

cERL phase 1コミッショニング報告(5/8, Step. 1-4)

第80回ビームダイナミクスWGミーティング
PF研究棟2階会議室

2013年5月8日(水)14時
加速器第七研究系
宮島 司

cERLスケジュール2013年4月

4

April

2013

平成25年

Sunday

Monday

Tuesday

Wednesday

Thursday

Friday

Saturday

	1	2	3	4	5	6
	<p>← ベーキング準備 (5連Q部) →</p> <p>← インターロック確認・自主検査 →</p>		<p>← ベーキング (5連Q部) →</p>		<p>NEG活性化</p>	
7	8	9	10	11	12	13
	<p>← インターロック確認・検査 →</p> <p>← 真空ITLK試験 →</p>			<p>主任者検査</p> <p>← 空洞冷却 →</p>		
14	15	16	17	18	19	20
	<p>← 空洞冷却 →</p>		<p>← 電子銃・空洞エイジング、LLRF調整、等 →</p>			
21	22	23	24	25	26	27
	<p>← 空洞冷却 →</p> <p>← Step 1:入射器手前 →</p>	<p>← Step 2:390 keV輸送 →</p>	<p>← Step 3:RF位相調整 →</p>			
28	29	30				
	<p>昭和の日</p>					

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: SILE 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

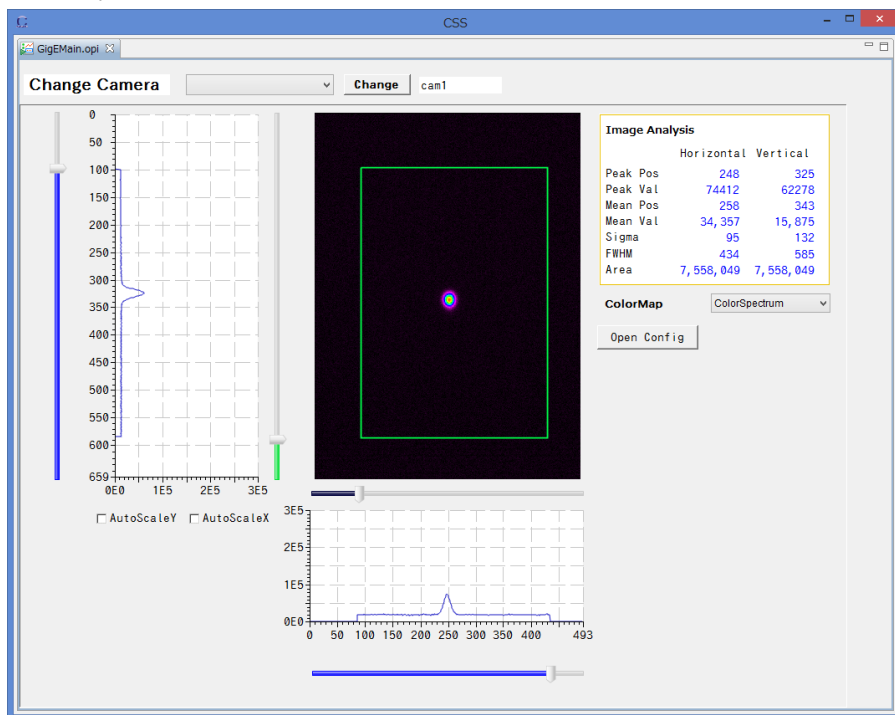
4月24日(水)600 keV程度まで加速成功、ダンプまで輸送

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

4/22(月) step. 1の結果

- 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。プロフィールの変形もなく綺麗にビームが通っている。

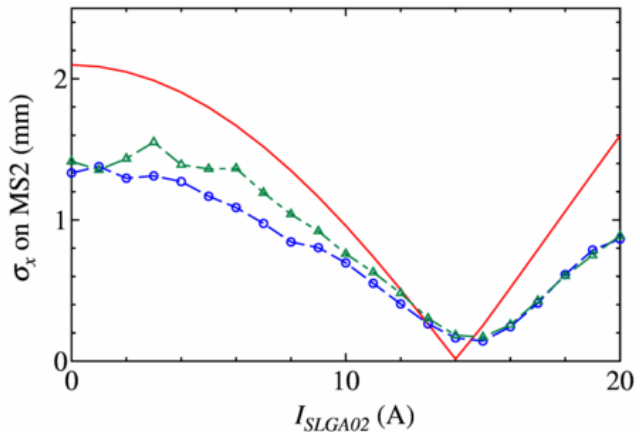
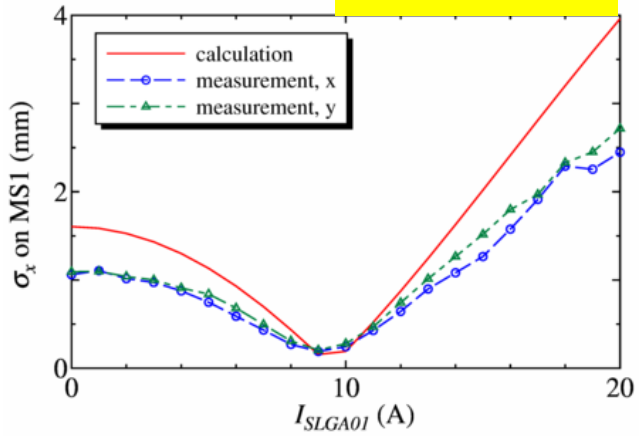
ソレノイド内に設置されているBPM2台で信号を確認。ビーム位置に依存して信号が変化するのが確認できた。

