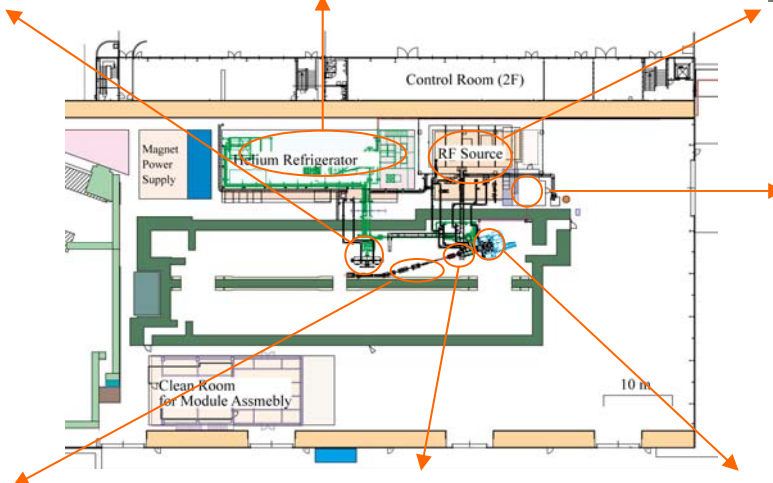


cERL入射部コミッショニング (4月22-26日)の進捗状況

cERL建設チーム
報告:坂中章悟、宮島司
KEK 加速器研究施設

2013/5/15 ERL検討会

cERLの現状(入射部の完成)



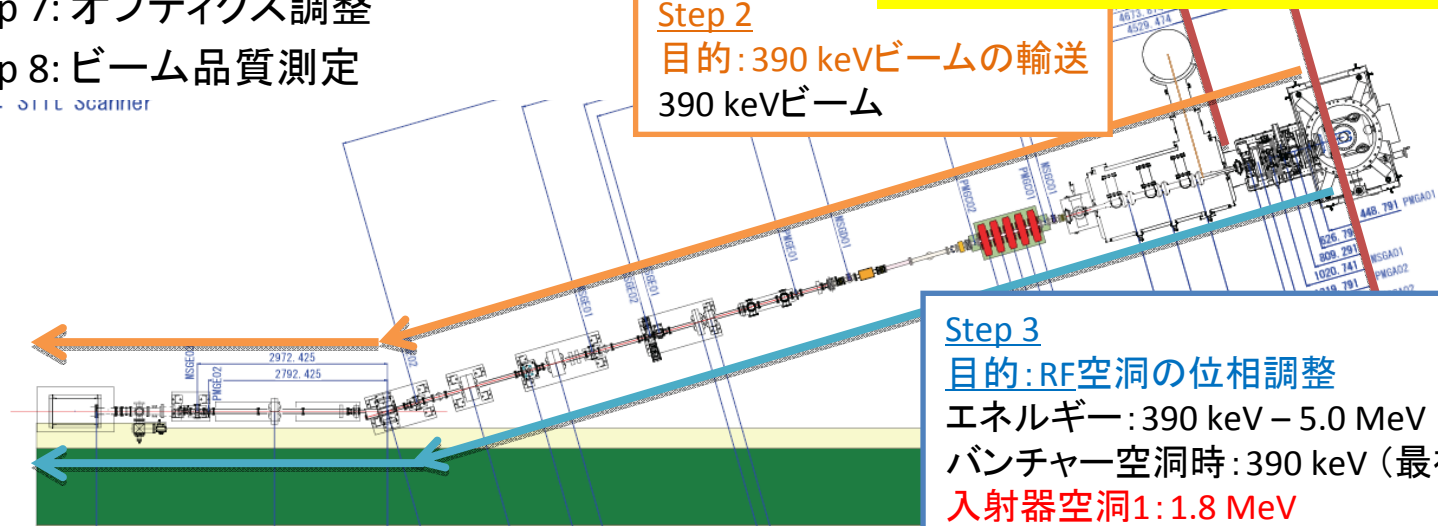
運転準備とコミッショニング

- 2013/3/12 cERL入射部の放射線申請承認
- 4/8 インターロック自主検査
- 4/10 放射線区域責任者検査
- 4/11 放射線主任者検査
- 4/15～4/19 電子銃、入射器空洞等のエイジング
- 4/22～4/26 コミッショニング

Phase 1 コミッショニングでの流れ

- Step 1: Gunから入射器入口までの区間
- Step 2: 390 keVビームのダンプまでの輸送
- Step 3: RF空洞の位相調整
- Step 4: 電流の増強 (300 nA)
- Step 5: モニタ類校正
- Step 6: ソレノイド、Q-mag応答関数測定
- Step 7: オプティクス調整
- Step 8: ビーム品質測定

SS: STILL Scanner



Step 1

目的: 入射器空洞に入る前の軌道を調整
390 keVビーム

4月22日(月)完了

ここまで施設検査に必要

4月23日(火)MS4まで確認
MS5では良く見えず

Step 2

目的: 390 keVビームの輸送
390 keVビーム

Step 3

目的: RF空洞の位相調整

エネルギー: 390 keV – 5.0 MeV

バンチャーカー空洞時: 390 keV (最初はデチューン)

