



cERL立ち上げ概要

坂中章悟
KEK 加速器研究施設

2014/12/19 cERLミニワークショップ1 @KEK



High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

S. Adachi, M. Adachi, M. Akemoto, D. Arakawa, S. Asaoka, K. Enami, K. Endo, S. Fukuda, T. Furuya, K. Haga, K. Hara, K. Harada, T. Honda, Y. Honda, H. Honma, T. Honma, K. Hosoyama, K. Hozumi, A. Ishii, X. Jin, E. Kako, Y. Kamiya, H. Katagiri, H. Kawata, Y. Kobayashi, Y. Kojima, Y. Kondou, O.A. Konstantinova, T. Kume, T. Matsumoto, H. Matsumura, H. Matsushita, S. Michizono, T. Miura, T. Miyajima, H. Miyauchi, S. Nagahashi, H. Nakai, H. Nakajima, N. Nakamura, K. Nakanishi, K. Nakao, K. Nigorikawa, T. Nogami, S. Noguchi, S. Nozawa, T. Obina, T. Ozaki, F. Qiu, H. Sakai, S. Sakanaka, S. Sasaki, H. Sagehashi, K. Satoh, M. Satoh, T. Shidara, M. Shimada, K. Shinoe, T. Shioya, T. Shishido, M. Tadano, T. Takahashi, R. Takai, H. Takaki, T. Takenaka, Y. Tanimoto, M. Tobiyama, K. Tsuchiya, T. Uchiyama, A. Ueda, K. Umemori, K. Watanabe, M. Yamamoto, Y. Yamamoto, Y. Yano, M. Yoshida



Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

R. Hajima, S. Matsuba, R. Nagai, N. Nishimori, M. Sawamura, T. Shizuma



Hiroshima University

M. Kuriki, Y. Seimiya



Nagoya University

Y. Takeda, M. Kuwahara, T. Ujihara, M. Okumi



The Graduate University for Advanced Studies (Sokendai)

E. Cenni (present address: Kyoto University)



Yamaguchi University

H. Kurisu



UVSOR, Institute for Molecular Science

M. Katoh



National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

D. Yoshitomi, K. Torizuka



JASRI/SPRING-8

H. Hanaki



CERN

A. Valloni

内容

- I. コンパクトERLの概要
- II. 入射部コミッショニングの概要
(2013年4-6月)
- III. 周回部コミッショニングの概要
(2013年12月－2014年6月)
- IV. cERL今後の課題

I. コンパクトERLの概要

ERL Light Source Project (PEARL) at KEK

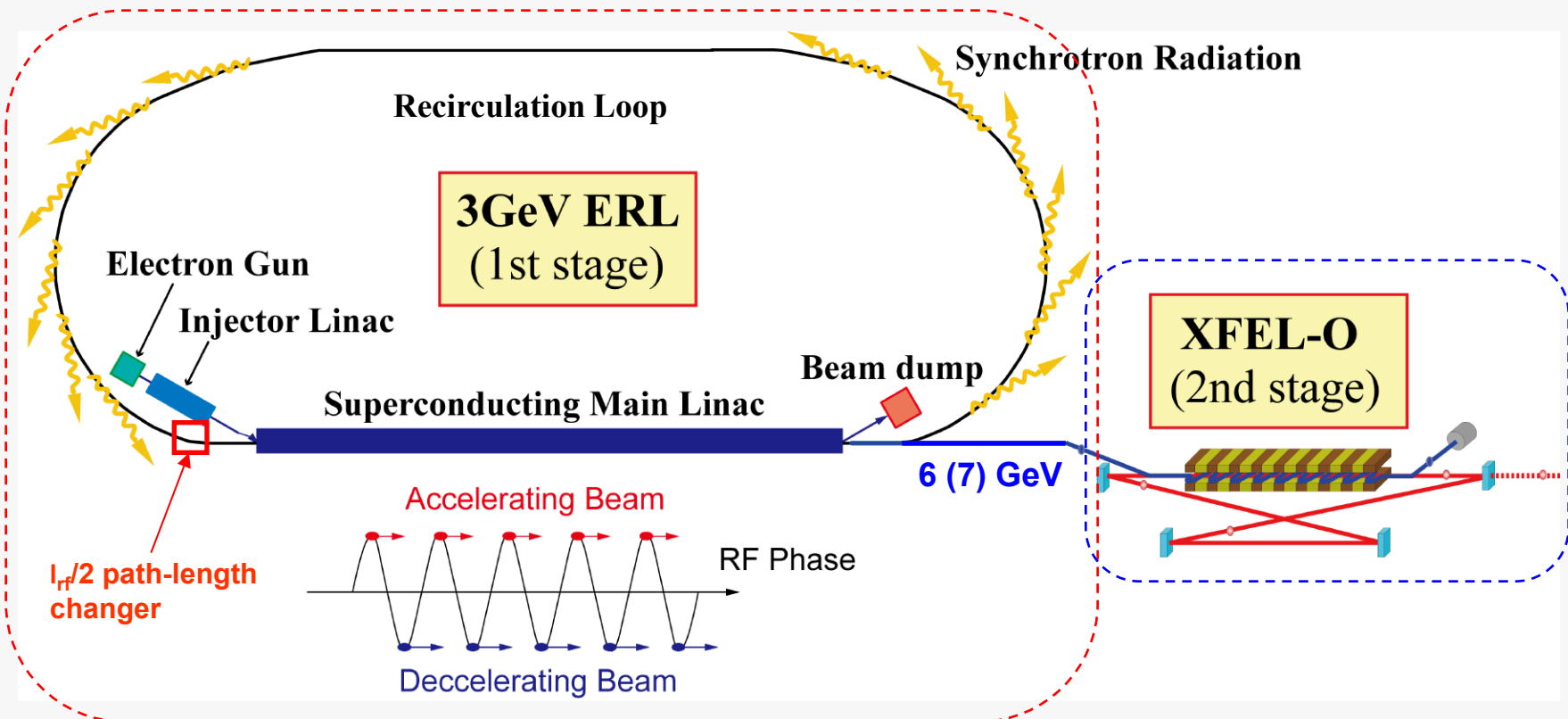
Photon Factory ERL
Advanced Research
Laboratory



ERL-based Light Source Project at KEK (2 Stages)

- ① 3-GeV ERL as X-ray and VUV SR source
- ② 6-7 GeV XFEL Oscillator

RF frequency: 1.3 GHz
Beam current : 10-100 mA
Bunch charge: 7.7-77 pC
Normalized emittance: 0.1-1 mm·mrad



[1] "Energy Recovery Linac Conceptual Design Report", KEK Report 2012-4 (Oct. 2012); <http://ccdb5fs.kek.jp/tiff/2012/1224/1224004.pdf>

3 GeV ERLのパラメータ (CDR^[1]より)

Table 5-1 Target parameters of the 3-GeV ERL which is integrated with the X-ray free-electron-laser oscillator (XFEL-O).

	Operation modes				
	High-coherence mode	High-flux mode	Ultimate mode	Ultra short-pulse mode	XFEL-O
Beam energy (E)	3 GeV				6-7 GeV
Average beam current (I_0)	10 mA	100 mA	100 mA	Typically, 77 μ A (flexible)	20 μ A
Charge/bunch (q_b)	7.7 pC	77 pC	77 pC	Typically, 77 pC (flexible)	20 pC
Repetition rate of bunches (f_{rep})	1.3 GHz	1.3 GHz	1.3 GHz	Typically, 1 MHz (flexible)	1 MHz
Normalized beam emittances ($\varepsilon_{nx}, \varepsilon_{ny}$)	0.1 mm·mrad	1 mm·mrad	0.1 mm·mrad	To be investigated (typically, 1-10 mm·mrad)	0.2 mm·mrad
Beam emittances at full beam energy ($\varepsilon_x, \varepsilon_y$)	17 pm·rad	170 pm·rad	17 pm·rad	To be investigated (typically, 0.2-2 nm·rad)	15 pm·rad
Energy spread of beams; in rms (σ_E/E)	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	To be investigated	5×10^{-5}
Bunch length; in rms (σ_l)	2 ps	2 ps	2 ps	100 fs	1 ps

[1] “Energy Recovery Linac Conceptual Design Report”, KEK Report 2012-4, KEK, 2012.

Challenges in 3-GeV ERL

ERL-based light source
(KEK-PERAL, Cornell, FSF at HZB, ...)