詳細な経過は
<http://pfconrg07.kek.jp:8082/trac/cerl>

ソレノイドの応答測定結果

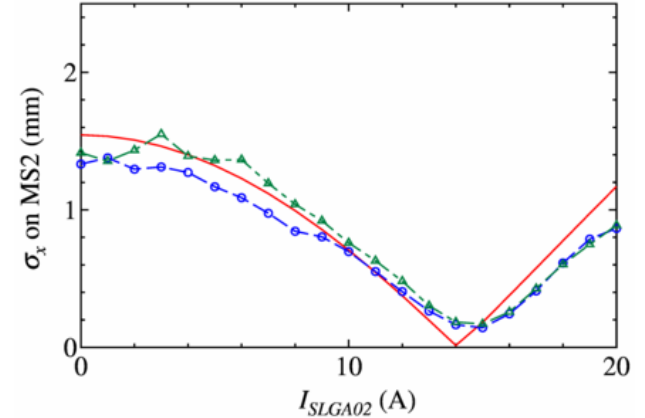
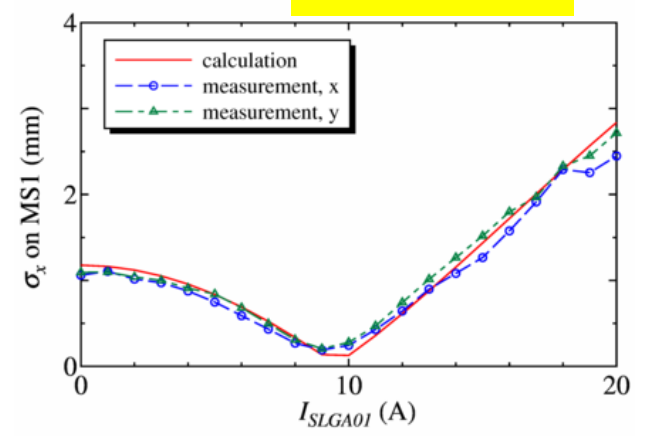
- 4月22日(月)にソレノイド1、2の応答測定を行った
- シミュレーションと比較したところ、ずれが大きかった
- 初期レーザー直径を1.2 mm から 0.8 mm とすると良く一致することがわかった
- レーザー輸送路の距離の精度で、カソード面での直径が小さくなる可能性はあるとのことなので、今後確認する

d = 1.2 mm



最小値を結ぶ位置はほぼ合っているので、電流と磁場の変換は合っている。
初期スポット直径を変えると計算と測定結果がほぼ一致。

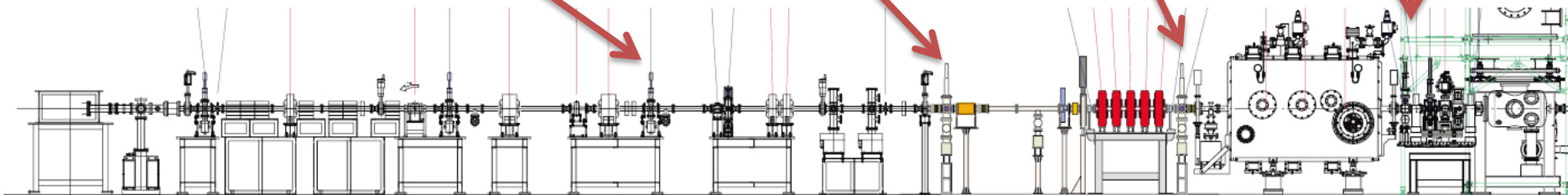
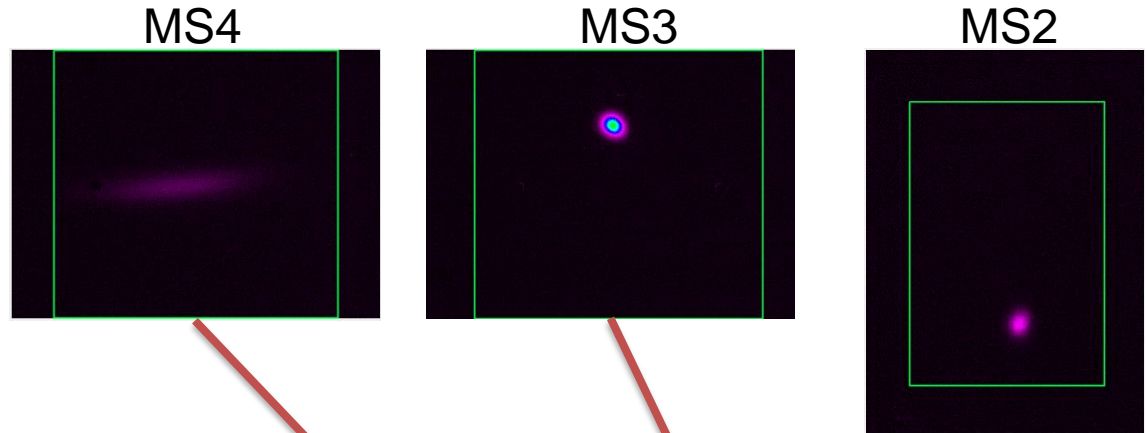
d = 0.8 mm