入射器空洞1: 1.8 MeV

入射器空洞2-3: 5.0 MeV

Eacc = 7.1 MV/m

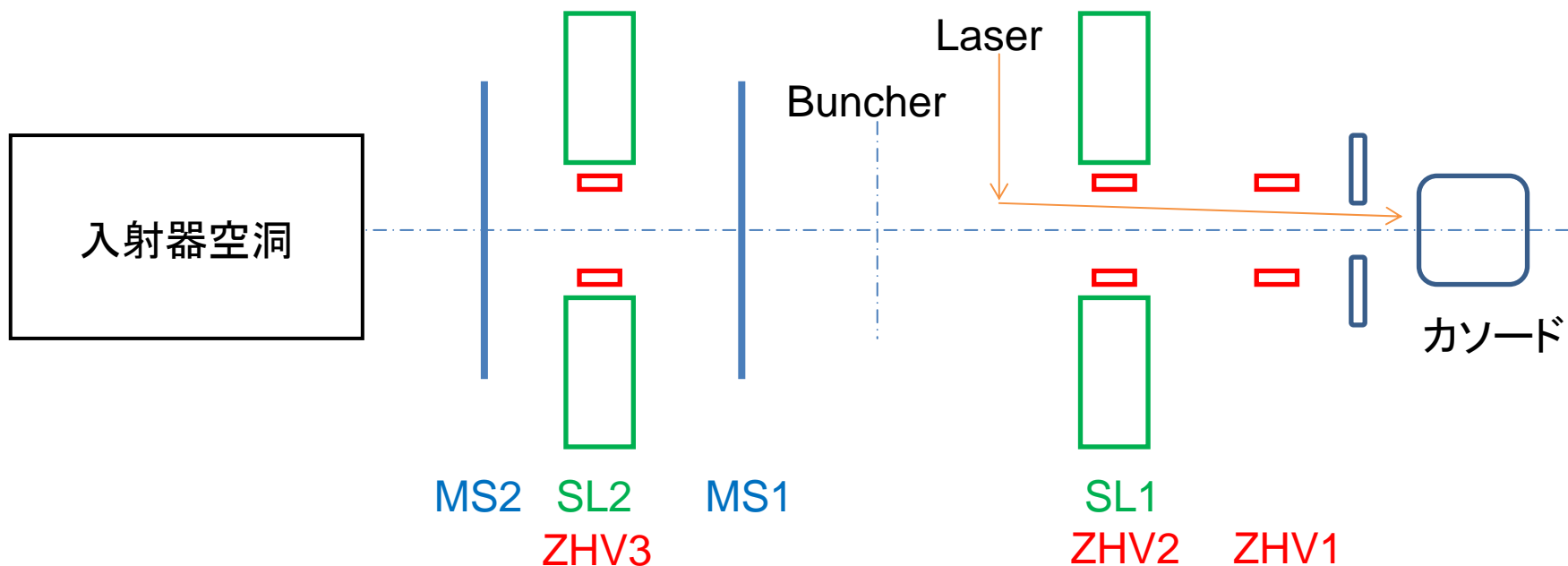
Step 4

目的: 電流の増強 (施設検査のため)
5 MeVビーム、300 nA

4月26日(金)電流増強 ⇒ 200 nA輸送
5月13日の週: モニタ類校正、応答測定

4月24日(水)600 keV程度まで加速成功、ダンプまで輸送
4月25日(木)空洞#1, #2-#3で加速, 5 MeV付近に到達
4月26日(金)5 MeVオプティクス調整

機器配置(1)入射部近傍

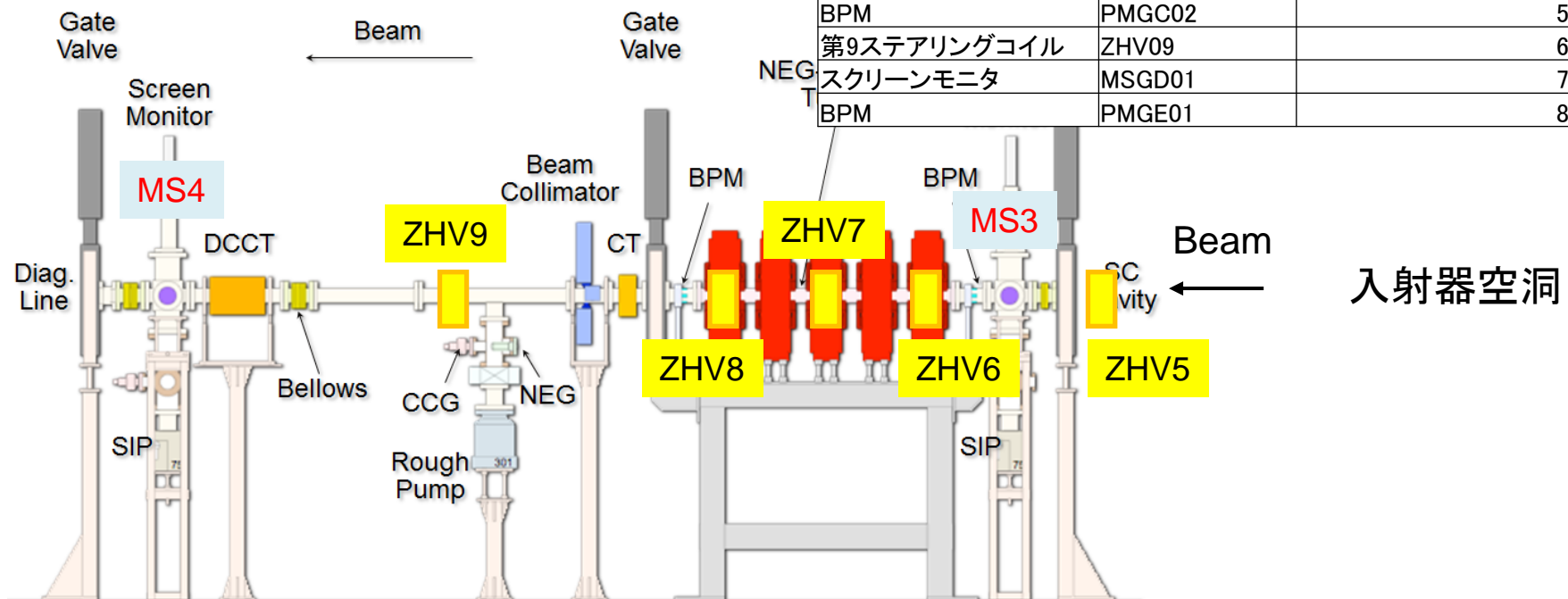


名称	距離(カソード面から※)	測定の差	測量位置
第1ステアリングコイル	ZHV01	233	
第1ソレノイド電磁石	SLGA01, PMGA01, ZHV02	448.791	-3.626
レーザー導入チェンバー		626.791	
バンチャー	CBGA01	809.291	
第1スクリーンチェンバー	MSGA01	1020.741	
第2ソレノイド電磁石	SLGA02, PMGA02, ZHV03	1219.791	-2.089
第2スクリーンチェンバー	MSGA02	1372.228	

