

cERL phase 1コミッショニング報告(7/17)

5月から6月のビーム運転について

第74回ERL検討会
PF研究棟2階会議室

2013年7月17日(水)14時
加速器第七研究系
宮島 司

cERL phase 1 コミッショニング

- 2013年6月28日(金)にcERL phase1コミッショニング運転終了
- 達成項目
 - 電子銃の安定な運転
 - 超伝導空洞(冷凍機、RF源、空洞本体)の安定な運転
 - 放射線施設検査
 - ビーム品質測定
 - ビーム調整法の確立
 - ビームダイナミクスの実験
- ここでは、2013年5月から6月にかけて実施したcERL phase1 コミッショニング運転の概要について紹介する
- 2013年4月の運転報告については、坂中さんの第72回ERL検討会報告を参照して下さい
- ビーム品質の測定結果については、本田さんの報告を参照して下さい
- ビーム運転の詳細な記録は
 - http://acc-log.kek.jp/ERL/LogViewer/index_html
 - http://pfconrg07.kek.jp:8082/trac/cerl/wiki/phase1_history

Phase 1 コミッショニングで達成すべき項目

- 施設検査合格
 - 大前提として、これに合格しないとその次がない
- 機器の性能試験
 - 入射器を構成する機器の性能を評価すること
 - **ゴール: 電子銃、空洞、冷凍機、電磁石、モニター、コリメータ等の評価**
- ビーム調整法の確立
 - モニター類での測定結果を使って、設計条件に近づける方法の確立
 - **ゴール: 可能であれば大電荷での調整法の確立、周回部へのビーム条件の確立**
- ビーム品質の測定
 - エミッタンス、バンチ長、エネルギー拡がりの評価
 - **ゴール: 可能であれば大電荷で低エミッタンス・短バンチビームの評価**

第1目標(最低限達成すべき目標):

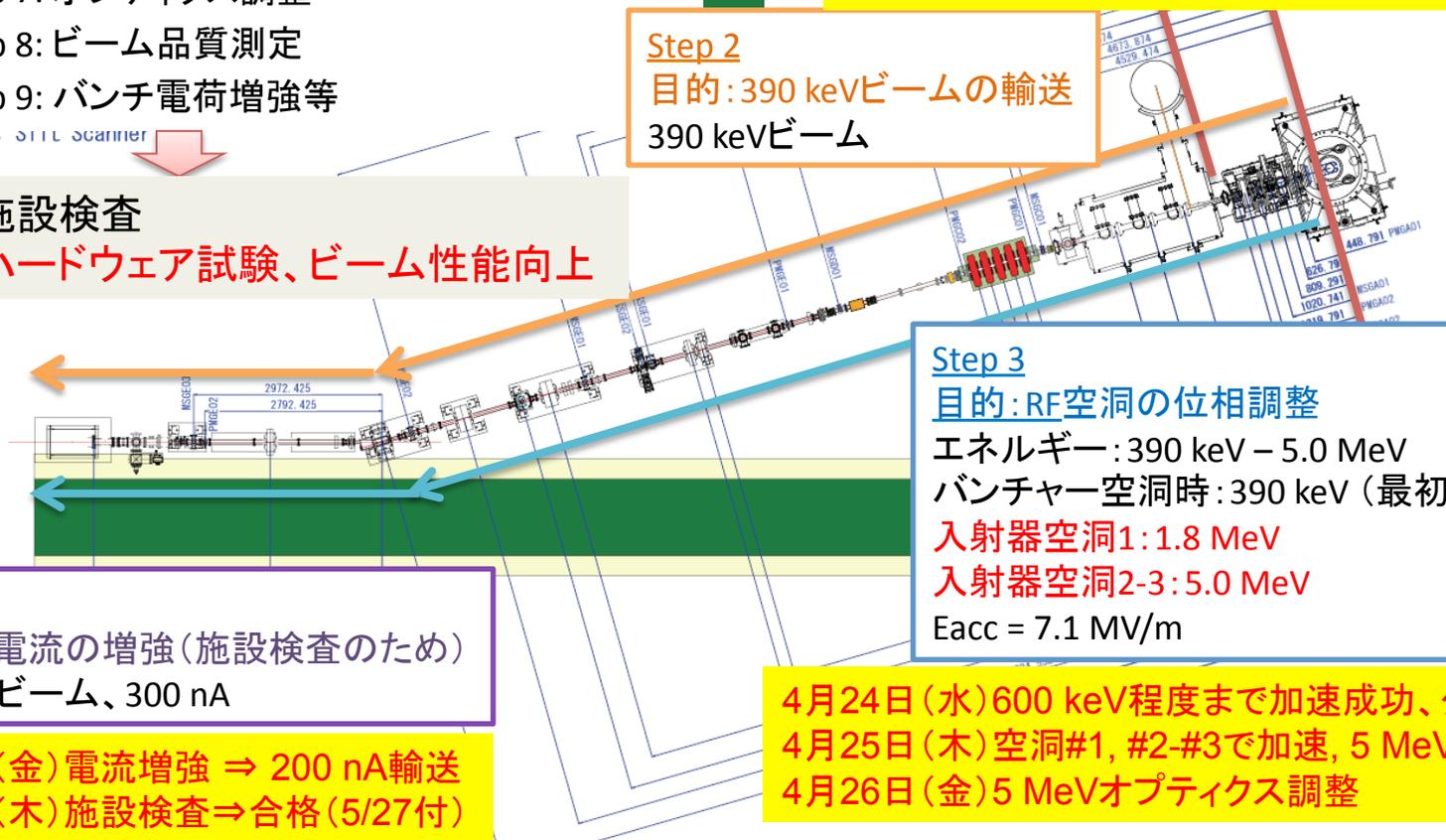
規格化エミッタンス1 mm·mrad以下 @7.7pC/bunch (10mA相当)

