス幅固定の方が、フィリングタイムの影響等は同じにできる
 - 例えば、繰り返し 1 Hz とすれば、平均電流は 1 nA となる

- バンチ電荷を維持するには？
 - 最初に Faraday cup までビームを通して、レーザーのアッテネータの調整が必要 (前回のコメント)

Phase 1 の時のモニター

モニター名称
PM: Beam Position Monitor
MS: Screen Monitor
SS: Slit Scanner



診断すべきもの(前回)

- バンチ電荷、平均ビーム電流
 - 電子銃(高圧電源の出力電流)
 - 入射部ビームライン(ストリップライン)
 - 入射部診断ライン(ファラデーカップ、ビームダンプ)
- 軌道(ビーム位置)
 - Beam Position Monitor(BPM): ストリップライン電極による重心測定
 - Screen Monitor: スクリーン上の投影されたビームの形状を測定し、重心位置を計算
- ビーム形状
 - Screen Monitor
- エネルギー
 - エネルギーは加速する要素の直後で必ず測定する必要がある
 - 場所: 入射部診断ラインの偏向電磁石下流あるいは、診断ラインでのtime of flight
 - エネルギー領域
 - 電子銃: 500 keV
 - バンチャー空洞: 500 keV前後
 - 入射器超伝導空洞: 500 keV - 10 MeV (当面は 5.5 MeV)
- エネルギー拡がり
 - 場所: 入射部診断ラインの偏向電磁石下流
- バンチ長
 - 入射部診断ライン: 偏向空洞法、5.5 MeV、バンチ長 1-3 ps rms
- エミッタンス
 - ウェイストスキャン法
 - スリット法

コミッショニングの流れ(前回)

- 基本条件
 - (当然ながら)上流から調整
 - 絶対に避けたいこと:入射器空洞にビームを当てること
- コミッショニングの流れ(永井さんからのメールに、エネルギーを追加)
 - 電子銃直後のスクリーンで像を確認しながらビームを出す。
 - 電子ビームのプロファイルが確認できる程度までレーザー出力を徐々にあげる。
 - 超伝導加速器直前のスクリーンでプロファイルを確認後、超伝導加速器を通す
 - ビームをダンプまで運ぶ。(500 keVビームをダンプまで通すことになる)
 - バンチャにRFを入れて位相を測る。(位相調整に偏向電磁石を使う場合、500 keV + α のエネルギーのビームをダンプまで通すことになる)
 - バンチャのRFを所定の値にセットしてダンプまで運ぶ。(500 keVビーム)
 - 超伝導#1にRFをいれて位相を測る。
 - 超伝導#1のRFを所定の値にセットしてダンプまで運ぶ。
 - 超伝導#2、#3と順次同様に行う。(#3まで通して 5 MeVビームとなる)
 - ダンプでの電流値をみながらレーザー出力をあげる。
 - 1 μ Aをダンプで確認して終了。
- 複数のビームエネルギー値
 - 電子銃、バンチャー、超伝導空洞とエネルギーを段階的に上げていくことになる
 - エネルギーに合わせて、診断ラインの調整が必要

コミッショニングの流れ

1. 電子銃からのビーム軌道の調整(入射器空洞入口GV手前まで)
2. 空洞関係の調整(ダンプまで)

モニター名称
PM: Beam Position Monitor
MS: Screen Monitor
SS: Slit Scanner

1. 入射器空洞上流

目的: 入射器空洞に入る前の軌道を調整

最大500 keV(電子銃電圧に依存)