4/23(火) step. 2の結果

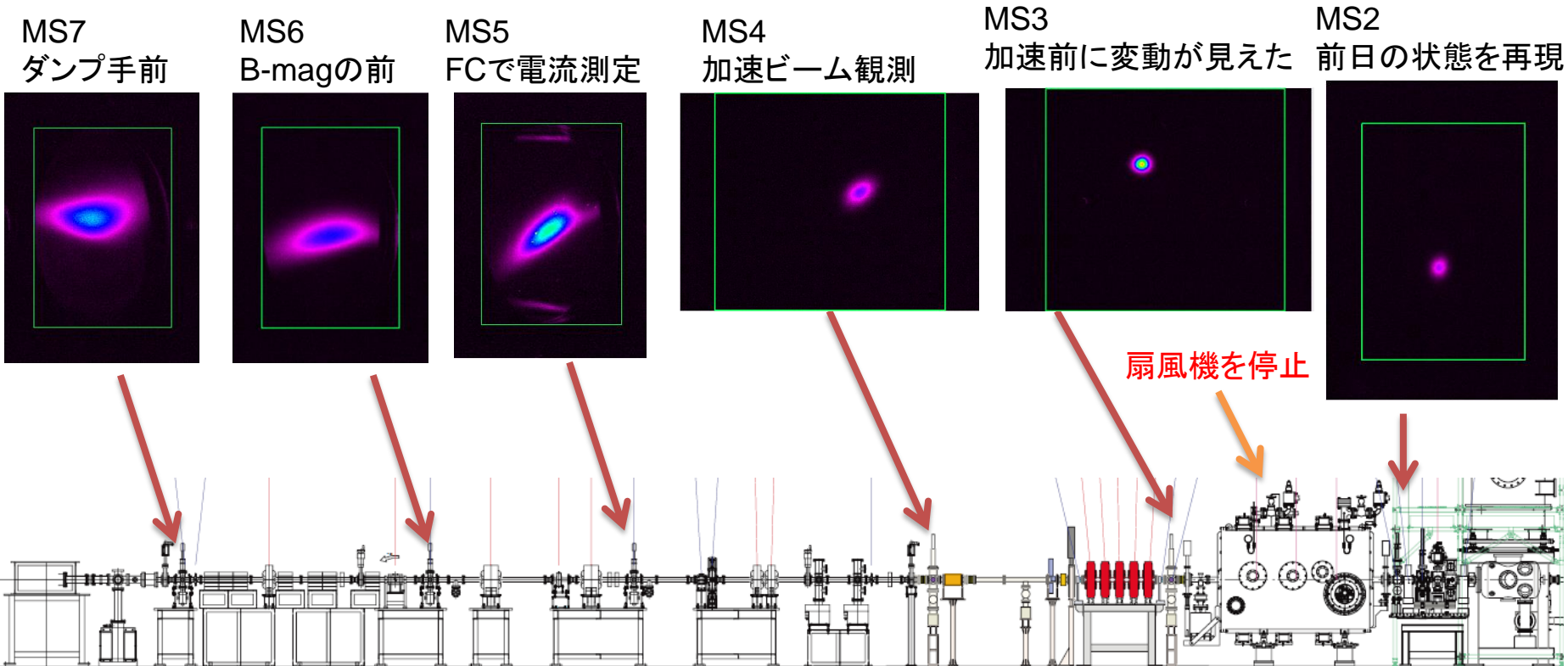
- 入射器空洞後のスクリーンMS3ではビームを確認
- 診断部入口手前のスクリーンMS4でもビームを確認するが、プロフィールが横に伸びている(5連QMの残留磁場と思われる)
- 診断部のスクリーンMS5ではビーム確認できず
- MS4以降では、ビーム位置のふらつきも観測された
- 390 keVで通すのは難しそう⇒SRF1で加速して、残留磁場の影響を小さくしてから通すことに変更

MS5
ビームは見えず
手前のBPMは反応



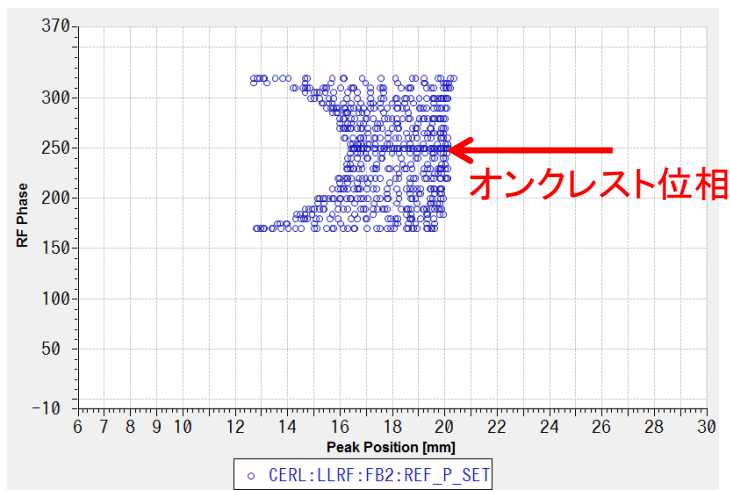
4/24(水) step. 3 の結果

- 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



4/25(木) step. 3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 = 1.6 MV/m) + 空洞#2-3 (Eacc = 1.6, 4.0, 7.1 MV/m)



空洞#2-3の位相調整

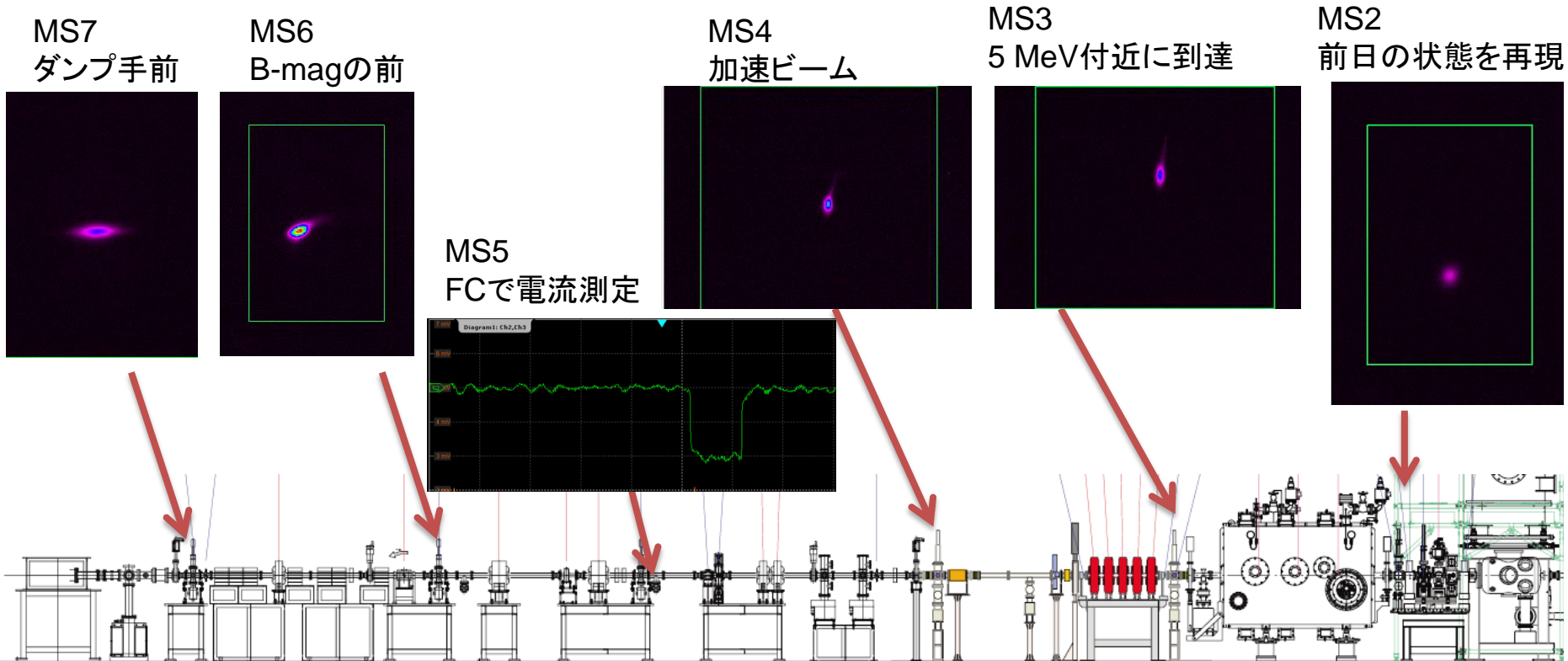
空洞出口直下のステアリングを周期的に変動させて、空洞位相を変えながらスクリーン上での軌道変化量を測定。軌道変化量が最小になるところがオンクレスト位相