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
- Step 9: バンチ電荷増強等

SS: STILL Scanner

前半: 施設検査
後半: ハードウェア試験、ビーム性能向上



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

4月23日(火)MS4まで確認

MS5では良く見えず⇒低エネルギーでの輸送は難しい

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23日(木)施設検査⇒合格(5/27付)

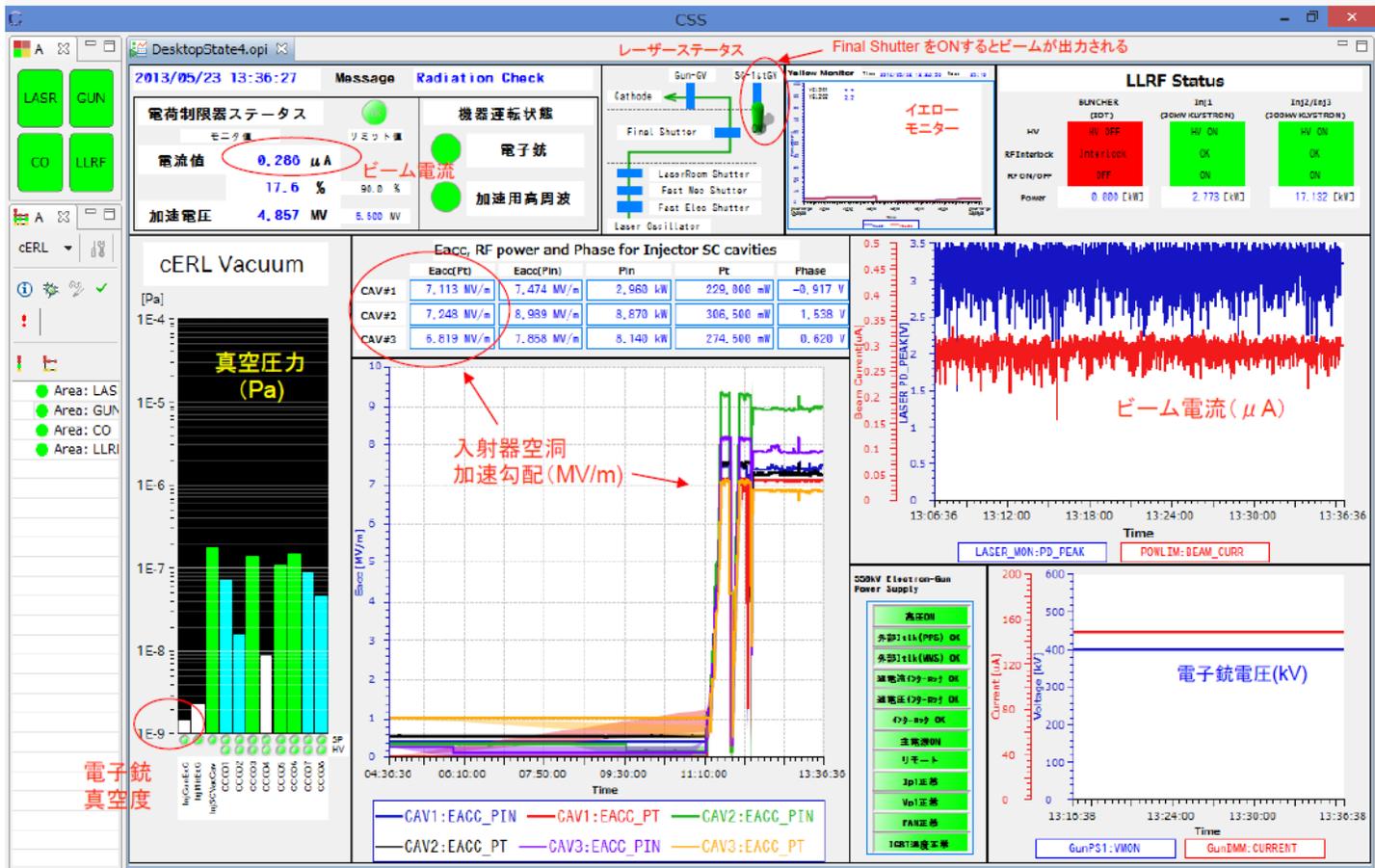
4月24日(水)600 keV程度まで加速成功、ダンプまで輸送

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

施設検査合格

cERL運転画面の例：(5/23 施設検査中)