入射器空洞入口GV閉

スクリーンを入れておく

バンチャー空洞OFF

2. 入射器空洞下流

目的: 空洞の位相調整

エネルギー: 500 keV – 5.7 MeV

バンチャー空洞時: 500 keV

入射器空洞1: 2.2 MeV

入射器空洞2: 4.0 MeV

入射器空洞3: 5.7 MeV

Q. 1. の入射器空洞上流側GVを閉じた状態でビームを出して良いか？

RF空洞の位相調整

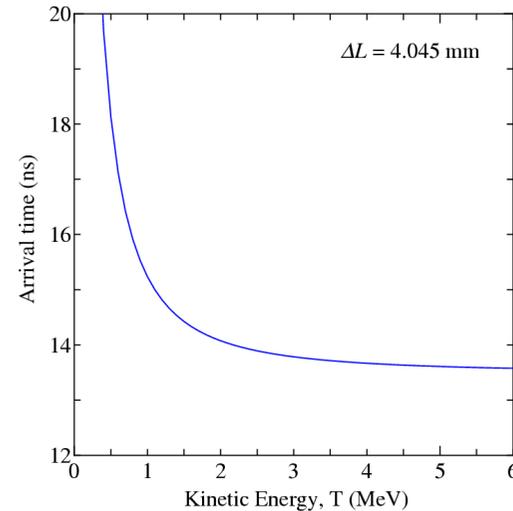
- エネルギー測定が重要となる
- 測定方法
 - ローディングで測定(具体的に可能か検討する必要あり)
 - オフレストでの横方向の蹴りで測定
 - 偏向電磁石の分散関数を利用
 - Time of flightによる測定
- 偏向電磁石を用いた場合、その上流側のオプティクスの影響を受けることになる。特に、四極電磁石のオフセンターを通った場合など。影響評価についてはこれから。
- Time of flightによる測定を考えてみる

Time of flightによる測定

- 運動エネルギー: T

$$\gamma = 1 + \frac{T}{mc^2} \quad \rightarrow \quad \beta = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{T}{mc^2}\right)^2}$$

$$\beta = 1 - \frac{1}{\gamma^2}$$



- ドリフト距離: $\Delta L = 4.045 \text{ m}$
- 時間差: Δt

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{c\beta} = \frac{\Delta L}{c \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{T}{mc^2}\right)^2}\right)}$$

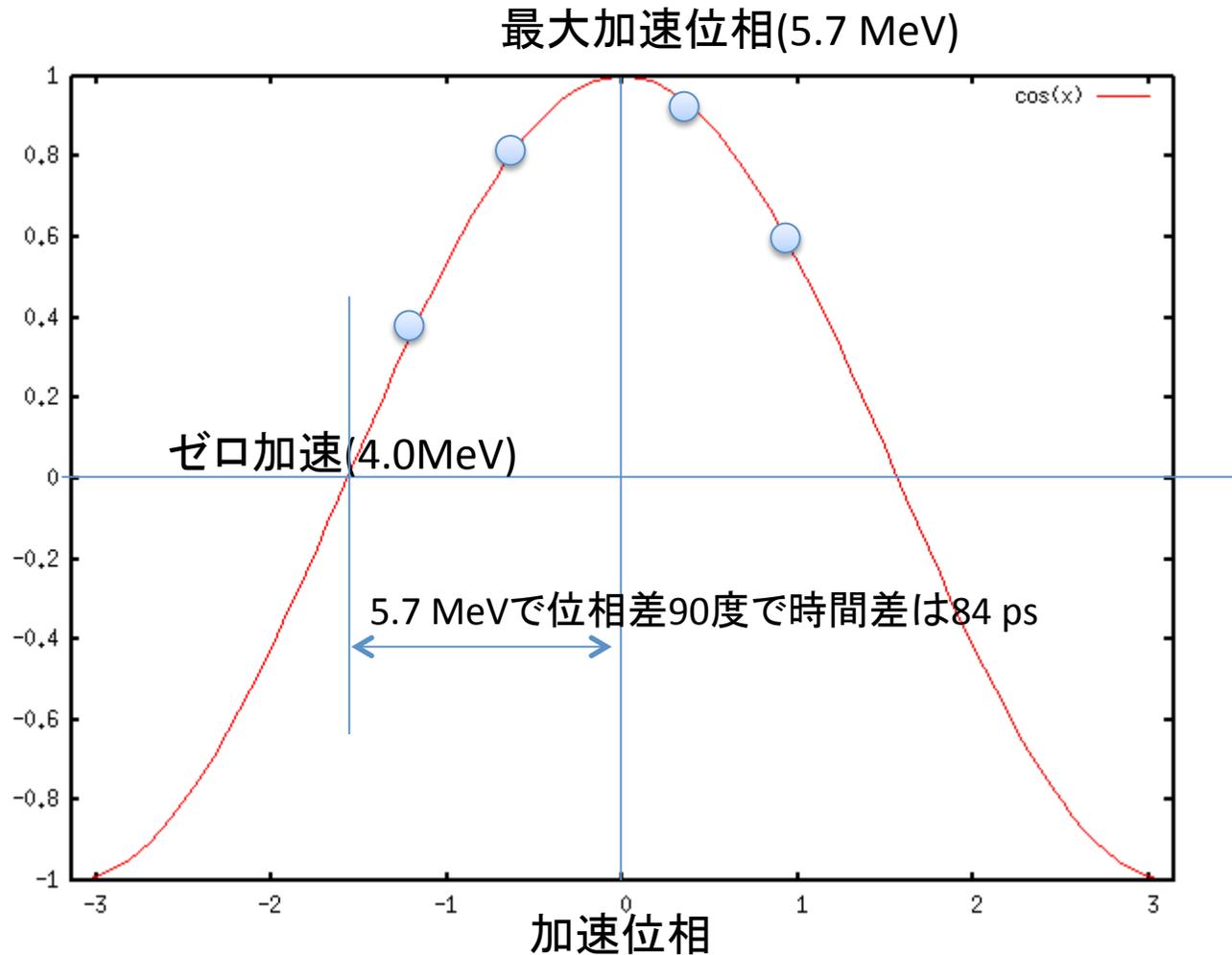
時間差の計算結果(1% エネルギーを減らした場合)