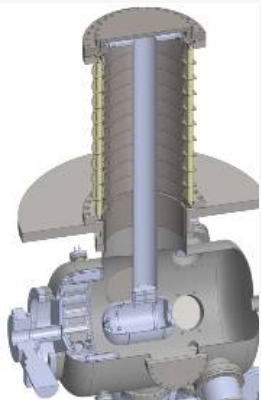
CW Operation
Low beam emittance
High beam current

Common challenges with
high-repetition-rate FELs
(like LCLS-II)

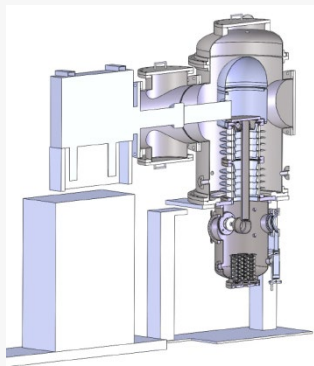
Electron gun

- CW beams (1.3 GHz)
- Low-emittance
- High average current
- Long cathode lifetime

Photocathode DC guns (500 kV)



#1
(JAEA)



#2
(KEK)



2-cell cavity
for ERL injector



9-cell cavity for
ERL main linac

Superconducting cavities (Injector/Main-linac)

- CW operation
- HOM couplers or absorbers
- High-power couplers (injector)
- High unloaded-Q (Q_0) (main-linac)
- Strong HOM damping (main-linac)

Beam dynamics

- Injector design
- Emittance preservation
 - space charge effect
 - CSR
 - rf focusing
 - alignment errors
 - stray fields, ...
- BBU
- Beam losses
- ...

コンパクトERLでの
実証を計画した

コンパクトERLの目的

- ERL放射光源の実機のために必要な、低エミッタンス・大電流の電子ビームの生成、加速、周回、エネルギー回収を実証する
- 高輝度電子銃、超伝導空洞などの重要機器が安定に動作することを示す
- ERLに関する加速器物理を実験的に研究し理解する
(空間電荷効果、エミッタンス増大過程、イオン捕獲など)
- 完成後は、レーザーコンプトン散乱X線源、大強度テラヘルツ光源等に有効利用する

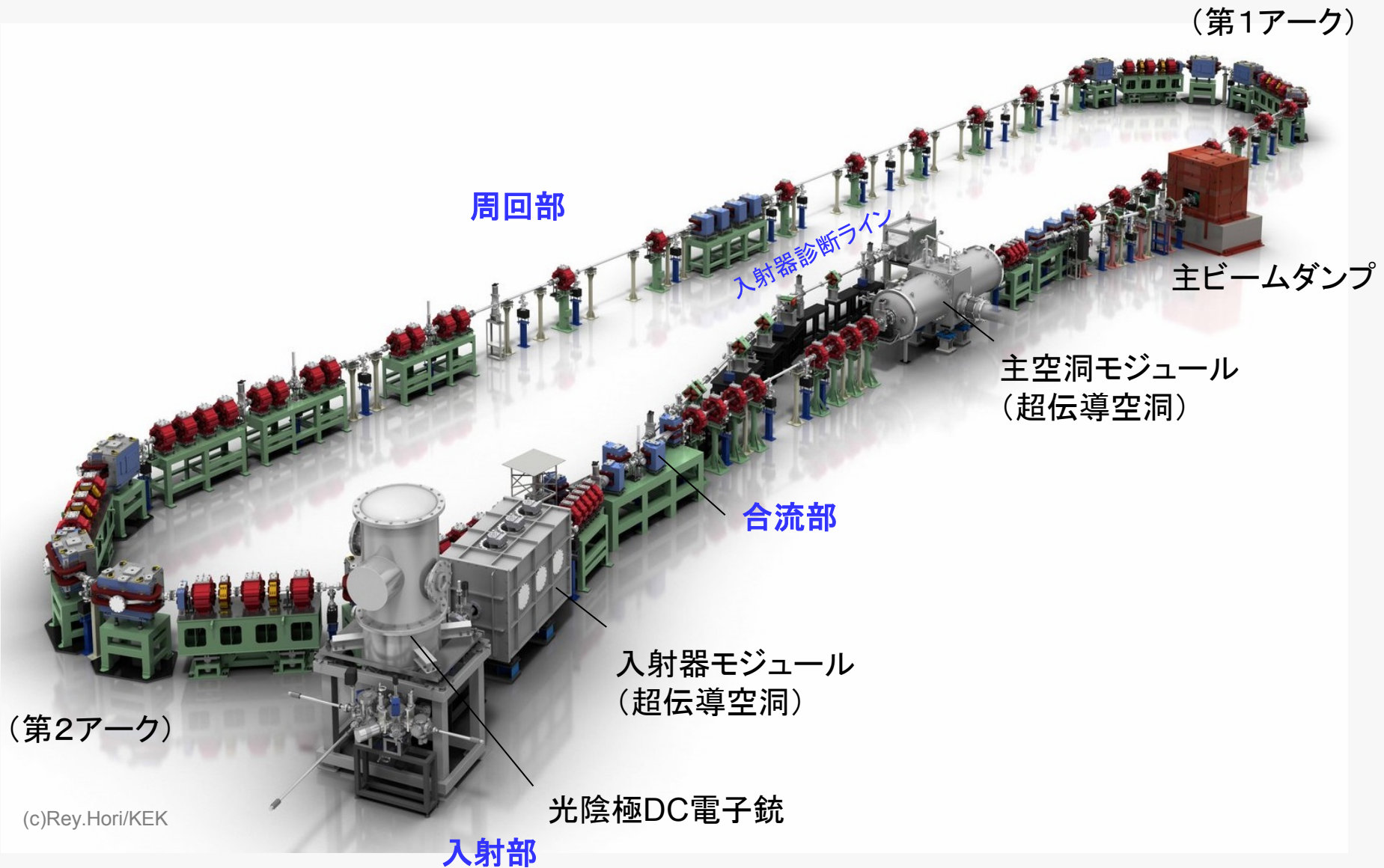
コンパクトERLのパラメータ

パラメータ	目標値; ()内は将来の目標
周回ビームエネルギー	35 MeV (空洞増強で125 MeV)
入射エネルギー	5 MeV (10 MeV)
平均ビーム電流	10 mA (100 mA)
規格化エミッタンス より挑戦的な目標	< 1 mm·mrad (0.1 mm·mrad@7.7 pC) (1 mm·mrad@77 pC)
バンチ長 (rms)	1 - 3 ps < 150 fs : バンチ圧縮時
加速勾配(主リニアック)	15 MV/m
RF周波数	1.3 GHz