5月23日(木)施設検査:原子力安全技術センター
 運転時検査では最大出力の約3割で運転
 5月27日付で合格となる

第7回ERL計画推進委員会、
 坂中さん資料より

施設検査合格までに実施した項目

- 機器の性能試験
 - 電磁石の応答測定(補正コイル、ソレノイド、四極電磁石)
 - 放射線施設検査
- ビーム調整法の確立
 - RF空洞位相調整(最大加速位相の探索)
 - RF空洞軌道調整
 - 電磁石中の軌道調整(BBA, Beam based alignment)
- ビーム品質の測定
 - Solenoid-scan, Q-scanによるエミッタンス測定
 - ビームエネルギー測定

施設検査合格後のスタディ項目

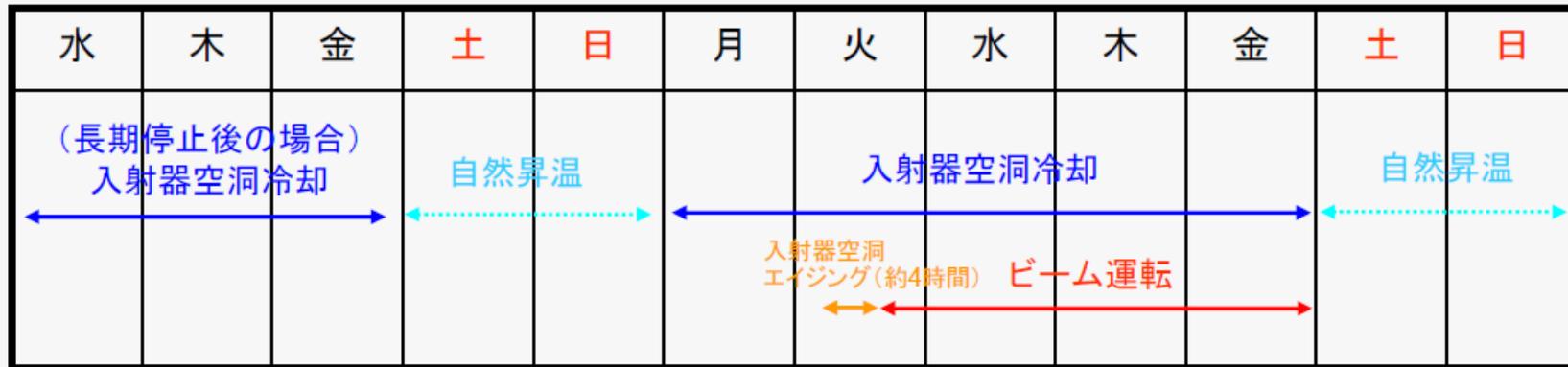
- 機器の性能試験
 - RFシステム安定化試験等
 - バンチャー空洞試験
 - CW運転テスト
 - 大電流試験(最大1 μ A)
 - ビーム損失評価(損失場所の推定、コリメータの調整)
 - Loss monitor / MPS系の整備
- ビーム調整法の確立
 - オプティクス診断・モニター類校正(スクリーン、BPM, slit, 偏向空洞)
 - オプティクス調整(最小エミッタンスの実現、数値計算との比較)
 - 周回部運転に向けたオプティクスの確立(周回部用のビーム品質を決める必要あり)
- ビーム品質の測定
 - エミッタンス測定(方法を変えてクロスチェックする、Q-scan, slit-scan)
 - バンチ長測定(偏向空洞立ち上げ)
 - バンチ電荷を上げた試験(空間電荷効果)

基本方針

- 機器の性能評価を優先したいがどうか？
 - ハードウェアの状態を把握でき、対策への時間を取ることができる。
 - バンチャー空洞は遅くとも6月中旬までに試験したい
 - ビーム損失評価も今後の遮蔽等の設計に必要な情報
 - 機器の故障のリスクの高いものは後半に行う
- ビーム調整法の確立
 - 空間電荷が効くか効かないかで大きく異なる(空間電荷なしの場合はある程度確立できている)
 - 大電荷いつぐらいから始められるか？(レーザー出力増強とバンチ長測定の準備状況を確認しながら時期を決める、6月中旬くらい？)
 - 本日から(来週からかも)、ビーム運転当番のトレーニング開始
- ビーム品質測定
 - 空間電荷なしでの品質測定を完了させる
 - エミッタンス測定は複数の方法でクロスチェック
 - バンチ長測定は立ち上がり次第(バンチャー立ち上げ後はその性能も検証する)
 - 大電荷試験が可能になったら、電荷量に合わせてオプティクスを調整しながら測定を行う

cERL入射部の運転パターン

cERL入射部の運転パターン(典型的)



1日の運転パターン



第7回ERL計画推進委員会、坂中さん資料より

2013年5月のビーム運転

dERL運転スケジュール(5月)

2013.05.30 作成: 坂中章悟 (加速器7系; PHS 4371)