T (MeV)	Δt (ns)	Δt (ns), $T*0.99$
0.5	18.122	18.184
2.2	13.989	13.998
4.0	13.668	13.671
5.7	13.584	13.586

- $T = 5.7 \text{ MeV}$ のとき、1% のエネルギー差で、 0.002 ns (2 ps) の時間差となる。
- これを測定できるか？
- 位相調整の場合は、何点かを位相を変えたデータを取って、ピークを推測しても良い。

Time of flightによる測定

- 位相を大きく変えながら到達時間を測定して、最大加速位相を推定出来れば良い。
- $T = 5.7 \text{ MeV}$ のとき、最大加速位相からゼロ加速位相の時のエネルギー差 1.7 MeV 。
- この時の時間差は、 84 ps



まとめ

- 前回の打合せでの検討事項をまとめた。
 - バンチ電荷: 7.7 pC/bunch
 - 初期レーザーパルス幅: 3 ps rms
 - 入射器空洞での最大加速エネルギー: 5.2 MeV
- コミッショニングの流れについて検討。
 - 入射器空洞上流(入射器空洞入口GV閉)と入射器空洞下流側の2段階の調整となる。
 - 入射器空洞上流の調整時に、入射器空洞入口GV閉で運転してよいか？
- エネルギーの測定方法
 - 偏向電磁石による測定
 - Time of flightによる測定(入射器空洞下流で、BPM間4045mmが取れる。5.7 MeVで1%の分解能だと、0.002 nsの分解能が必要)
- 検討課題
 - 空洞の位相調整時、Qの中心を通過していない時に、エネルギーを変更したら、Bの下流の軌道はどうなるか？
 - モニター可能な最低の出力はいくらか？
 - バンチ電荷をどのように保障するか？(バンチ電荷が変わると空間電荷効果によってオプティクスも変化)
 - 入射器空洞下流のオプティクスの検討(少なくとも、4つのエネルギー(バンチャー500 keV、入射器空洞3台, 2.2 MeV, 4.0 MeV, 5.7 MeV)のビーム輸送オプティクスを作っておく必要がある)
 - ローディングでRF空洞の位相を測定する方法(分解能の検討)

コミッショニングパラメタ案

- バーストモード案
 - バンチ電荷: 最大0.7 pC/bunch (1 mA相当)
 - 励起レーザーモード: バーストモード
 - 繰り返し: 1-10 Hz (line同期で50 Hzにしたかった)、手動
 - 電流の増減方法: 繰り返しを変える(電流の上限の可能性)
 - マクロパルス幅: 1 μ s程度固定
- CW案
 - バンチ電荷: 可変(空間電荷が効かない領域)、10e-4 pC/bunch
 - 励起レーザーモード: CW、1.3 GHz
 - 電流の増減方法: レーザーの出力を調整、リモート
- 両方の準備をしておく
- 上記の2案は現状のシステムで可能