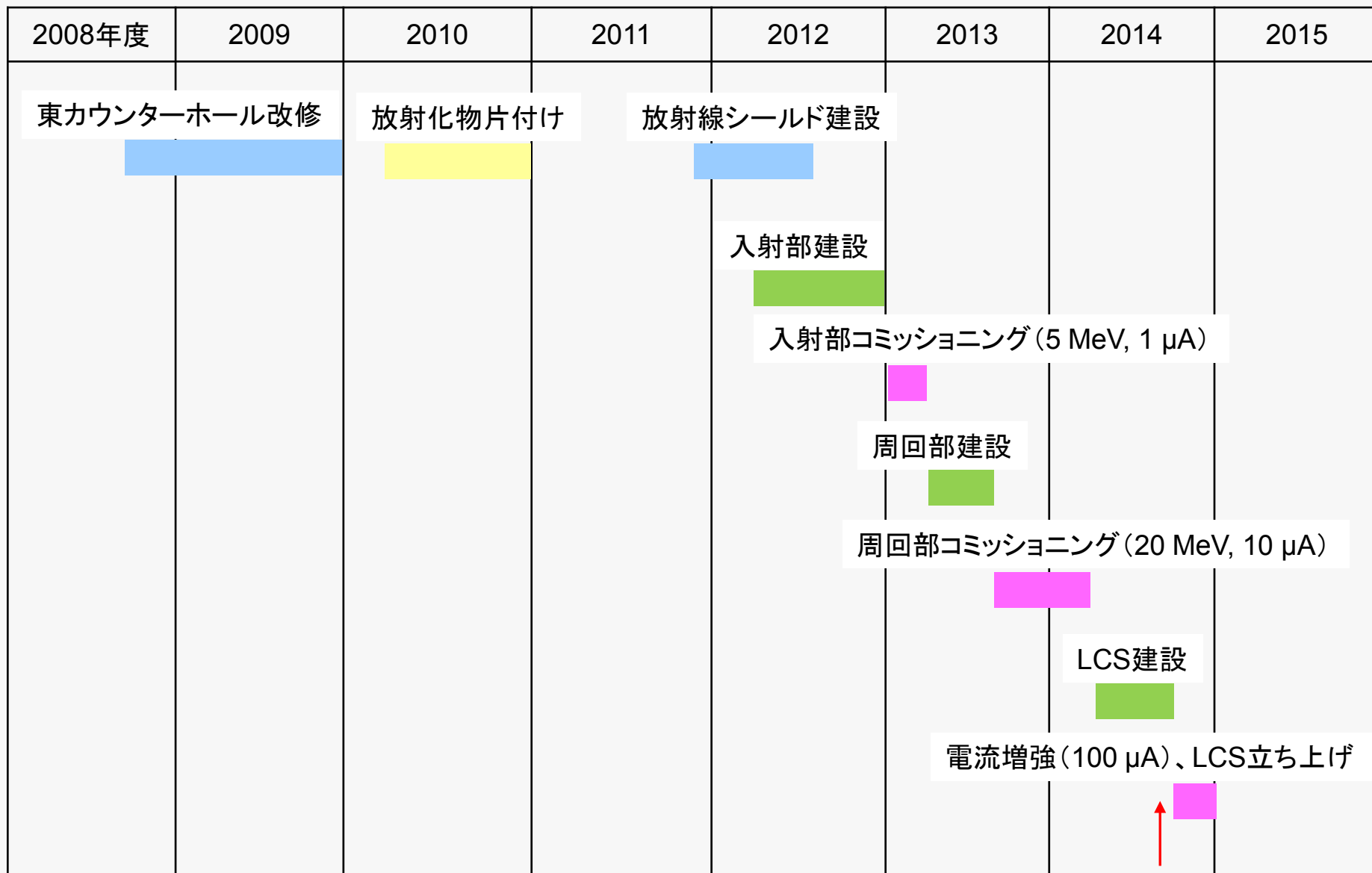
コンパクトERL



コンパクトERLの構成(イラスト)

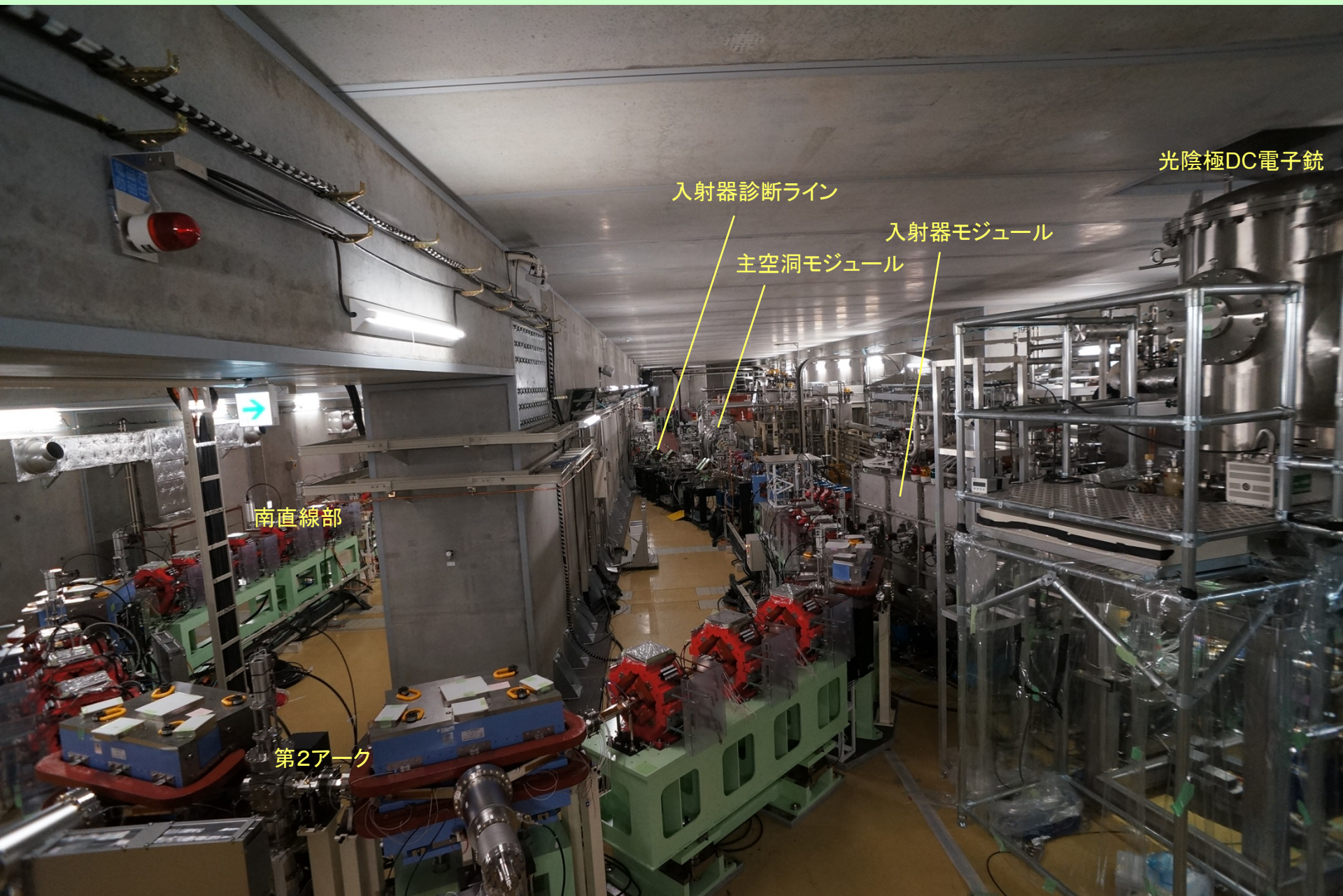


コンパクトERLの建設と立ち上げ



現在

完成したコンパクトERL



光陰極DC電子銃

入射器診断ライン

入射器モジュール

主空洞モジュール

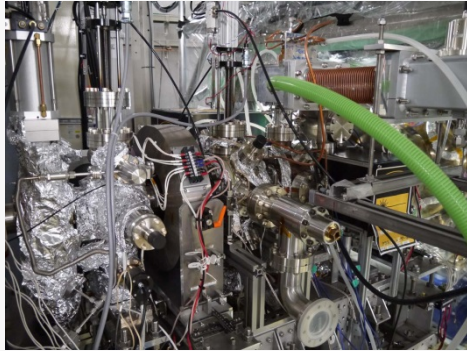
南直線部

第2アーケ

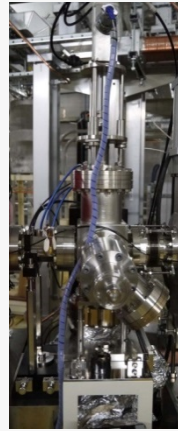
II. 入射部コミッショニングの概要 (2013年4-6月)

cERL入射部と入射器診断ライン^[1]

[1] 本田洋介他、第10回加速器学会年会プロシーディングス、SUP010, SUP011.



バンチャー空洞



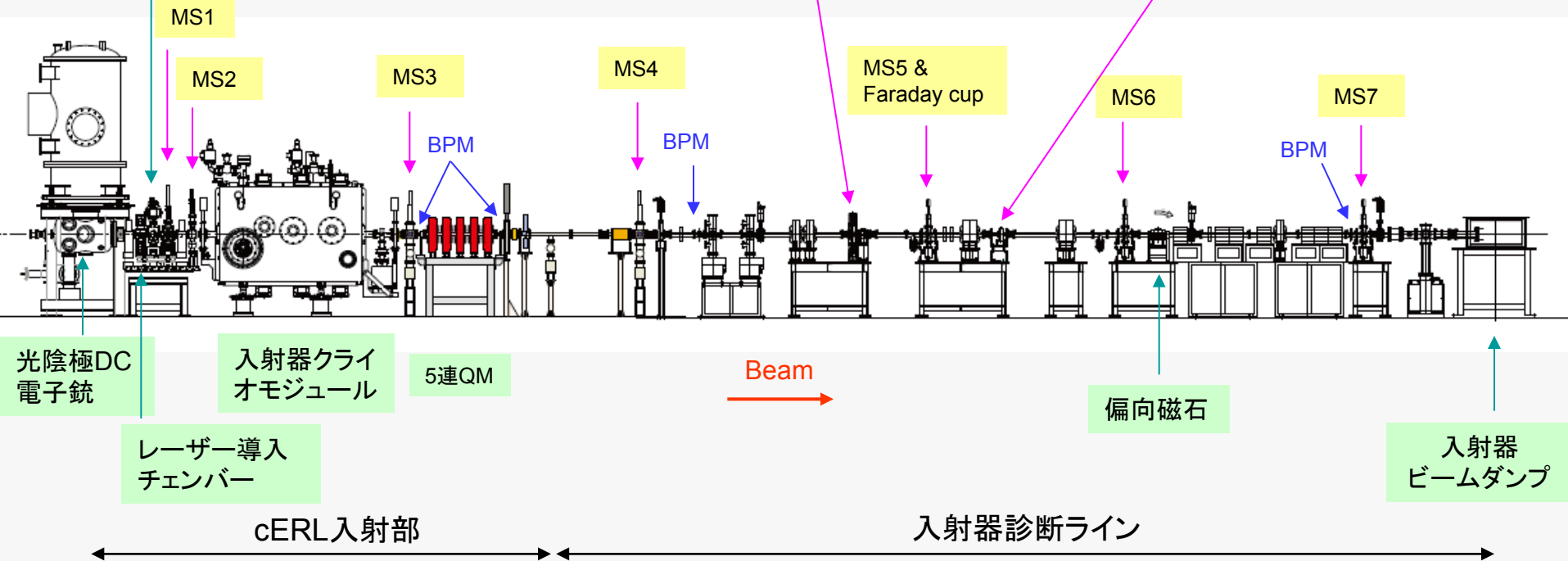
スクリーンモニター
(MS1 - MS7)