		午前 (9:00-13:00)	午後 (13:00-17:00)	準夜(前半) (17:00-22:00)	準夜(後半) (22:00-25:00)	深夜 (1:00-9:00)
5月8日	水	空洞冷却開始				
5月13日	月	運転準備	入射器空洞手前までのビーム調整(山本)			
5月14日	火	運転準備	入射器空洞エイジング(加古)	入射器空洞エイジング/LLRF試験/ビーム調整(加古)		
5月15日	水	運転準備 12:00 退避確認	入射器空洞エイジング/LLRF試験(加古)	ビーム調整(本田洋介)		
5月16日	木	運転準備	ビーム調整/15:00 放射線測定(島田)	ビーム調整(原田)		
5月17日	金	運転準備	ビーム調整/放射線測定予備日(中村)	ビーム調整(高井)		
5月18日	土					
5月19日	日					
5月20日	月	運転準備				
5月21日	火	運転準備	入射器空洞エイジング(加古)	ビーム調整(坂中)		
5月22日	水	運転準備 11:00 退避確認	ビーム調整(坂中)	ビーム調整(本田洋介)		
5月23日	木	施設検査	13:00頃 運転検査/ビーム調整当番(中)	ビーム調整(原田)		
5月24日	金	運転準備	ビーム調整(島田)	ビーム調整(久米)		
5月25日	土					
5月26日	日					
5月27日	月	運転準備				
5月28日	火	運転準備	入射器空洞エイジング(坂中)	ビーム調整(宮島)		
5月29日	水	運転準備	ビーム調整(宮島)	ビーム調整(本田洋介)		
5月30日	木	運転準備	13:00-15:00 入射器空洞立ち上げとバンチャー空洞エイジング/その後ビーム調整(久米)	ビーム調整(原田)		
5月31日	金	運転準備	13:00-15:00 入射器空洞立ち上げとバンチャー空洞エイジング/その後ビーム調整(宮島)	ビーム調整(高井)		

施設検査準備
(機器のチェック、立ち上げ方法確認、ビーム調整)

← 放管による事前検査
(線量測定)

ERL開発棟内と敷地境界での線量問題なし(約5.4 MeV, 0.3 μA運転時)

← 施設検査(原子力安全技术センター)

合格(5/27付)

電子銃収束力測定
偏向空洞試験
超伝導空洞収束力評価

2013年6月のビーム運転

eERL運転スケジュール(6月)

2013.06.18 作成: 坂中章悟 (加速器7系; PHS 4371)

- 凡例:
- 電子銃エイジング等(加速器室内は立入禁止)
 - 入射器空洞エイジング(加速器室内は立入禁止)
 - ビーム運転(加速器室内は立入禁止)

		午前 (9:00-13:00)	午後 (13:00-17:00)	準夜(前半) (17:00-22:00)	準夜(後半) (22:00-25:00)	深夜 (1:00-9:00)
6月1日	土					
6月2日	日					
6月3日	月	(空洞冷却)				
6月4日	火	運転準備	入射器空洞エイジング /バンチャー空洞 LLRF試験	立ち上げ/マシンスタ ディ		
6月5日	水	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月6日	木	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月7日	金	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月8日	土					
6月9日	日					
6月10日	月	(空洞冷却)				
6月11日	火	運転準備	入射器空洞エイジング	立ち上げ/マシンスタ ディ		
6月12日	水	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月13日	木	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月14日	金	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月15日	土					
6月16日	日					
6月17日	月	(空洞冷却)				
6月18日	火	運転準備	入射器空洞エイジング	立ち上げ/マシンスタ ディ		
6月19日	水	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月20日	木	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月21日	金	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月22日	土					
6月23日	日					
6月24日	月	(空洞冷却)	電子銃ビームのスタ	電子銃ビームのスタ 立ち上げ/マシンスタ ディ	← 変更	
6月25日	火	運転準備	入射器空洞エイジング	ディ		
6月26日	水	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月27日	木	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ		
6月28日	金	運転準備	マシンスタディ	マシンスタディ	(空洞昇温)	
6月29日	土					
6月30日	日					