機器配置(2) 入射器空洞～診断部入口

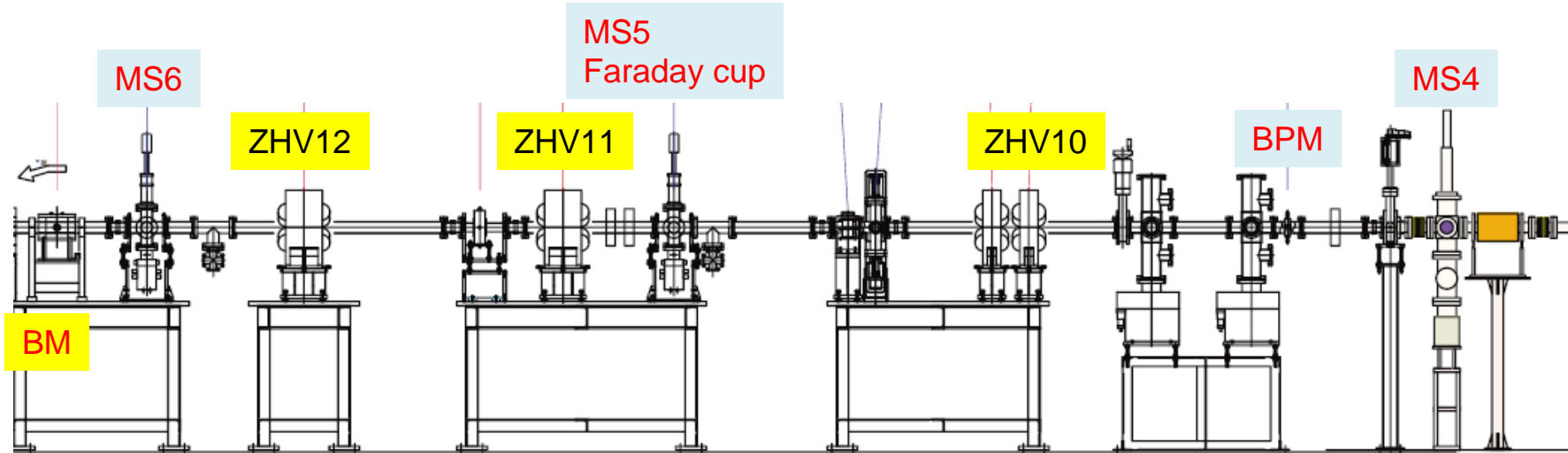
- MS3の調整: ZHV4を主に調整
- MS4の調整: ZHV6を主に調整

名称	距離(カソード面から※)	
第2スクリーンチェンバー	MSGA02	1372.228
第4ステアリングコイル	ZHV04	1518.800
入射器超伝導空洞	CSGB01	2221.252
入射器超伝導空洞	CSGB02	2781.252
入射器超伝導空洞	CSGB03	3341.252
第5ステアリングコイル	ZHV05	4081.800
スクリーンモニタ	MSGC01	4529.474
BPM	PMGC01	4673.874
四極電磁石	QMGC01, ZHV06	4854.474
四極電磁石	QMGC02	5054.474
四極電磁石	QMGC03, ZHV07	5254.474
四極電磁石	QMGC04	5454.474
四極電磁石	QMGC05, ZHV08	5654.474
BPM	PMGC02	5818.874
第9ステアリングコイル	ZHV09	6678.000
スクリーンモニタ	MSGD01	7856.974
BPM	PMGE01	8718.538



機器配置(3)入射器診断部

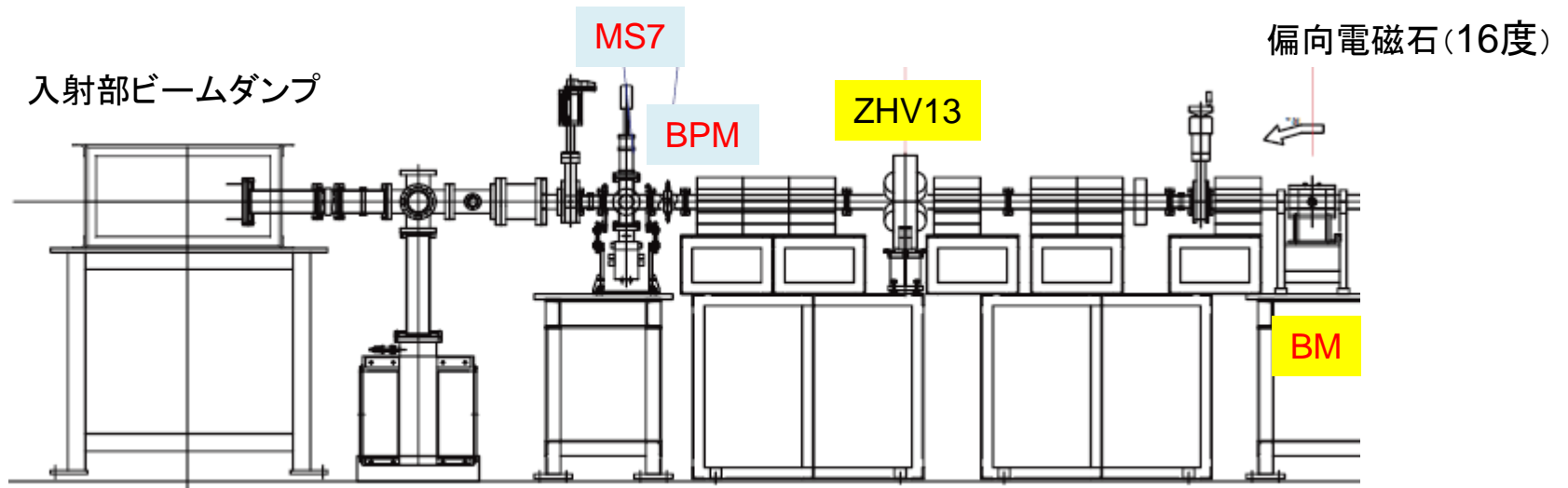
- MS5の調整: ZHV10を調整
- MS6の調整: ZHV11, 12を調整