エミッタンス測定用
スリットスキャナー



バンチ長測定用
2.6 GHz 偏向空洞



入射部コミッショニングの課題

- ビームを5 MeVまで加速し、入射部ダンプまで輸送する
- CWビーム(最大1 μA)の加速、輸送
- 5 MeV, 0.2-0.3 μA で放射線レベルが問題ないこと
→ 施設検査に合格する
- ビームの6次元での性能評価
 - ビームエミッタンス(x, y)
 - バンチ長
 - 運動量広がり
- ビームの性能向上のための調整
 - 微少電荷
 - 大電荷
- 平均電流の増強(周回部へ入射時)

達成

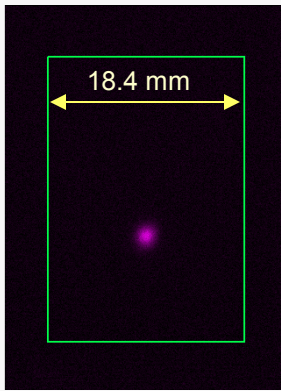
課題

入射部でのビーム加速に成功, T=5.6 MeV (2013年4月22-26日)

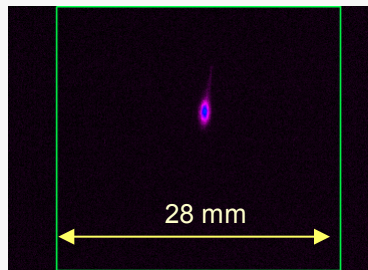
電子銃電圧: 390 kV
 入射器空洞: $E_{acc}=7.1$ MV/m
 マクロパルスビーム
 4月の最大電流: 200 nA

Bunch repetition rate	1.3 GHz
Macropulse widths	1 μ s or 1.6 ms (for high current)
Repetition of macropulses	5 Hz
Charge/bunch	Typically 20 fC

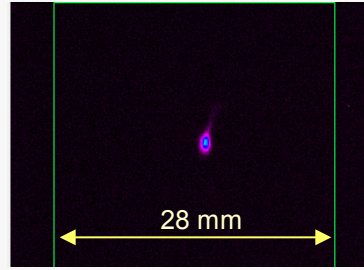
MS2
T=390 keV



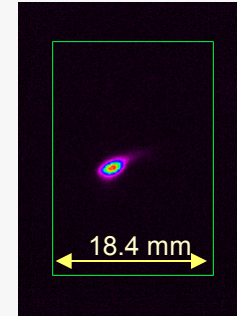
MS3
T~5 MeV



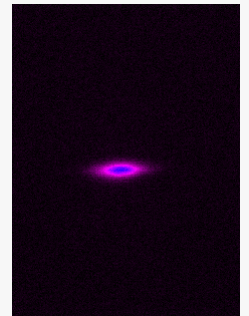
MS4
Accelerated beam



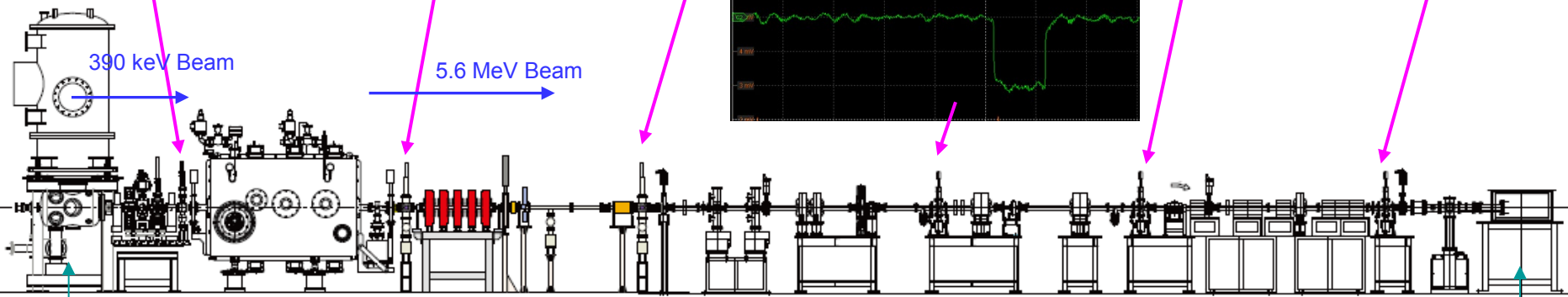
MS6
(before BM)



MS7 (after BM)
h=0.825 m



Beam-current signal at a faraday cup



390 keV Beam

5.6 MeV Beam

Photo-cathode DC gun

Injector cryomodule

Injector beam dump

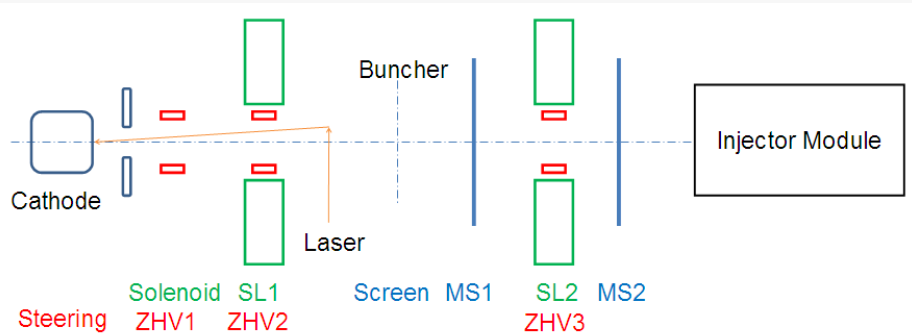
電子銃からのビームのエミッタンス (390 keV, 低バンチ電荷)