低電荷での性能評価

- バンチャー空洞試験
- 超伝導空洞収束力評価
- ロスモニタ試験
- RF安定度試験

大電荷試験

- レーザー切り替え
- 大電荷輸送試験(15 mA相当)
- 超伝導空洞収束力評価
- LLRF試験

空間電荷効果の評価

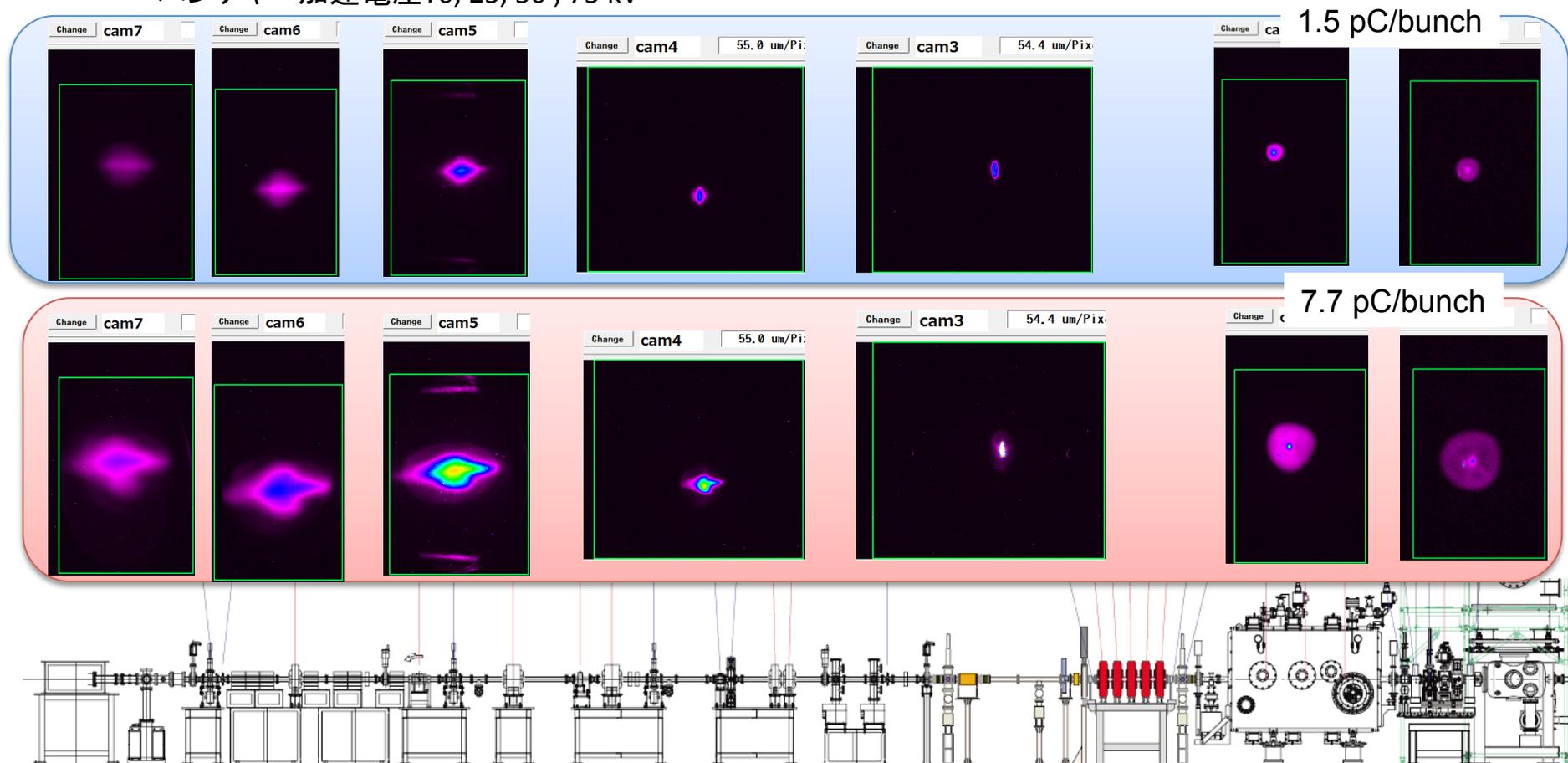
- 空洞内軌道調整
- 7.7 pC/bunchでの品質測定
- ロスモニタ試験

16 ps flat レーザーパルス長

- 空洞スタディ(機械振動測定、ピエゾFB)
- コリメタ試験
- ビーム品質評価(縦・横方向)

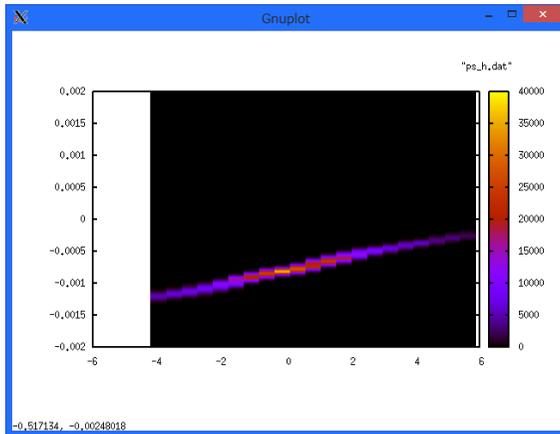
横方向ビーム品質測定: 16 ps flat long

- 実施者: 本田さん、宮島
- 目的: 16 ps flat long レーザーを使用したときの横方向ビーム品質の測定
- 実施項目
 - 電荷、バンチャー加速電圧を変えながら、スリットスキャン法でエミッタンスを測定
 - バンチ電荷: FC 500 mV, 100 mV (7.7 pC/bunch, 1.5 pC/bunch)
 - バンチャー加速電圧: 0, 25, 50, 75 kV