名称		距離(カソード面から※)
スクリーンモニタ	MSGD01	7856.974
BPM	PMGE01	8718.538
四極電磁石	QMGE01, ZHV10	10116.538
四極電磁石	QMGE02	10316.538
スリットスキャナ	SSGE01	10944.539
スリットスキャナ	SSGE02	11094.539
スクリーンモニタ	MSGE01	12034.538
四極電磁石	QMGE03, ZHV11	12634.538
偏向空洞	CDGE01	13084.538
四極電磁石	QMGE04, ZHV12	14034.538
スクリーンモニタ	MSGE02	14884.538
偏向電磁石	BMGE01	15369.774

機器配置(4)入射器診断部BM下流

- MS7の調整: BM, ZHV13を調整

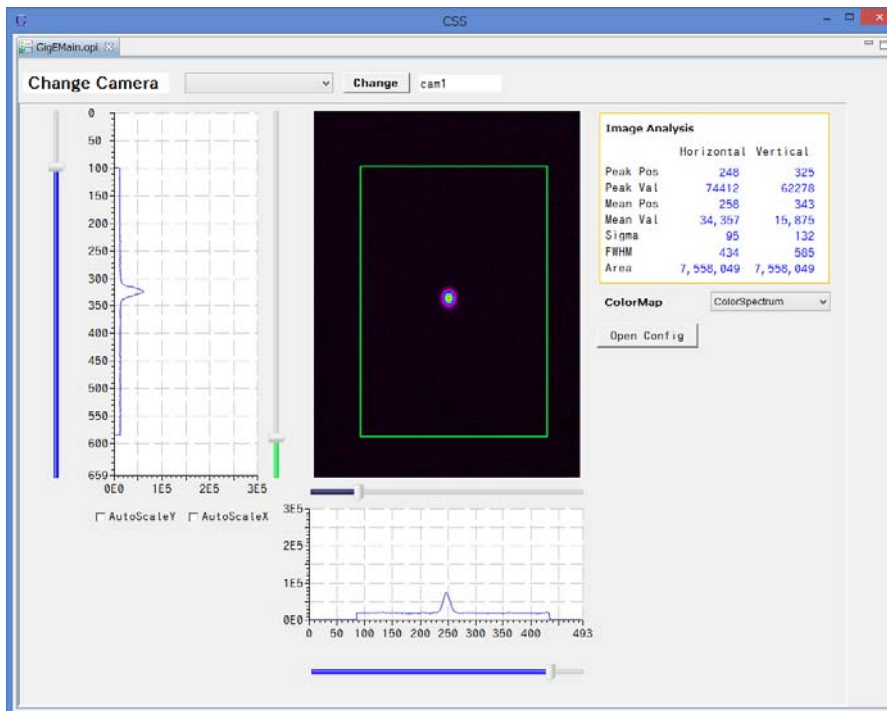


名称		距離(カソード面から※)
偏向電磁石	BMGE01	15369.774
四極電磁石	QMGE05, ZHV13	※1763.425
BPM	PMGE02	※2792.425
スクリーンモニタ	MSGE03	※2972.425
ダンプ上流フランジ		※4545.925

※QMGE05、ダンプ上流フランジは16°ラインとダンプ部のラインとの交点からの距離です。

1日目(4/22)の結果：電子銃からのビームをスクリーンMS1, MS2で観測

- 電子銃電圧：400 kV
- ビーム運動エネルギー：390 keV
- ビーム電流：およそ150 pA (パルスモード：パルス幅 1 us、繰り返し5 Hz、マクロパルス当たりの電荷 約30 pC、パルス当たりのバンチ数 約1300)
- 調整項目
 - MS1, MS2の中央を通るようにビーム調整。無事にビームを輸送することができた
 - SL1, SL2の応答測定、ステアリングの応答測定を実施。