本田洋介他、第10回加速器
学会年会プロシーディングス、
SUP011

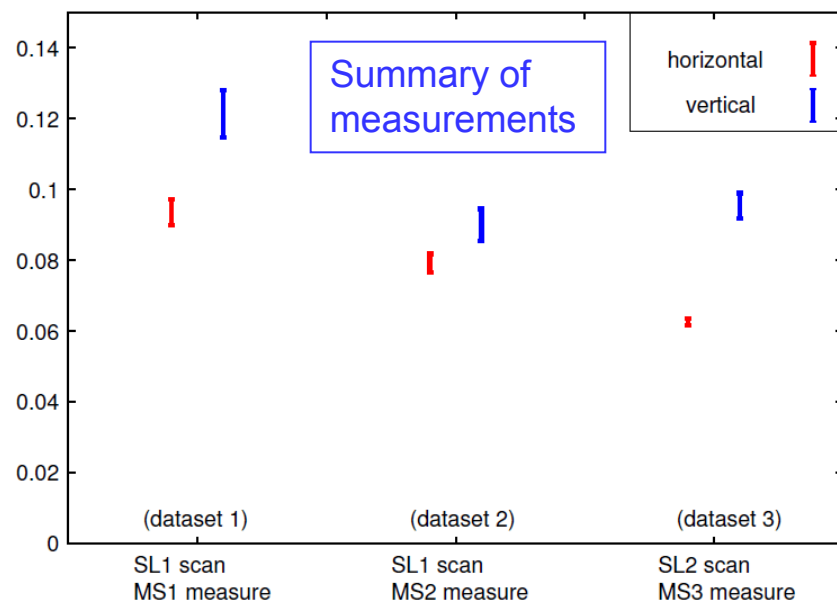
電子銃電圧: 390 kV, バンチ当たり電荷 ~10 fC

ソレノイドによるウェイストスキャン

$$k = \left(\frac{eB_0}{2mc\beta\gamma} \right)^2 \ell_{sol}$$

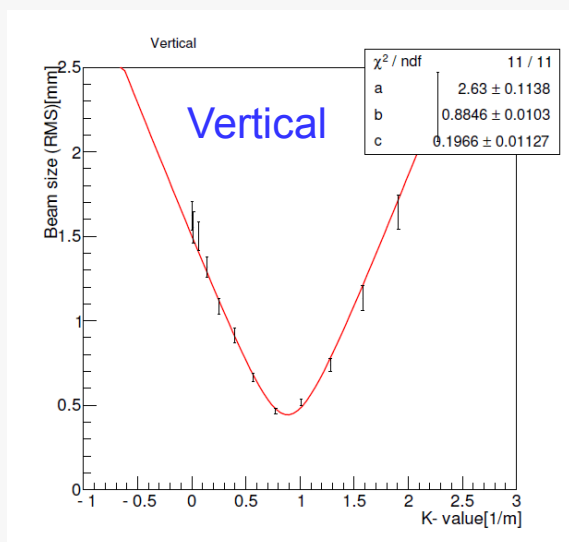
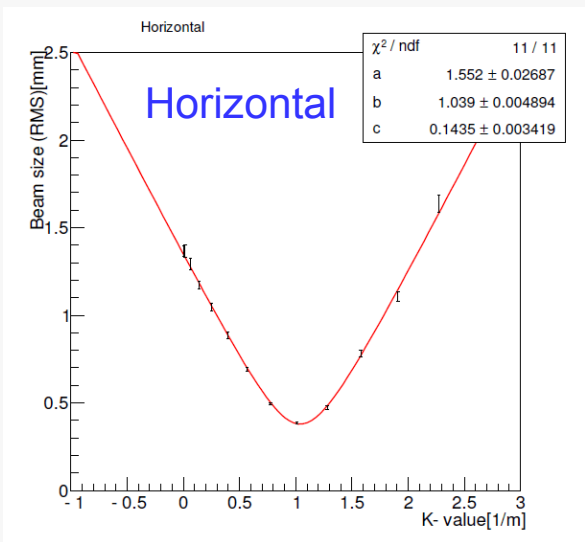


Normalized rms emittance ($\mu\text{m}\cdot\text{rad}$)



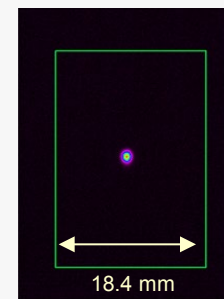
3通りの測定

ウェイストスキャンの例 (SL2をスキャン、MS3で測定)



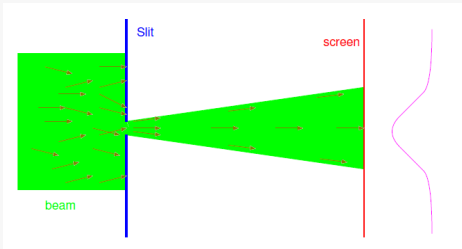
規格化エミッタンス:
 $\epsilon_n \approx 0.07 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$
(at T = 390 keV)

スクリーンMS1での
典型的なビーム
プロフィール

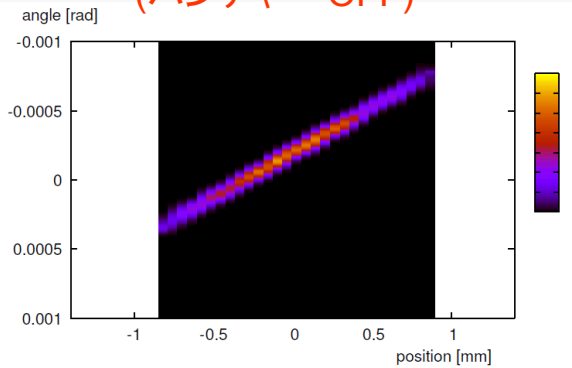


入射部で加速したビームのエミッタンス(T=5.6 MeV, 低バンチ電荷)

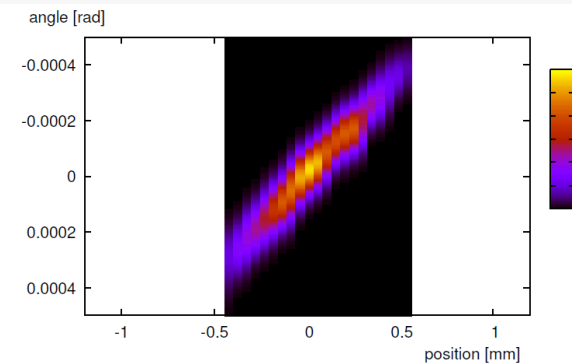
スリットスキャン法



電荷: 0.02 pC/bunch
(バンチャー OFF)

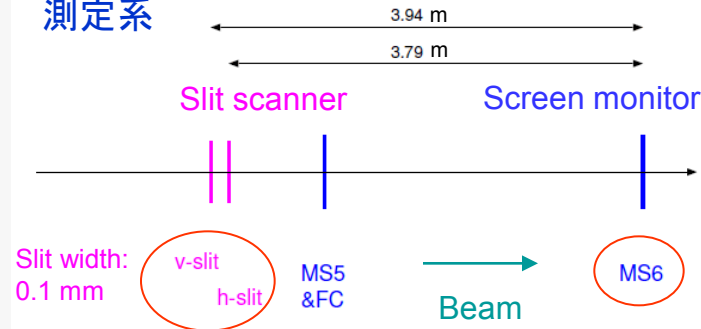


Horizontal phase-space distribution



Vertical phase-space

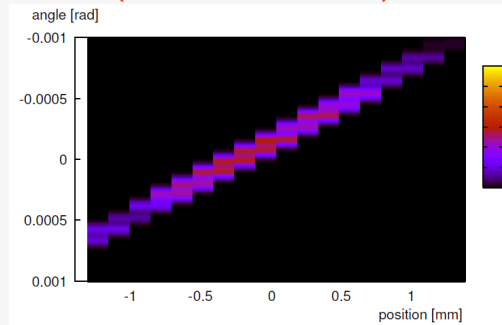
測定系



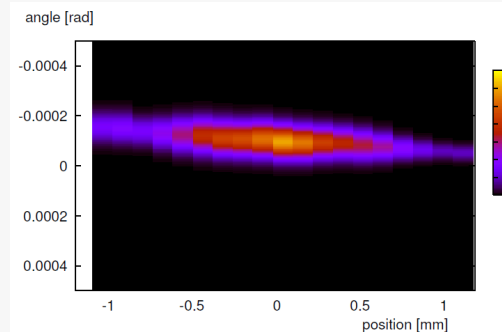
測定条件:

測定日: 2013年6月21日
RF位相の細かい調整後
バンチャー: OFF or ON ($V_c=40$ kV)
レーザー: 短パルス (~3 ps rms)
バンチ当たりの電荷: 0.02, 0.77 pC

電荷: 0.77 pC/bunch
(バンチャー OFF)

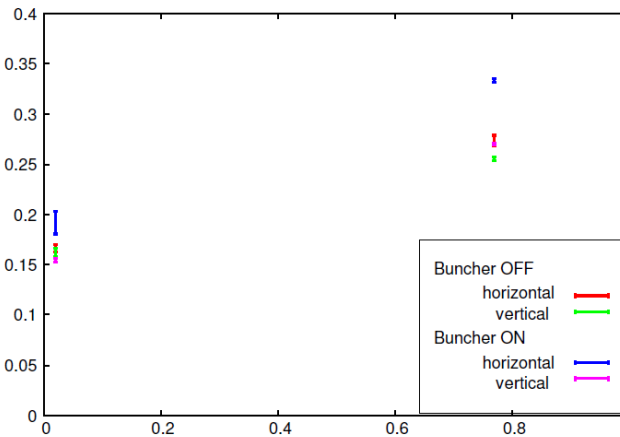


Horizontal phase-space



Vertical phase-space

Normalized rms emittance (mm·rad)



Charge/bunch (pC)

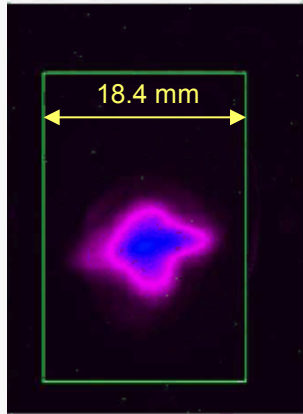
測定結果:

$\epsilon_n \approx 0.17 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ at 0.02 pC
 $\epsilon_n \approx 0.3 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ at 0.77 pC

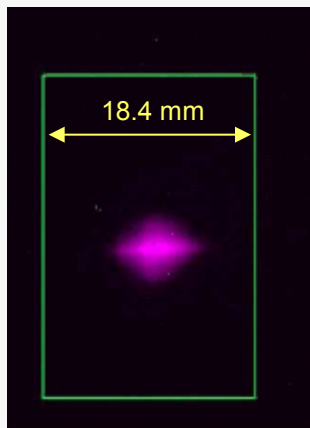
中バンチ電荷でのビームエミッタンス (中間結果)