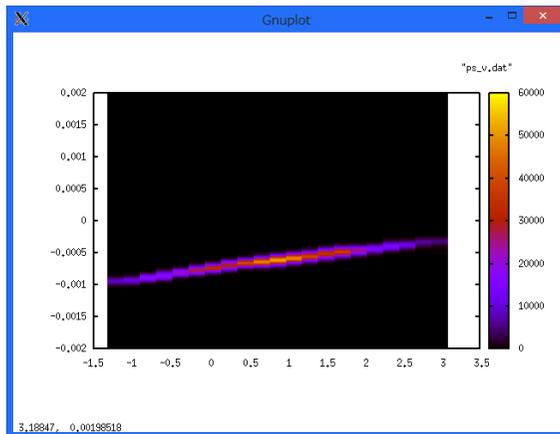


横方向ビーム品質測定: 16 ps flat long

buncher 50kV
SL1 8.3A
horizontal, 7.7pC/b
0.89 μ m

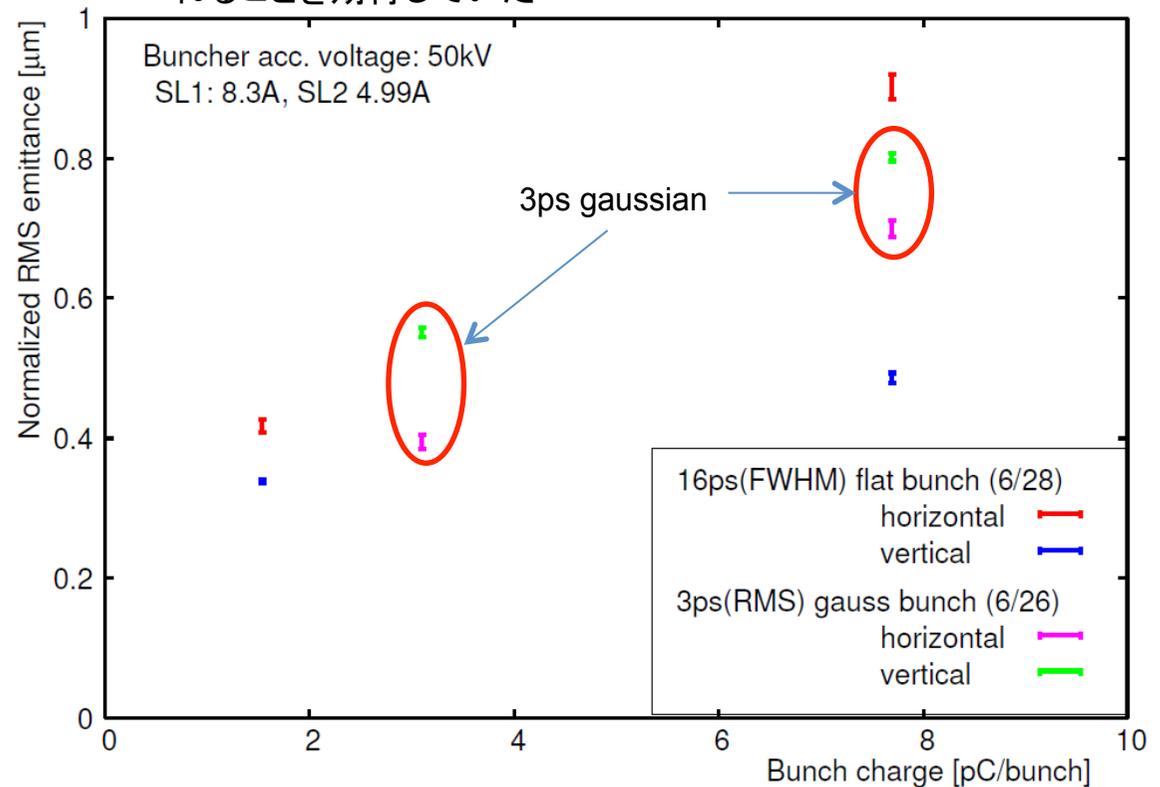


buncher 50kV
SL1 8.3A
vertical 7.7pC/b
0.48 μ m



結果

- レーザーパルス長を伸ばすことでバンチ電荷が下がるので低いエミッタンスを期待したが、下がらなかった
- 空洞のオフセンター軌道等の影響が大きそうなので、対策を考える
- 最低限達成すべき目標には到達しているが、さらに下げられることを期待していた



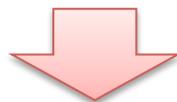
本田洋介, "10 mA相当ビームでのエミッタンス測定(長パルス)"

4月のビーム試験からわかった課題とその対策

- 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。 → Faraday cup, Beam dump電流を比較してほぼロスなく輸送できていることを確認
- 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ニアリティを確認する。 → 現状ではYAGの飽和はないことを確認
- ビーム電流測定 → ケーブルの遮蔽、ビーム電流を上げることで対応
 - 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 → LLRFのFB gainを上げることで劇的に改善
 - 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 → 坂中さんの教育の成果
ある程度運転者が調整、立ち下げできるようになる
 - 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。

Phase 1 コミッショニングで達成すべき項目と結果

- 機器の性能試験
 - 入射器を構成する機器の性能を評価すること
 - **ゴール: 電子銃、空洞、冷凍機、電磁石、モニター、コリメータ等の評価**
- ビーム調整法の確立
 - モニター類での測定結果を使って、設計条件に近づける方法の確立
 - **ゴール: 可能であれば大電荷での調整法の確立、周回部へのビーム条件の確立**
- ビーム品質の測定
 - エミッタンス、バンチ長、エネルギー拡がりの評価
 - **ゴール: 可能であれば大電荷で低エミッタンス・短バンチビームの評価**