電子銃、電磁石、スクリーンともに正常に動作することを確認した。

左図はMS1上でのビーム画像。プロファイルの変形もなく綺麗にビームが通っている。

ソレノイド内に設置されているBPM2台で信号を確認。ビーム位置に依存して信号が変化するのが確認できた。

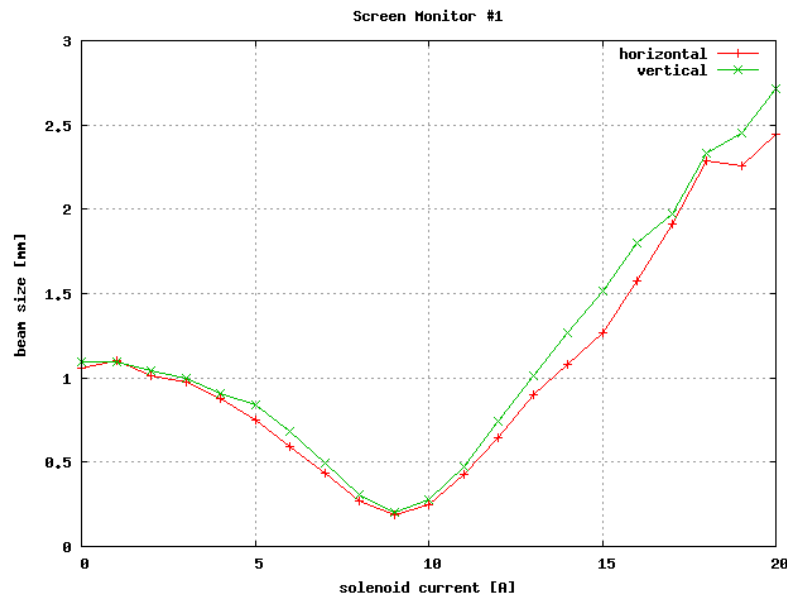
詳細な経過は

<http://pfconrg07.kek.jp:8082/trac/cer1>

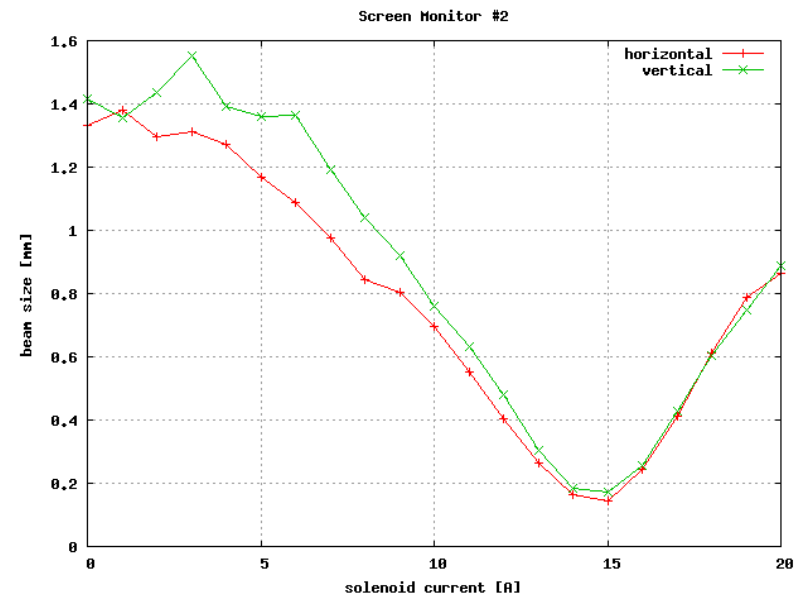
1日目:ソレノイドスキャンデータ (preliminary data)

- SL1, SL2を変えた時に、ビームサイズがどのように変化するかを測定した。
- キチンとウェストを結ぶことが確認された。
- 水平、垂直でサイズの大きな差はなさそう⇒歪まずに輸送されている。
- 後でシミュレーションと比較する

MS1



MS2



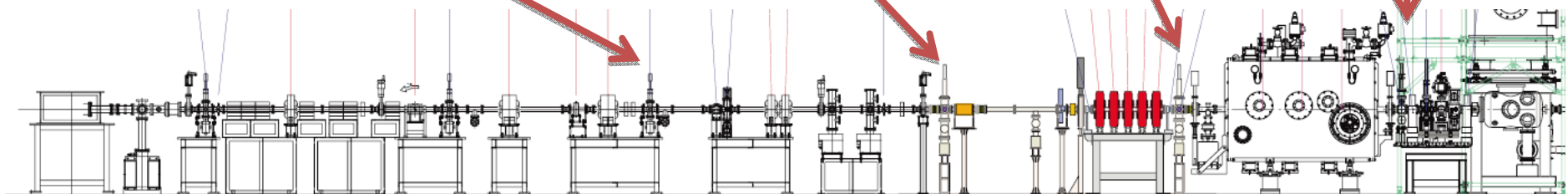
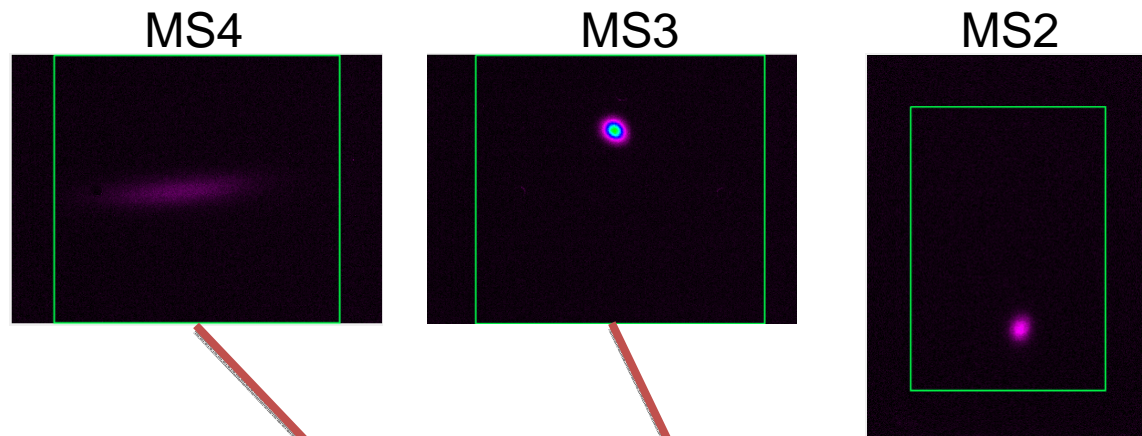
データ取得・解析:高井さん

2日目(4/23)の結果: 390 keVのビームをスクリーンMS4まで輸送

- 入射器空洞後のスクリーンMS3ではビームを確認
- 診断部入口手前のスクリーンMS4でもビームを確認するが、プロフィールが横に伸びている(5連QMの残留磁場と思われる)
- 診断部のスクリーンMS5ではビーム確認できず
- MS4以降では、ビーム位置のふらつきも観測された
- 390 keVで通すのは難しそう⇒SRF1で加速して、残留磁場の影響を小さくしてから通すことに変更

ビーム電流 : およそ150 pA(パルスモード: パルス幅 1 us、繰り返し5 Hz、マクロパルス当たりの電荷 約30 pC、パルス当たりのバンチ数 約1300)