(T=5.6 MeV, 7.7 pC/bunchまで)

スクリーンMS6での
ビームプロファイル



7.7 pC/bunch



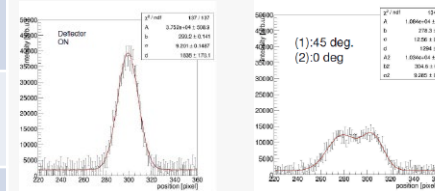
1.5 pC/bunch

測定条件

Meas. Date	Bunch charge (pC)	Width of laser pulse	Buncher Vc (kV)	Solenoids (SL1, SL2)
21-June-2013	0.02, 0.77	3 ps (rms, Gaussian)	40	7.8/8.7, 3.0
26-June-2013	3.1, 7.7	3 ps (rms, Gaussian)	50	8.3, 4.99
28-June-2013	1.5, 7.7	16 ps (FWHM, semi-flat)	50	8.3, 4.99

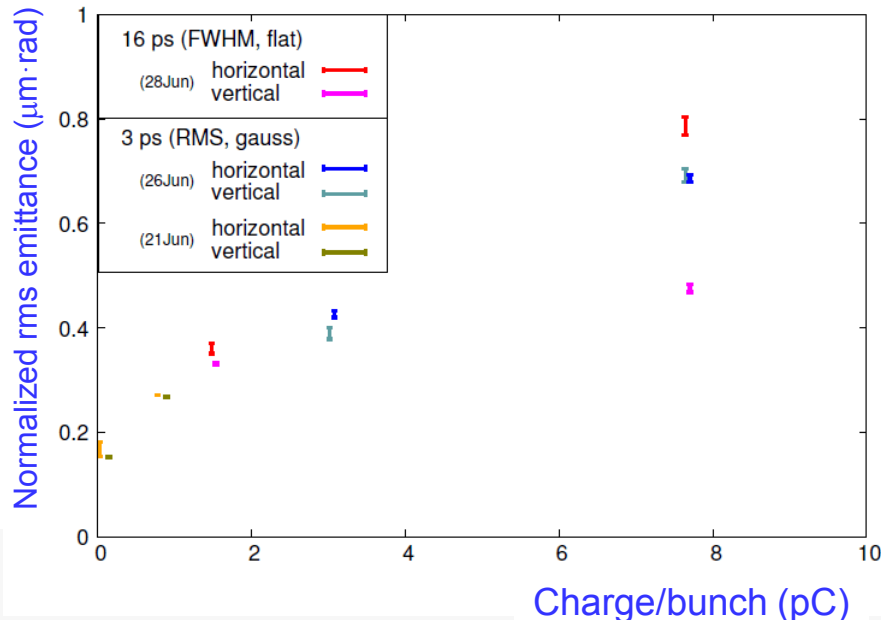
バンチ長

3-ps laser



16 ps
semi-flat

Summary of measurements



規格化エミッタンス (現時点):
 $\epsilon_n \approx 0.8 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ at 7.7 pC
 (今後さらに調整する)

コメント:

- 非軸対象なビームプロファイルが得られた (原因は未だ理解していない)
- 今のところ、レーザーパルス幅を伸ばしても、ビームエミッタンスはあまり小さくなっていない。
- レーザーパルス幅にはあまり依存しない。
- 電子銃電圧 (390 kV) を設計値 (500 kV) まで上げれば、改善される可能性あり

ビーム調整 (パラメータ最適化) はまだ途中段階

cERL運転統計(1): 2013年4月~6月 入射部コミッショニング

月	加速器運転時間 ¹⁾ (hours)	ビームON時間 ²⁾ (hours)	ヘリウム冷凍機運転時間 (hours)
入射部コミッショニング (2013年4-6月)			
2013年4月	92	24	185
2013年5月	111	70	291
2013年6月	157	106	315
小計	360	200	791

1) (LIMIT状態)または(KEEPOUT状態)の合計時間。運転準備・エイジングを含む運転時間

2) (KEEPOUT状態)かつ(電子銃HV ON)かつ(電子銃レーザーON)の時間

入射部コミッショニングの結果 (2013年4月-6月)

パラメータ	達成された値	目標値	達成度
ビームの運動エネルギー T	5.6 MeV (typ.), 5.9 MeV (max.)	5 MeV (typical)	OK
平均ビーム電流 I_0	300 nA (max.)	当初申請値: 1 μ A 周回部で段階的に増強	初期段階
電子銃電圧 V_{gun}	390 kV (typ.)	500 kV	もう少し
入射器空洞での加速勾配 E_{acc}	7 MV/m (typ.)		OK
電子銃ビームの規格化エミッタンス (微小電荷)	$\approx 0.07 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (@~10 fC/bunch, T=390 keV)	0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	OK
加速ビームの規格化エミッタンス (微小電荷)	$\approx 0.17 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (@0.02 pC/bunch, T=5.6 MeV)	0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	OK
加速ビームの規格化エミッタンス (中電荷)	$\approx 0.8 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (@7.7 pC/bunch, T=5.6 MeV)	$\leq 1 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (当面) 0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (挑戦的)	OK まだまだ
加速ビームの規格化エミッタンス (大電荷)	未測定 (@77 pC/bunch)	1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	まだまだ
運動量広がり $(\sigma_p/p)_{\text{rms}}$	$< 10^{-3}$ (< 1 pC/bunch) (1.5 - 2.5) $\times 10^{-3}$ (@7.7 pC/bunch)	$\leq 10^{-4}$ (3 GeV ERLで)	加速すれば OKのはず
運動量ジッター $(\Delta p/p)_{\text{rms}}$	6×10^{-5}	$\leq 10^{-4}$ (3 GeV ERLで)	OK
バンチ長 σ_t	~ 2 ps (@1.5 pC) ~ 7 ps (@7.7 pC)	2 ps (typical)	大電荷が 課題

III. 周回部コミッショニングの概要 (2013年12月－2014年6月)

周回部コミッショニングの課題

- ビームを35MeVまで加速し、周回部を周回させ、減速してビームダンプに導く（実際には20 MeVで実施）
- CWビーム(最大10 μA)の加速、周回、減速
- 20 MeV, 2-3 μA で放射線レベルが問題ないこと
→ 施設検査に合格する
- ビームの6次元での性能評価(周回部)
 - ビームエミッタンス(x, y)
 - バンチ長
 - 運動量広がり
- ビームの性能向上のための調整
 - 微少電荷
 - 大電荷

赤色：課題、 黒色：達成

ビームの周回に成功 (E=19.9 MeV、微小電流)

ビーム損失は非常に小さい

Burst mode

~1us
(1300bunch)

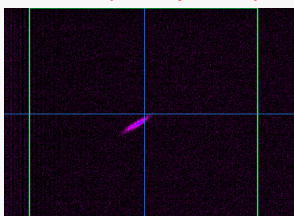
Beam pulses (macropulse)

- peak current: ~20 μ A (~ 20fC)
- macropulse width: 1.2 μ s
- repetition of bunches: 1.3 GHz
- repetition frequency: 5 Hz
- average beam current: ~ 120 pA

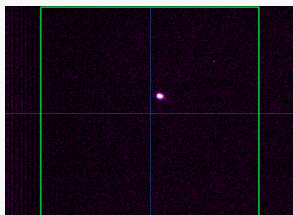
Dump FC



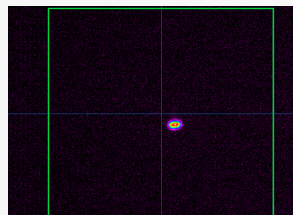
MS31 (dump line)



MS11



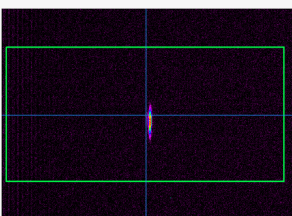
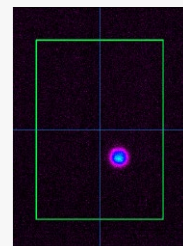
MS3



Gun FC (faraday cup)