横軸: 軌道変動量

縦軸: 空洞#2-3位相

4/25(木) step. 3 の結果

- 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

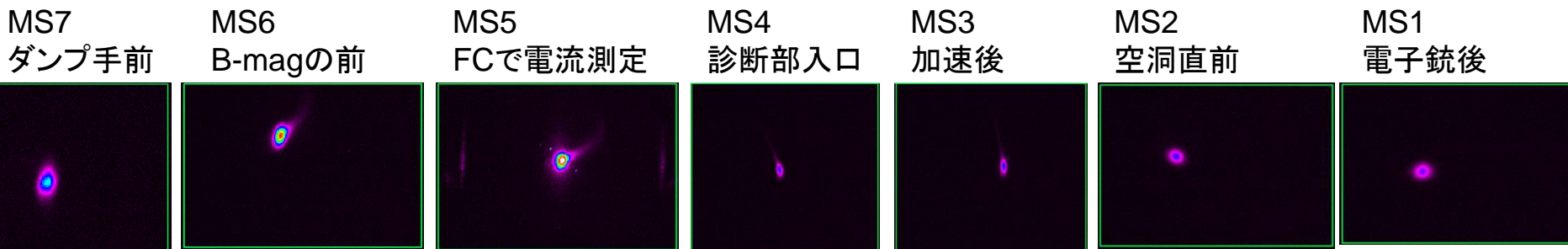


4/26(金) step. 4 の実施項目

- 入射器空洞エージング、LLRF調整
- ビーム試験Step. 3
 - 空洞#1 $E_{acc} = 7.1$ 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) ⇒ 特に問題なし
- 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

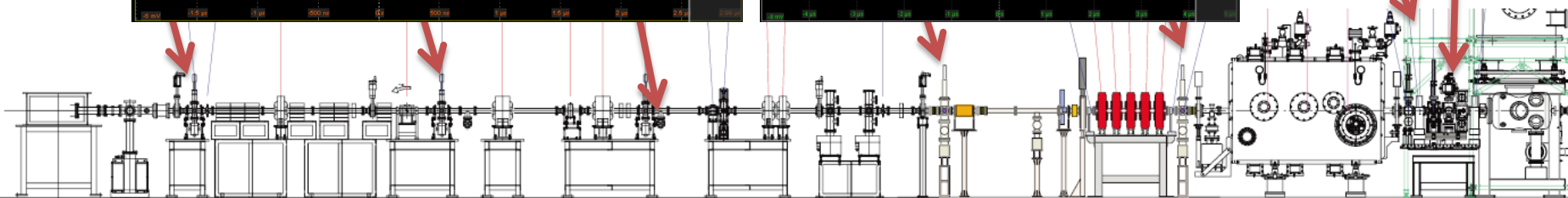
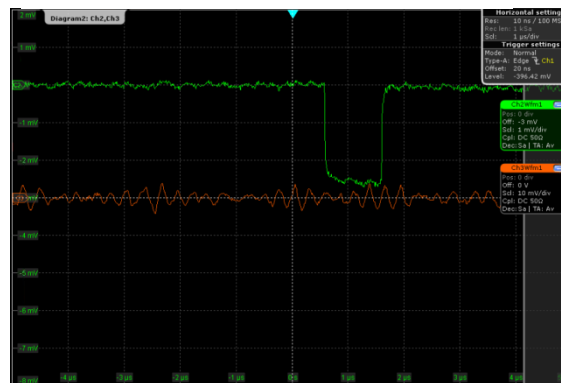
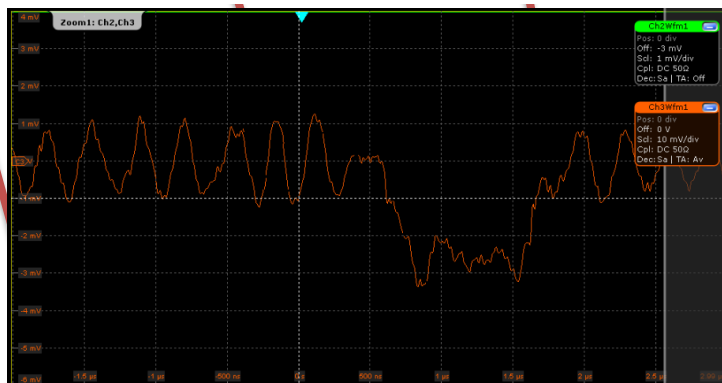
4/26(金) step. 4 の結果