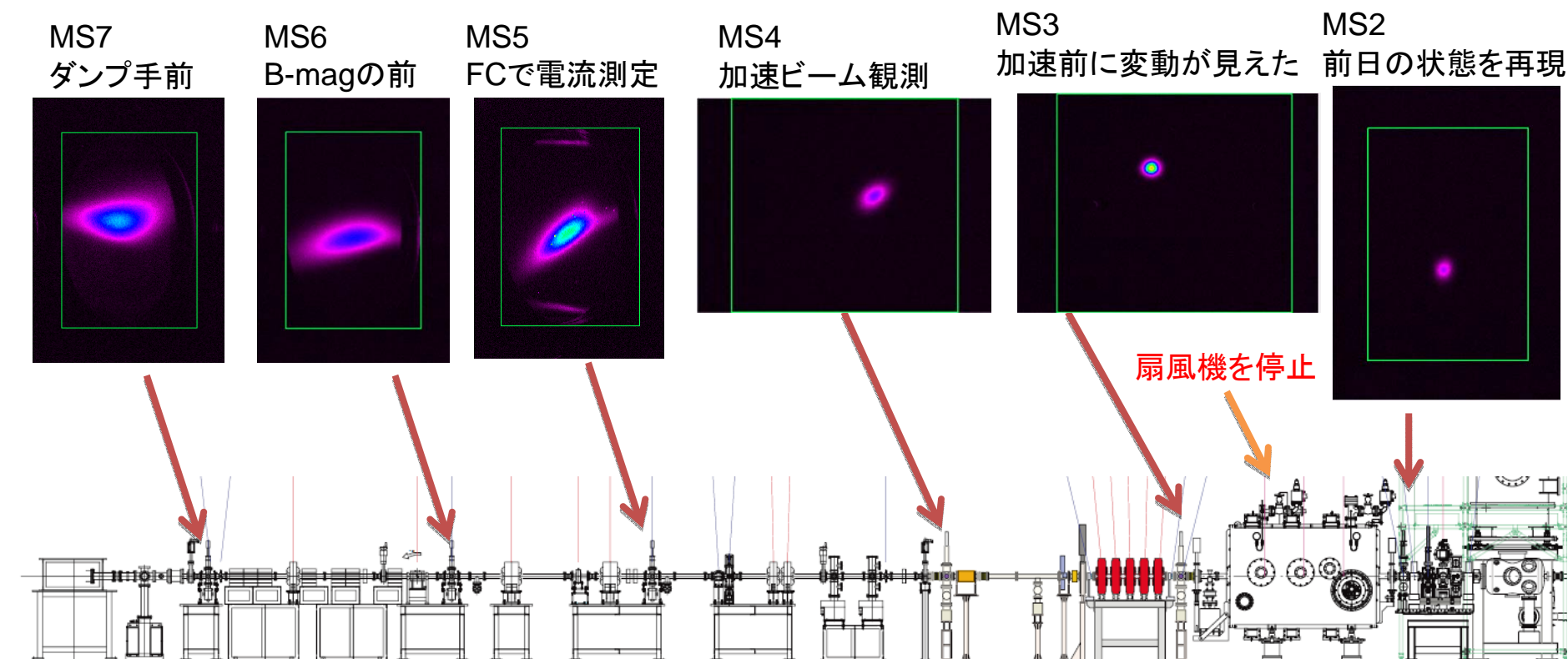
MS5
ビームは見えず
手前のBPMは反応



3日目(4/24)の結果: 入射器空洞#1で加速

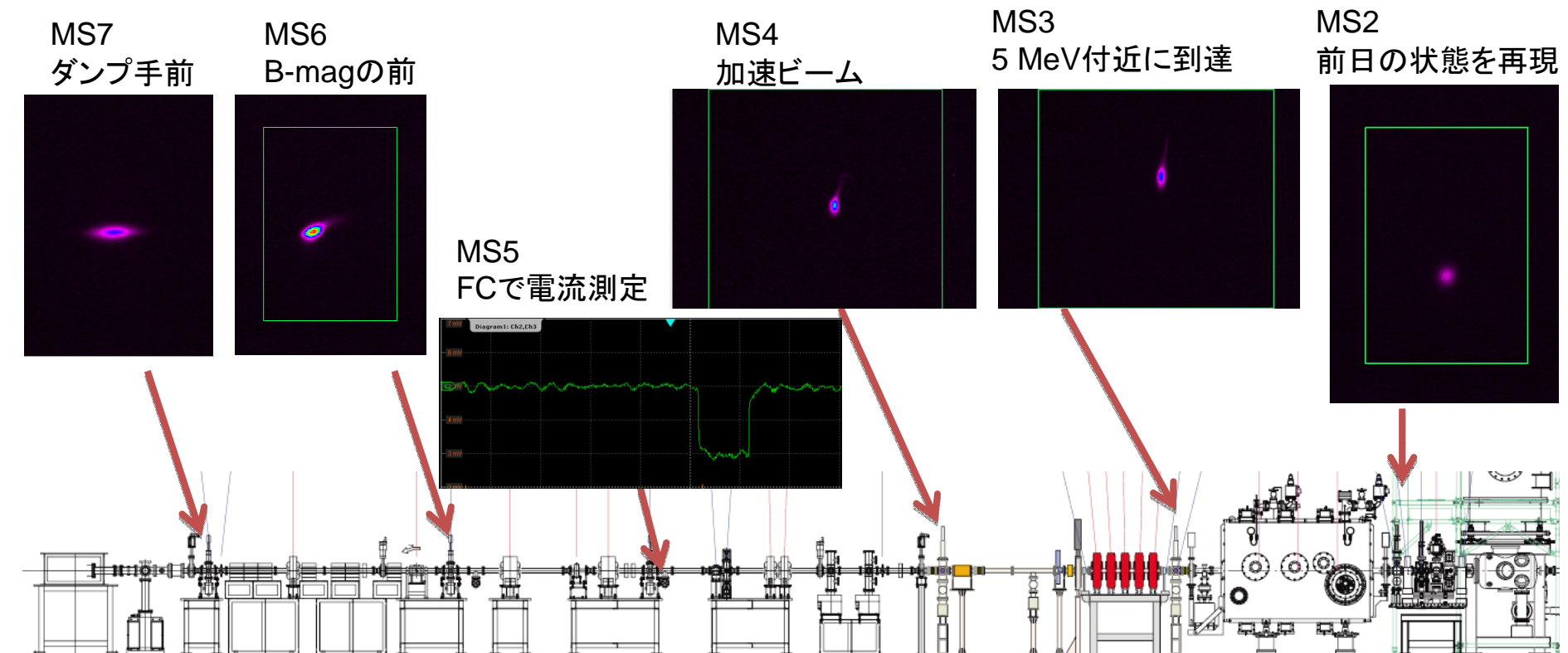
- 再現性確認のため、390 keVビームをMS3(空洞出口)まで輸送。ビーム位置を観測。
- 調査の結果、入射器空洞の**扇風機**を止めると重心位置変動が収まった。
- 空洞#1**にパワーを入れる。Eacc = 1.6 MV/mで加速。
- すぐにMS3でビームを確認。位相調整して、最初の設定から+15度でオンクレスト加速。
- MS3手前のステアリングの応答から、ラフに600 keV程度となっていることを確認。加速成功。
- 下流のビームラインを調整して、(一応)ダンプまで輸送成功。
- 入射器空洞後のスクリーンMS3ではビームを確認