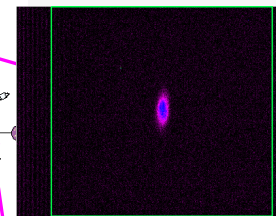
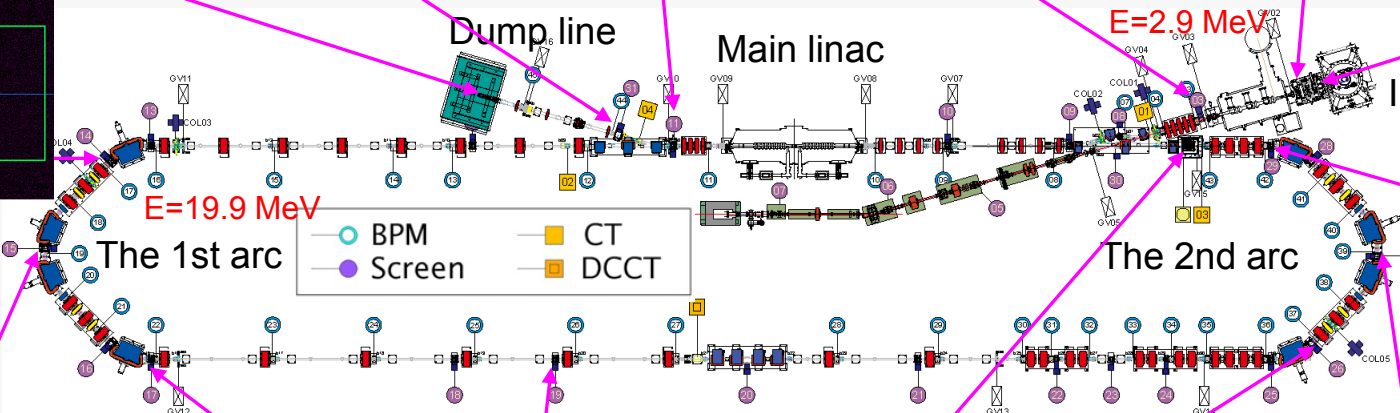


MS1

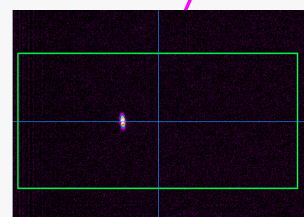


MS14

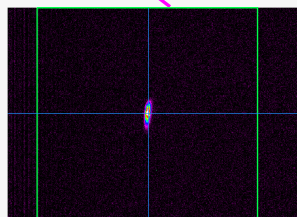
Beam profiles on screen monitors.



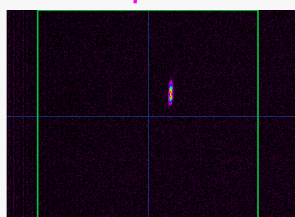
MS29



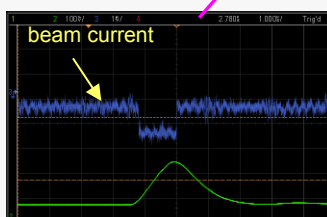
MS15



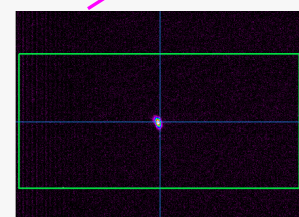
MS17



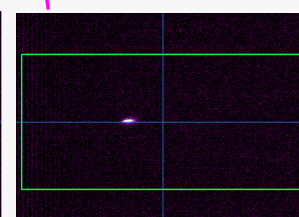
MS19



Movable FC



MS26



MS27

After several tuning:

- small beam profiles
- ~100% beam transmission to the dump
- short bunches (~ 500 fs)

CW 6.5 μA ビームの周回に成功。施設検査に合格 (最大26 MeV, 10 μA)

(2014年3月7日受検、3月12日付 合格)

cERLパラメータ (Mar. 14, 2014)

ビームエネルギー (E)

- 入射部: 2.9 MeV
- 周回部: 19.9 MeV

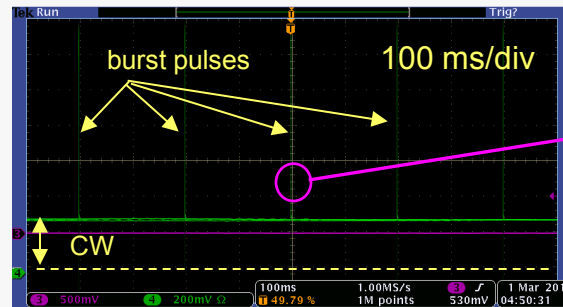
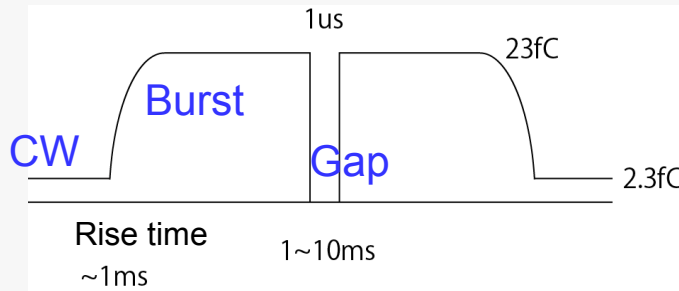
パラメータ:

- 電子銃電圧: 390 kV バンチャー: $V_c = 30.7$ kV
- 入射器空洞: $E_{acc} = (3.2, 3.3, 3.1)$ MV/m
- 主空洞: $V_c = (8.58, 8.59)$ MV

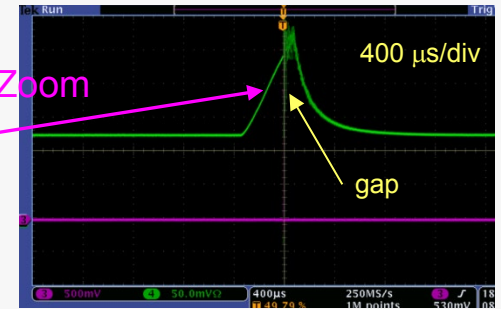
ビームの条件:

- CW (一部、ビーム診断のためのバーストビームを重畳)
- バンチ繰り返し周波数: 1.3 GHz

ビーム電流波形: CW + burst + gap

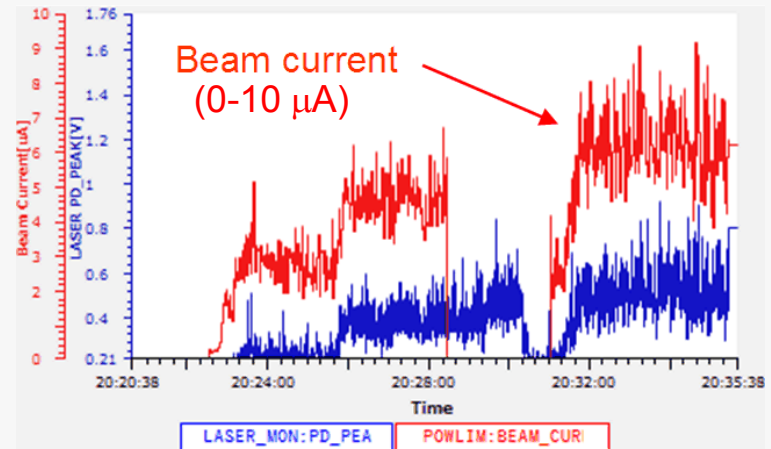
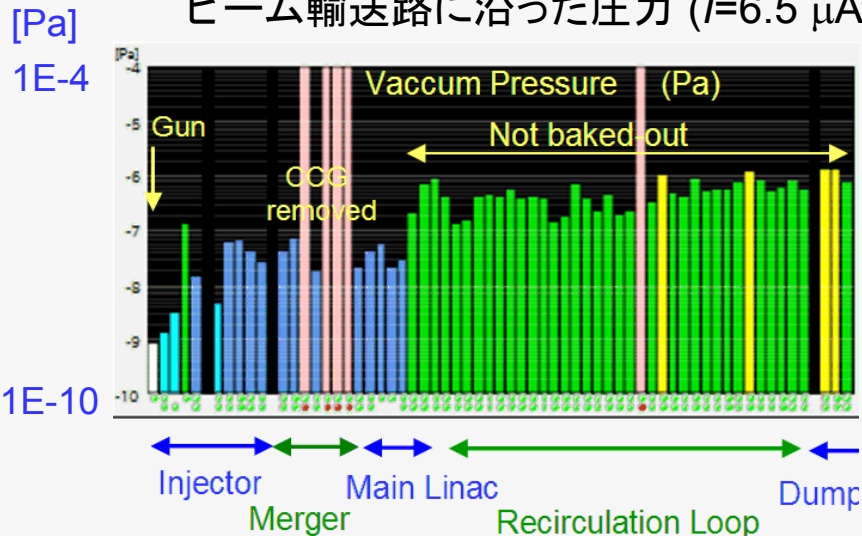


緑色のトレース: フォトダイオードで検出したレーザー波形



(notice: above two pictures were taken in different day)