- 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)



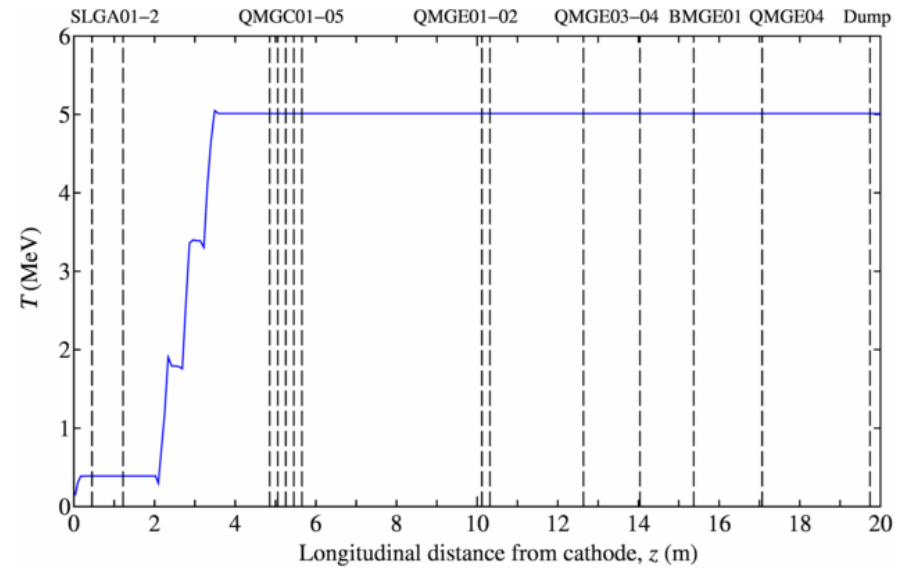
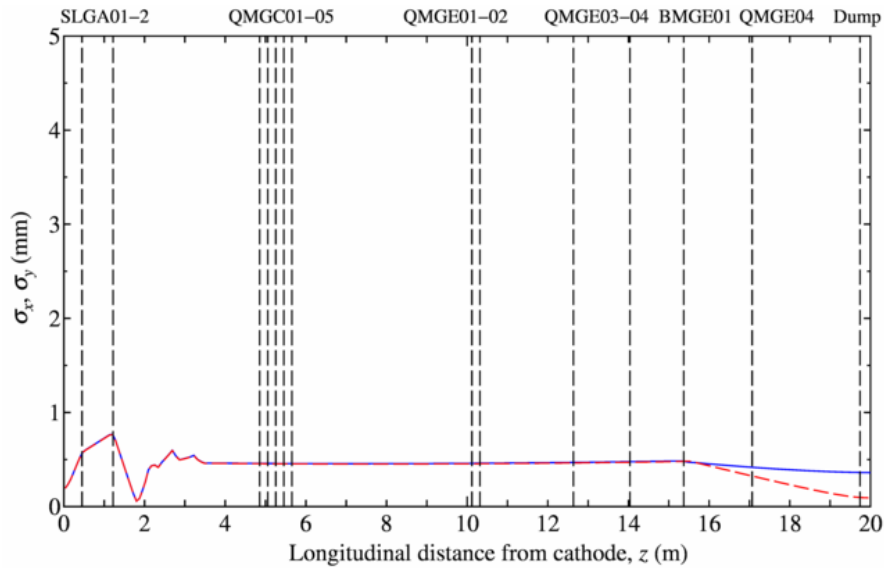
ダンプ電流(読み値2.5 mV)

FC電流(読み値2.5 mV)



空洞#2-3, $E_{acc} = 7.1 \text{ MV/m}$

- 空洞#2-3で $E_{acc} = 7.1 \text{ MV/m}$ で加速するときのオプティクス
- $SL1 = 0.020 \text{ T}$, $SL2 = 0.0245 \text{ T}$



5月13日の週の予定

- 必要項目
 - 施設検査(5/23)に向けた立ち上げとビーム調整(5 MeV, 240 nA (最大出力: 6 MeV \cdot μ A の2割))
 - 施設検査に向けた放射線サーベイ(5/17(金)頃を予定)
- 重要な事
 - 5/23の施設検査前に壊さないこと \Rightarrow 無理な運転・調整は避ける
- 施設検査までの項目(必要最小限)
 - 立ち上げ手順の再確認
 - 電流の増強(240 nA まで)
 - 電流、ビームエネルギーの測定

cERLスケジュール2013年5月

5

May

2013

平成25年

Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday
			1	2	3 憲法記念日	4 みどりの日
5 こどもの日	6 振替休日	7	8	9	10	11
		← 空洞冷却 →				
12	13 空洞冷却 電子銃下流	14	15	16	17	18
		← 空洞エイジング →		← Step 4: 電流増強 →		← 窒素冷却 →
					← 放射線サーベイ →	
19	20 空洞冷却	21	22	23 施設検査	24 Step 5	25
← 窒素冷却 →		← Step 4: 電流増強 →		← Step 5 →		← 窒素冷却 →
26	27 空洞冷却	28	29	30	31	6/1
← 窒素冷却 →		← Step 5: モニター校正 →				← 窒素冷却 →

これまでの試験からわかった課題

- 輸送効率
 - ダンプまでFCと変わらない電流を輸送できているが、偏向電磁石付近に設置したロスモニターでは信号が見える。
 - 偏向電磁石直前の垂直ステアリングが強い。4/26に周辺磁場を確認したが致命的な問題はなさそう。
 - 詳細に状況確認と調整を行う。
- スクリーンモニターでのビームサイズ測定
 - YAGの飽和はなさそうだが、ビームを絞った状態でピーク値が小さくなっているため、ビーム電流に対するリアリティを確認する。
- ビーム電流測定
 - ダンプでのビーム電流測定精度を上げたい。
- ビームエネルギー変動
 - ダンプ下流のスクリーンでビーム位置が大きく変動している。
 - 加速電場の変動の確認等を行う。
- 立ち上げ・調整手順書の作成
 - ある程度立ち上げ手順が確立されてきたので、手順書にまとめて誰でも調整できるようにする。
 - ソフトウェアもそれに合わせて整備していく。
 - 大電流時の注意事項のまとめ。迂闊にスクリーンを入れたりしないために。