赤字の部分は達成、**青字**の部分は秋からの運転ですべき項目

cERL phase 1 運転で気付いたこと・課題1

- 入射器空洞内の軌道、収束力
 - 入射器空洞後に、低電荷でもエミッタンス増大が確認されている(低電荷ではほぼ増大はないはず)
 - 水平・垂直方向で収束力が異なる(HOMカプラーに起因する?)
 - バンチ電荷を上げるとその影響が顕著に見える
- スクリーンモニタによるビーム診断
 - 今回の運転ではスクリーンモニタが主役となった
 - ただし、CW時には入れられない問題がある
 - 周回部の運転でもスクリーンモニタが主役となると思ったほうが良い
 - BPMによる調整法も確立しておいたほうが良い
- 診断ラインの有効性
 - 入射部では専用の診断ラインを作ったが、縦・横方向の診断をするのに非常に有効であった
 - 横方向: Q-scan, slit-scan, スクリーンによるプロファイル測定
 - 縦方向: 偏向空洞、偏向電磁石⇒進行方向位相空間が取得可能
 - 周回部での試験のときはどうするか?
- Faraday cupの効果
 - ビーム電流を測定するのにFaraday cupがあったほうが便利
 - 夏に、電子銃下流に増設する予定
 - 周回部での電流測定はBPMか?

cERL phase 1 運転で気付いたこと・課題2

- 冷凍機のトラブル
 - 週の後半になるとJT弁の閉塞によるトラブルが何度か起きた
- 安全系
 - 大電流輸送中に、スクリーンモニタが入ったりして予想していない場所でのビーム損失が起きないようにする等
- よりわかりやすい運転に向けた整備
 - ソフトウェア、マニュアルの整備： よりわかりやすくして操作ミスを防ぐようにする
 - ハードウェアの遠隔制御
- 運転体制
 - 安定なビーム試験は水、木、金の3日間となる
 - 連続でビームダイナミクス関係のスタディを行うと、解析の時間が取れないので、ハードウェア試験と交互に行ったほうがよい
 - 2か月連続での運転はハードである
 - 運転教育対応が特定の人(坂中さん)に集中した
 - 安全シフト、ビーム運転当番の役割の明確化

まとめ

- 5月13日からcERL phase 1 コミッショニング運転を再開
- 5月27日付で施設検査に合格した
- 施設検査後に下記のマシンスタディを実施、6月末までの運転で予定していた項目をほぼ完了
 - 機器の性能試験
 - ビーム調整法の確立
 - ビーム品質測定
 - 空間電荷効果試験
- 残りの項目
 - 周回部へ向けたビーム条件の確立
 - さらなるビーム品質の向上
- エミッタンスについては最低限達成すべき値には到達
 - シミュレーションとの比較と次の対策を考える
- これからの課題
 - 入射器超伝導空洞内の軌道調整
 - 安全系、運転体制の整備

Back up slides

5/27の週の実施項目

- 5月28日(火):
 - 電子銃収束力測定を実施
- 5月29日(水):
 - BPM校正、偏向空洞試験を実施
- 5月30日(木):
 - 加速位相の確認(#1空洞:-130度)、超伝導収束量評価1(補正コイルの応答測定)を実施
- 5月31日(金):
 - 偏向空洞調整、超伝導空洞収束力評価1(#1空洞の収束力測定を一部実施)

6/3の週の予定

- やりたい項目
 - バンチャー空洞試験(軌道調整、位相調整、バンチ長測定)
 - 超伝導空洞収束力評価1の続き
- 予定案
- 4日(火):バンチャー空洞試験⇒390keVビームをバンチャー空洞で加速、最大加速位相を決定
- 5日(水):バンチャー空洞でのバンチ長変化量の評価⇒5.6 MeVビームでのバンチ圧縮に成功、偏向空洞で測定
- 6日(木):超伝導空洞収束力評価1⇒収束力とエミッタンス変化を測定
- 7日(金):RF安定度試験、モニタ関係スタディ⇒ロスモニタ、RF安定度試験

- 6月10日の週の予定案
 - バンチ電荷増強
 - LLRF試験

6/10の週の予定

- やりたい項目
 - バンチ電荷を増やした時のビーム調整法の確立
 - バンチ電荷を増やした時のビーム品質の測定
- 予定案
- 10日(月):レーザー調整
- 11日(火):入射器空洞冷却、位相調整、レーザー切り替え後の確認運転⇒位相調整後、最大15 mA相当のバンチ電荷(12 pC/bunch)まで輸送
- 12日(水):大電荷試験(1 mA相当(0.77 pC/bunch)の輸送法確立)⇒放射線サーベイ(50 nA)、0.77 pC/bunchでの輸送調整
- 13日(木):大電荷試験(低電荷でのパラメタ確認、0.77 pC/bunchでの調整)⇒バンチャー空洞内の軌道調整(0.77 pC/bunch), 空洞収束力評価(21時に途中で終了)
- 14日(金):空洞収束力試験(3時間)、LLRF試験(4時間)⇒空洞収束力試験、LLRF試験
- バンチ電荷量とレーザーパルス幅
 - スクリーン挿入時のビームロス量を5 nAにする話がでた。
 - マクロパルス幅1 μ s, 5 Hzの時:最大 0.77 pC/bunch
 - マクロパルス幅 1 μ s, 1 Hzの時:最大 3.85 pC/bunch
 - パルス幅:3 ps gaussian, 16 ps flat-top
 - 今週の最大平均電流: 5 nAを上限とする(マシン側の安全系を確認するため)