ビーム電流は前日とほぼ同じ



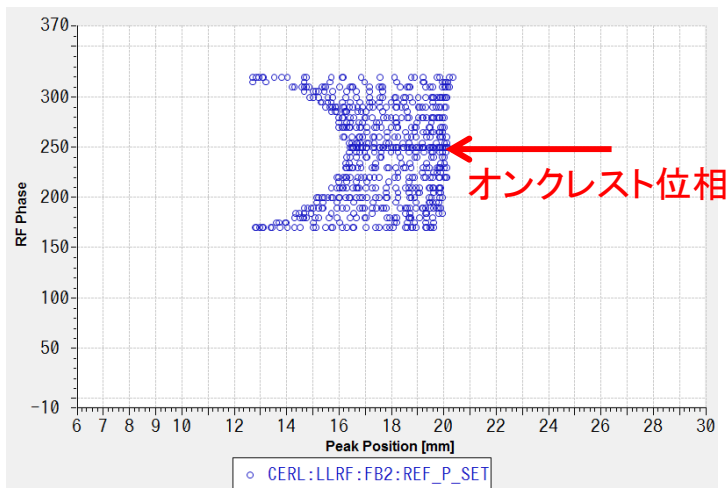
4日目(4/25)の結果: 入射器空洞3台で約4.8 MeVまで加速

- 再現性確認のため、空洞#1(1.6 MV/m)で加速したビームをMS3(空洞出口)まで輸送。ビーム位置を観測。再現性は割と良好。
- 空洞#1のEaccを増加。4.0, 7.1 MV/mで加速し、MS3でビームを確認。
- 空洞#1を7.1 MV/mに固定して、空洞#2-3にパワーを入れる。
- 空洞#2-3 Eacc = 1.6, 4.0, 7.1 MV/mで加速に成功。4.8 MeV程度(ただし誤差がまだ大きい)
- 下流のビームラインを調整して、(一応)ダンプまで輸送成功。
- MS7でビーム位置が大きく変動⇒エネルギーが変動している



4日目(4/25)の実施項目

- 入射器空洞エージング、LLRF調整
- ビーム試験Step. 3
 - 空洞#1 Eacc = 7.1 MV/mで加速, 空洞#2-3の位相調整
 - 5 MeV程度のビームをダンプまで輸送
- 電子銃電圧: 400 kV(ビーム運動エネルギー: 390 keV)
- ビーム電流:
 - Faraday cup: 200 pA(パルスモード: パルス幅 1 us、繰り返し5 Hz、レーザー出力: 3 mW)
 - Dump: 110 pA
- 空洞#1 Eacc = 1.6, 4.0, 7.2 MV/m
- 空洞#1(Eacc = 7.1 MV/m) + 空洞#2-3(Eacc = 1.6, 4.0, 7.1 MV/m)



空洞#2-3の位相調整

空洞出口直下のステアリングを周期的に変動させて、空洞位相を変えながらスクリーン上での軌道変化量を測定。軌道変化量が最小になるところがオンクレスト位相

横軸: 軌道変動量

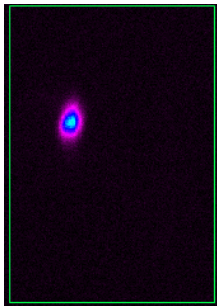
縦軸: 空洞#2-3位相

5日目(4/26)の結果: Long pulse (1.6 ms)で約4.8 MeV, 約200 nAを達成

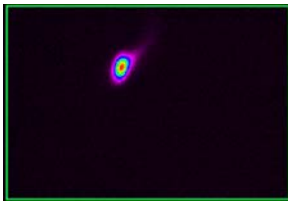
- 再現性確認のため、空洞#2-3の最大加速位相を確認。ずれていなかった。
- 16時から、167 pAでの放射線サーベイ。
- Kly #1 Ef ITL: 19時38分、20時08分、20時48分、22時14分(夜に4回)