まとめ

- 4/26は、入射器空洞エージング、LLRF調整、ビーム運転Step. 3と4を実施
- 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
- 電流増強を行い、192 nA のビームをダンプまで輸送できた
- 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
- 5/23までの目標: 施設検査前に壊さないこと

Back up slides

位相調整時の空洞パラメタ

2013年4月26日修正

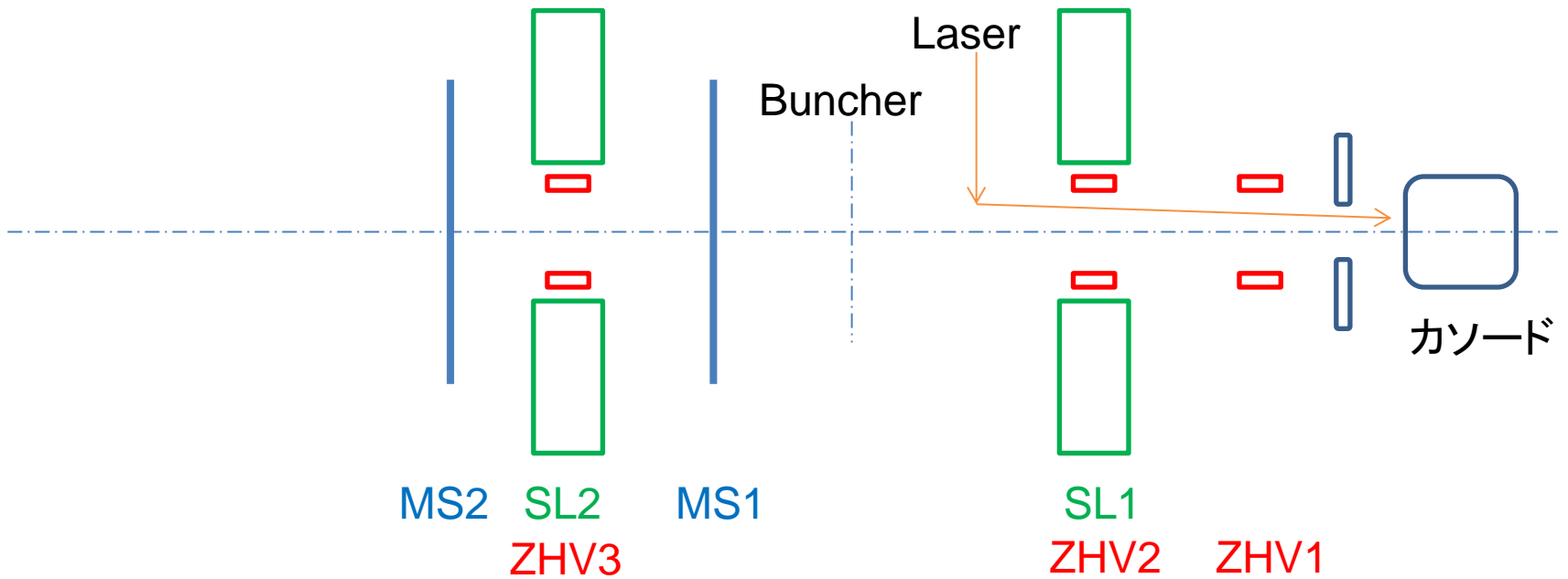
調整モード	空洞1 Eacc (MV/m)	空洞2 Eacc (MV/m)	空洞3 Eacc (MV/m)	加速後 運動エネルギー (MeV)	ソレノイド1 磁場 (T), 電流 (A)	ソレノイド2 磁場 (T), 電 流 (A)
空洞1, 低Eacc	1.5	0(デチューン)	0(デチューン)	0.21 - 0.65	0.02 T 5.604627 A	0.015 T 4.172511 A
空洞1, 中Eacc	4.0	0(デチューン)	0(デチューン)	1.1	0.02 T 5.604627 A	0.015 T 4.172511 A
空洞1, 通常Eacc	7.1	0(デチューン)	0(デチューン)	1.8	0.018 T 4.991755 A	0.0005 T 4.261081 A
空洞2, 低Eacc	7.1	1.5	1.5	2.4	0.018 T 4.991755 A	0.0005 T 4.261081 A
空洞2, 中Eacc	7.1	4.0	4.0	3.6	0.03 T 8.465299 A	0.028 T 7.929195 A
空洞3, 通常Eacc	7.1	7.1	7.1	5.0	0.02 T 5.604627 A	0.0245 T 6.877736 A

- ソレノイドの磁場の変換プログラム (ertserv2上)
- ディレクトリ : /mnt/users/miyajima/GPT/CERL/Injector/Phase1/BI_curve/bin
- プログラム : B2Islld
 - 走らせ方 :> ./B2Islld (設定磁場 T)
 - 例 :> ./B2Islld 0.02