コメント: スクリーン挿入時のビームロス量に注意。平均5 nAを最大とする。

6/17の週の予定

- やりたい項目
 - ビーム輸送系の詳細調整(低電荷)
 - 0.77 pC/bunchでの詳細調整、ビーム品質測定
- 予定案
- 17日(月):
- 18日(火): 超伝導空洞立ち上げ、低電荷でのビーム輸送系詳細調整(オプティクスパラメタの把握(特に超伝導空洞手前で測定結果を計算で再現できるようにしたい))、ロスモニタ試験(5 nA希望)⇒**超伝導空洞3台で加速、ロスモニタ試験、電荷を変えてソレノイドスキャン、レーザーパルス長の伸長試験**
- 19日(水): 0.77 pC/bunchでの詳細調整(電荷を変えた時の影響の評価、ビーム品質測定)⇒**ロスモニタ試験、バンチャー空洞、入射器空洞の中心を通す、ビーム品質測定(エミッタンス、バンチ長)**
- 20日(木): できれば、LLRF関係、モニター関係スタディ ⇒ **LLRF安定度試験**
- 21日(金): ロスモニタ試験。0.77 pC/bunchでの詳細調整(6/19の結果をもとにする)⇒**冷凍機復帰、ロスモニタ一試験、0.77 pC/bunchでの測定を実施**
- バンチ電荷量とレーザーパルス幅
 - スクリーン挿入時のビームロス量を5 nAにする話がでた。
 - マクロパルス幅1 μ s, 5 Hzの時: 最大 0.77 pC/bunch
 - マクロパルス幅 1 μ s, 1 Hzの時: 最大 3.85 pC/bunch
 - マクロパルス幅 100 ns 運転 (7.7 pC/bunch用)
 - パルス幅: 3 ps gaussian, 16 ps flat-top
 - 今週の最大平均電流: 5 nAを上限とする(マシン側の安全系を確認するため)
 - 50nAで線量は問題ないということになった。以後、最大平均電流を50 nAに引き上げ(6/14打合せ)。

コメント: スクリーン挿入時のビームロス量に注意。平均50 nAを最大とする。

6/24の週の予定

- やりたい項目
 - 7.7 pC/bunchでの詳細調整、ビーム品質測定
 - 超伝導空洞試験
 - モニター試験
- 予定案
- 24日(月): 13時～ 入射器空洞手前でのソレノイドスキャン(最大: 7.7 pC/bunch)⇒カソードオフセンター試験、ソレノイドスキャン(7.7 pC/bunch)、YAG screenの飽和のテスト(高井さん)
- 25日(火): 超伝導空洞立ち上げ、機械振動測定(16時～18時)、ピエゾFB試験(18時～20時)、位相調整(20時～22時)、残り時間があれば: ロスモニタ試験、コリメタ試験⇒機械振動測定、ピエゾFB試験(途中)、位相調整、コリメタ試験、ロスモニタ試験
 - 加速電圧を下げる。5.5 MeV程度になるように(3台均等に下げる)。
- 26日(水): 7.7 pC/bunchでの詳細調整(電荷を変えた時の影響の評価、ビーム品質測定)⇒軌道調整、7.7 pC/bunchでのビーム品質測定(エミッタンス、バンチ長、エネルギー拡がり)
- 27日(木): ピエゾFB試験(~15時)、冷凍機1.8K運転(18時まで)、10 ps flat 輸送・バンチ長測定試験 ⇒ 冷凍機1.8 K運転、ピエゾFB試験(延期)、ロスモニタ試験、16 ps flatでの進行方向ビーム品質測定
- 28日(金): 16 ps flat レーザーパルス測定: 390 keVソレノイドスキャン、5.5 MeV 横方向ビーム品質測定⇒16 ps flatパルス測定(390 keV, 5.5 MeV横方向ビーム品質)
- バンチ電荷量とレーザーパルス幅
 - マクロパルス幅1 μ s, 5 Hzの時: 0.77 pC/bunch で 5 nA
 - マクロパルス幅 1 μ s, 1 Hzの時: 7.7 pC/bunch で 10 nA
 - パルス幅: 3 ps gaussian, 16 ps flat-top
 - 50nAで線量は問題ないということになった。以後、最大平均電流を50 nAに引き上げ(6/14打合せ)。

コメント: スクリーン挿入時のビームロス量に注意。
平均50 nAを最大とする。
バンチャーは毎日エージング