スクリーンは低電流で観測
ダンプ電流は大電流でも観測

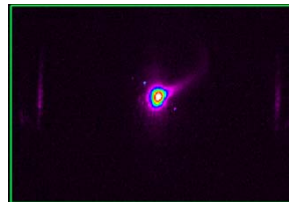
MS7
ダンプ手前



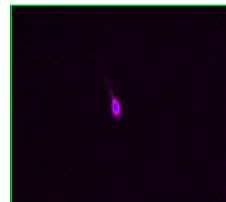
MS6
B-magの前



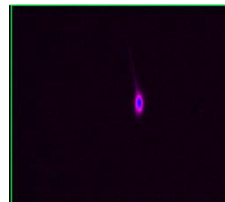
MS5
FCで電流測定



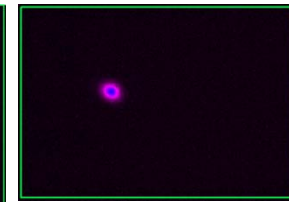
MS4
診断部入口



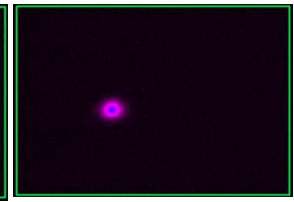
MS3
加速後



MS2
空洞直前

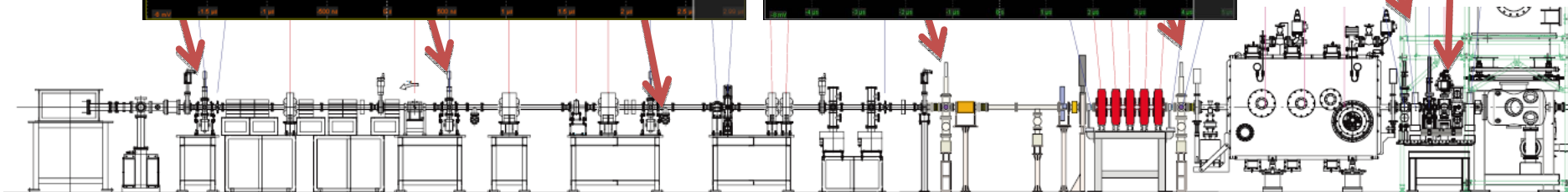
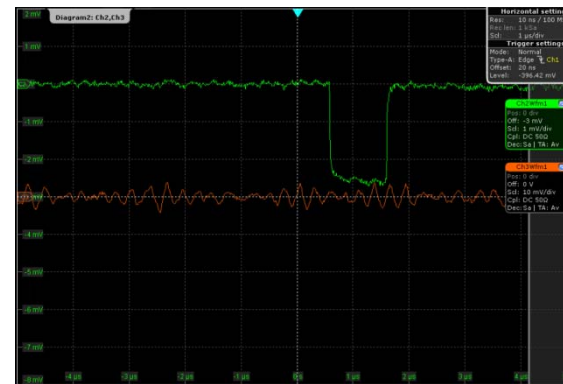
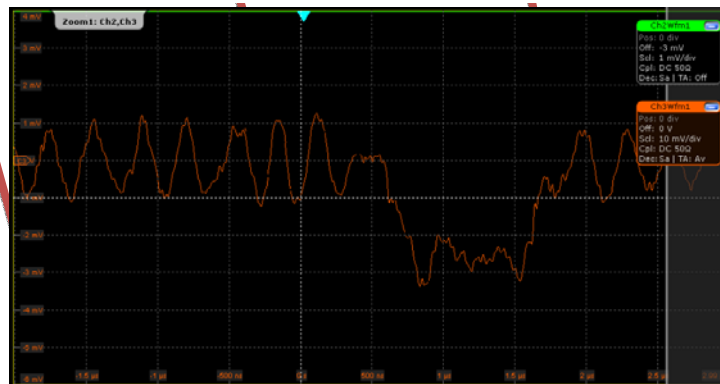


MS1
電子銃後



ダンプ電流(読み値2.5 mV)

FC電流(読み値2.5 mV)



5日目(4/26)の実施項目

- 入射器空洞エージング、LLRF調整
- ビーム試験Step. 3
 - 空洞#1 Eacc = 7.1 MV/mで加速, 空洞#2-3の位相再確認 ⇒ 特になし
 - 5 MeVのビームをダンプまで輸送(平均167 pA、レーザー強度6倍)
- 放管による放射線サーベイ (5 MeV, 167 pA) ⇒ 特になし
- 診断ラインの四極電磁石のBeam Based Alignment (BBA) で中心を通した
- ビーム試験 Step. 4: ビーム電流 増強
 - レーザーパルス幅: $1 \mu\text{s} \Rightarrow 1.6 \text{ ms}$
 - ビーム電流: 平均 192 nA ($0.03 \text{ nA} \times 6400$) ⇒ 施設検査の出力に到達(最大出力の2割)
 - 加速器室内の放射線レベル: $200 \mu\text{SV/h} \Rightarrow$ 主空洞のテスト時より十分低いので問題なし。
- 輸送効率向上のための調整
 - Faraday cup (FC)とダンプ電流を比較すると、途中で40%くらい損失しているという値が出た
 - ダンプ電流のノイズが大きいので、オシロスコープのレンジを変更して測定 ⇒ FCとほぼ同じ電流値がダンプでも観測された。40%の損失はなく、ほぼ全てのビームがダンプまで通っていることを確認。
- 5 MeV ビームでの Q-scan

コミショニング中の様子(@ERL開発棟2階制御室)



まとめ(1)

1日目(4/22)

- 電子銃からビーム生成に成功
- 390 keV, 150 pAを生成し、スクリーンモニターMS1, MS2で観測
- ソレノイドとスクリーンの中心を通すように軌道を調整した。
- ソレノイドとステアリングの応答関数測定を実施

2日目(4/23)

- 入射器空洞エージング、LLRF調整、真空インターロック試験を実施
- 390 keVのビームを、入射器空洞下流のスクリーンモニターMS4まで通過させた。MS5では確認できなかつた。

3日目(4/24)

- 入射器空洞エージング、LLRF調整を実施
- 390 keVのビーム輸送試験で、入射器空洞用扇風機(計12台)がビーム変動の原因であることを解明
- 入射器空洞#1を $E_{acc} = 1.6 \text{ MV/m}$ で用い、約600 keV程度までビームを加速できたことを確認。ビームをダンプまで輸送。

まとめ(2)

4日目(4/25)

- 入射器空洞エージング、LLRF調整
- 空洞#1,#2,#3 を $E_{acc} = 7.1 \text{ MV/m}$ で用い、約4.8 MeV 程度までビームを加速できたことを確認。ダンプまで輸送できた。

5日目(4/26)

- 入射器空洞エージング、LLRF調整
- 空洞#2-3の最大加速位相を確認したが、前日との変化はなかった
- マクロパルスの幅を $1 \mu\text{s} \rightarrow 1.6 \text{ ms}$ (繰り返し5 Hzは同じ)にして電流増強を行い、192 nA のビームをダンプまで輸送できた。
- 最もビーム損失が大きい点、偏向電磁石横で約 $200 \mu\text{Sv/h}$ のレベル。
- 小電流に戻してから、ダンプまでほぼ全てのビームを輸送できることを確認
- 診断ラインで5 MeVビームについての Q-scanを実施した

今後、事前検査を経て、5/23に施設検査を受ける(合格すると完成宣言できる)

謝辞

ご支援を頂いてきた共同研究者および協力機関の皆様に深く感謝致します。また、PFユーザーおよび放射光学会の皆様に深く感謝致します。KEK機構長・理事をはじめ、ERL計画を推進して下さった皆様にも深く感謝致します。

集合写真 (cERL入射部完成記念)



都合により集合出来なかった方々にはすみません