0 A

電流値への変換が正しく
なかったので訂正します

入射部近傍配置

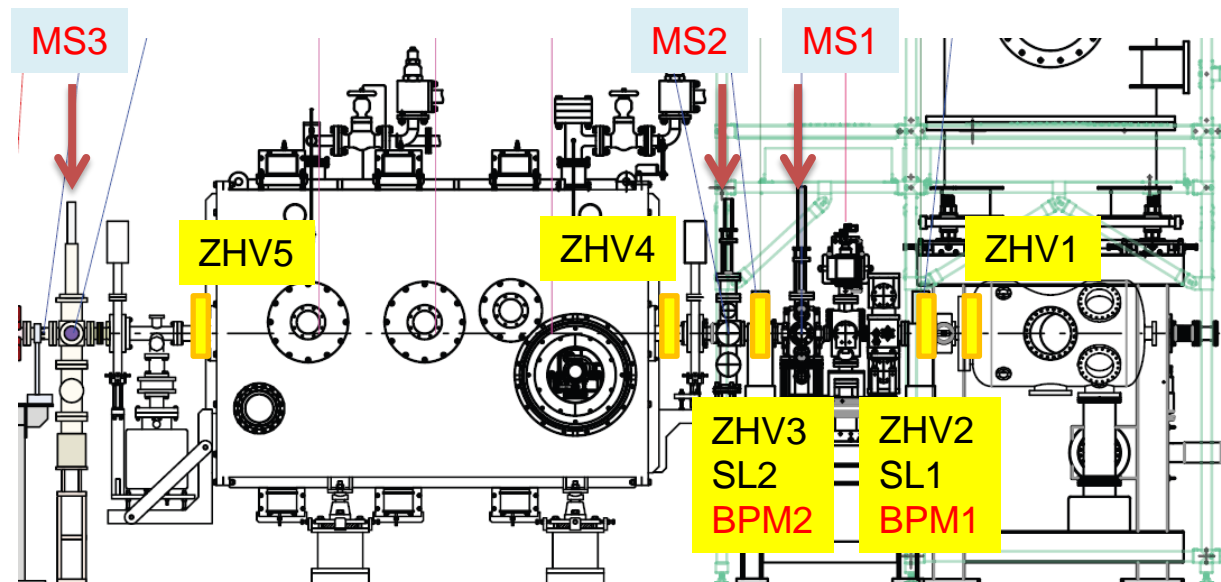


名称		距離(カソード面から※)	測定の差	測定位置
第1ステアリングコイル	ZHV01	233		
第1ソレノイド電磁石	SLGA01, PMGA01, ZHV02	448.791	-3.626	445.165
レーザー導入チェンバー		626.791		
バンチャー	CBGA01	809.291		
第1スクリーンチェンバー	MSGA01	1020.741		
第2ソレノイド電磁石	SLGA02, PMGA02, ZHV03	1219.791	-2.089	1217.702
第2スクリーンチェンバー	MSGA02	1372.228		

電子銃から入射器空洞出口まで

- SL1を設定してから、SL1をサイン波で変化させ、MS1上での重心位置変動がなくなるように、ZHV1を調整する
- SL2をサイン波で変化させ、MS2上での重心位置変動がなくなるように、ZHV2を調整
- MS3上の中心にビームが来るように、ZHV3を調整
- 加速後の軌道変動は、ZHV4, ZHV5で調整

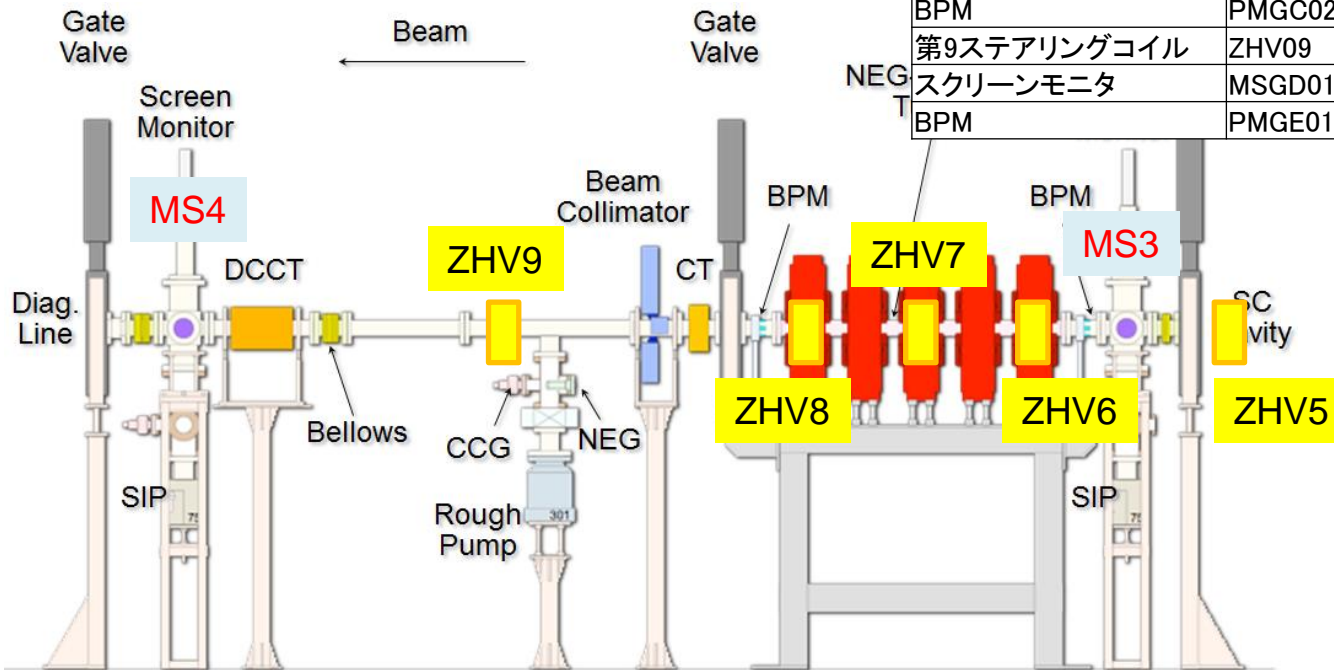
名称		距離(カソード面から※)	測定の差	測量位置
第1ステアリングコイル	ZHV01	233		
第1ソレノイド電磁石	SLGA01, PMGA01, ZHV02	448.791	-3.626	445.165
レーザー導入チェンバー		626.791		
バンチャー	CBGA01	809.291		
第1スクリーンチェンバー	MSGA01	1020.741		
第2ソレノイド電磁石	SLGA02, PMGA02, ZHV03	1219.791	-2.089	1217.702
第2スクリーンチェンバー	MSGA02	1372.228		



診断部入口までの調整

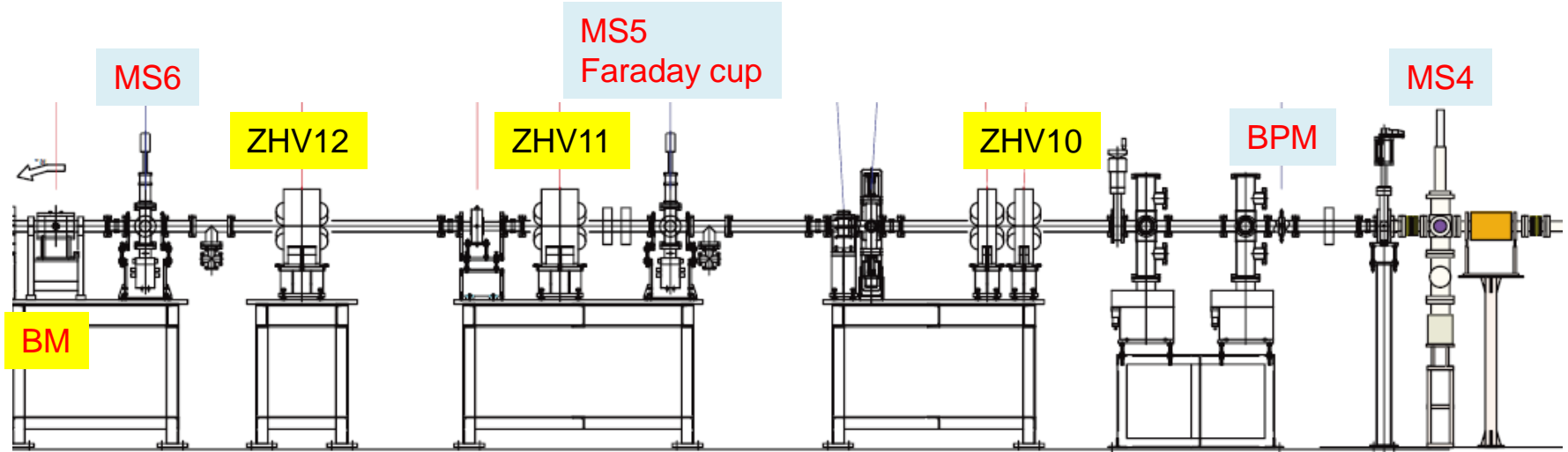
- MS3の調整: ZHV4を主に調整
- MS4の調整: ZHV6を主に調整

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



入射器診断部

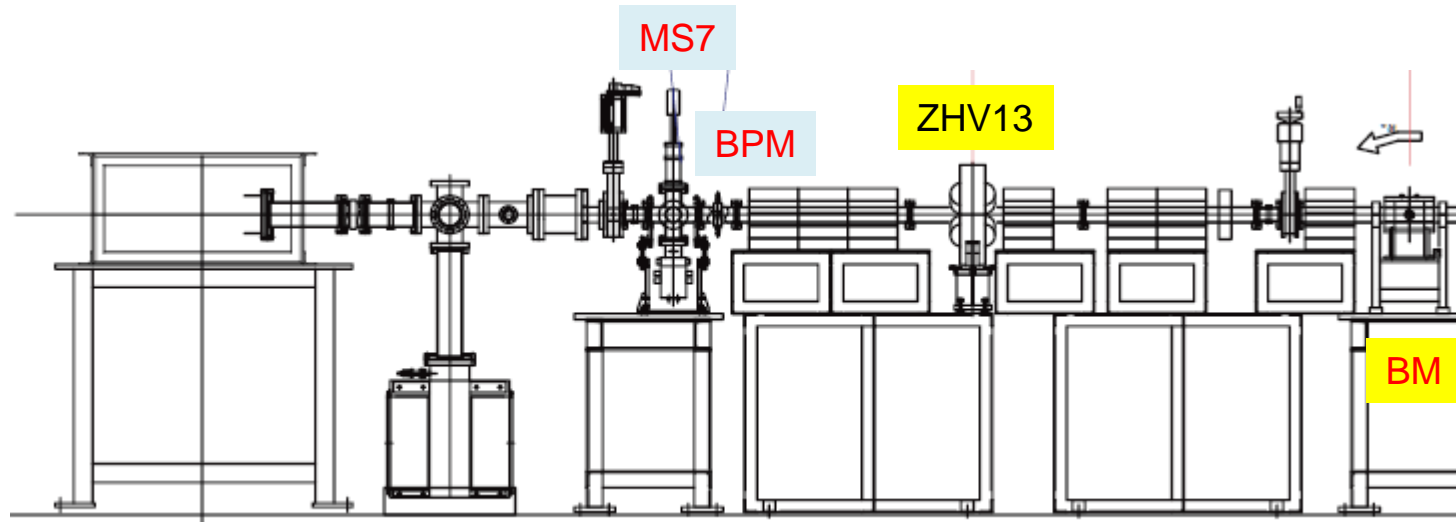
- MS5の調整: ZHV10を調整
- MS6の調整: ZHV11, 12を調整



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

入射器診断部BM下流

- MS7の調整: BM, ZHV13を調整



名称	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。

Phase 1での最初の調整

- 固定パラメタ
 - 電子銃加速電圧: 390 kV
 - 初期レーザースポット直径: $\phi 1.2$ mm
 - 初期レーザーrmsパルス幅: 3 ps (Gaussian)
 - 初期カソードMTE: 120 meV
 - 入射器空洞後ビーム運動エネルギー: 5 MeV ($E_{acc} = 7.1$ MV/m)
- Step 4(施設検査合格)までの調整
 - RF空洞の各位相を調整すること。このとき異なったエネルギーを持つビームを偏向電磁石下流まで輸送する必要がある
 - 極力調整項目を減らしてビームを通すことを考える \Rightarrow 入射器空洞上流の2台のソレノイドのみを調整する
- RF位相調整
 - 最初の調整では、位相が分からないので、ビームが逆流しないように低い E_{acc} で位相調整を行う
 - 低い E_{acc} で位相がある程度わかったら、 $E_{acc}=7.1$ MV/mとして位相の詳細調整を実施