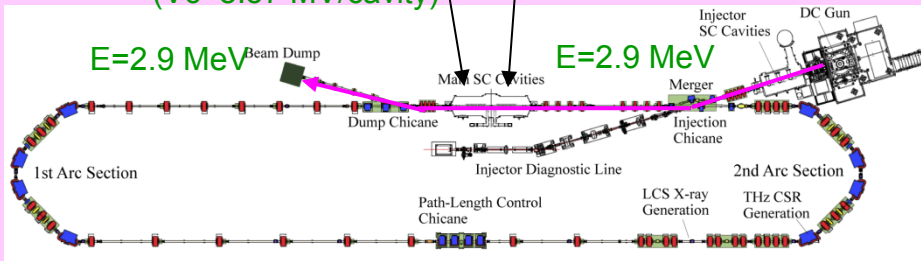
ビーム輸送路に沿った圧力 ($I=6.5 \mu\text{A}$)



主リニアックにおけるエネルギー回収のデモ (CWビーム、約6.5 μ A)

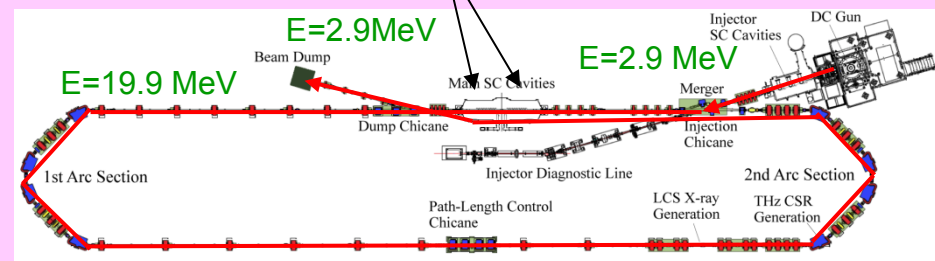
非ERL運転 (ビーム負荷あり)

空洞2: 減速 (Vc=8.57 MV/cavity)
 空洞1: 加速 (Vc=8.57 MV/cavity)

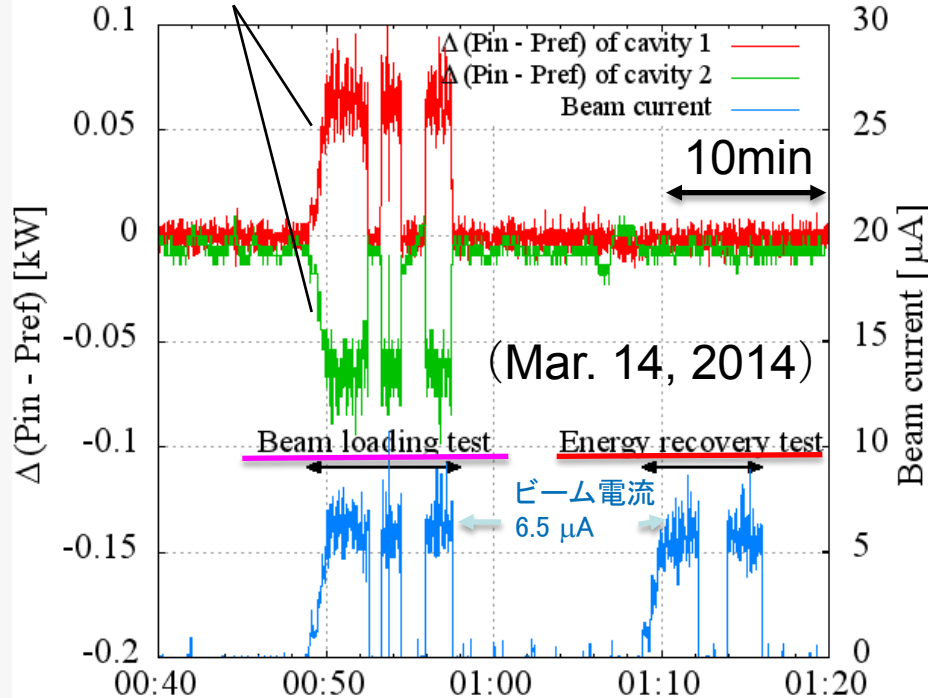


ERL運転 (ビーム負荷なし)

空洞1, 2共に: 加速 (1回目通過時)
 減速 (2回目通過時)

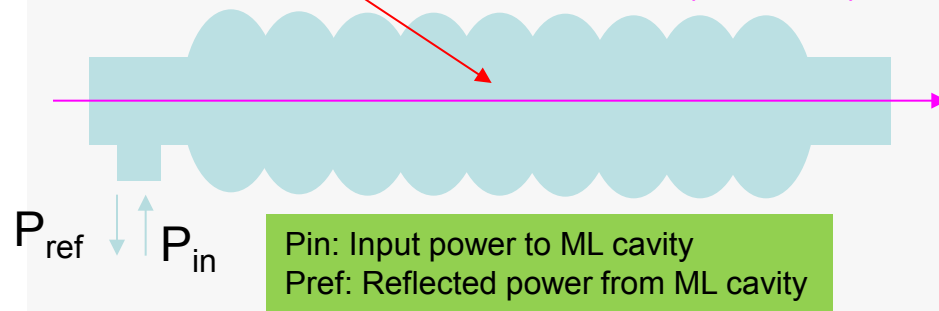


空洞で消費されたRF電力



Acc. Voltage : Vc=8.57MV

Beam current (I ~ 6.5uA)

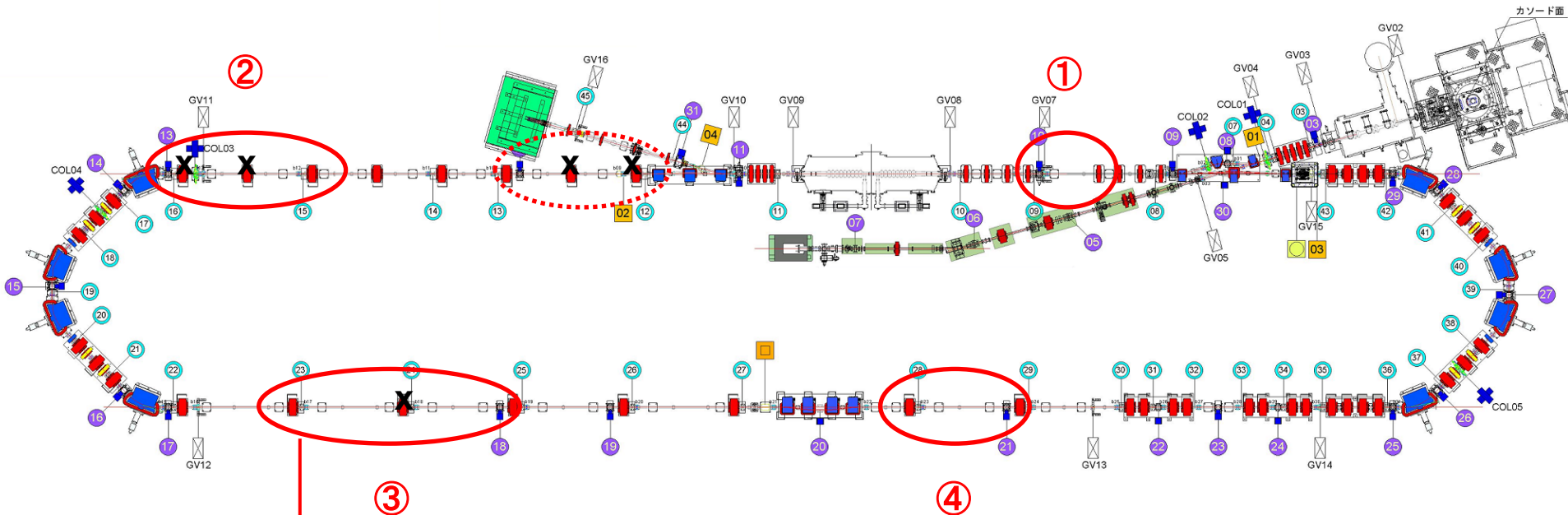


Pin: Input power to ML cavity
 Pref: Reflected power from ML cavity

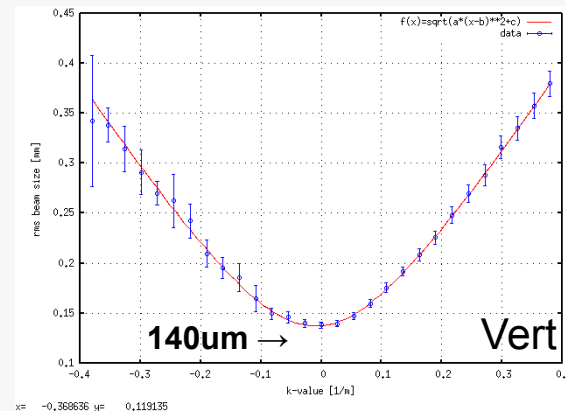
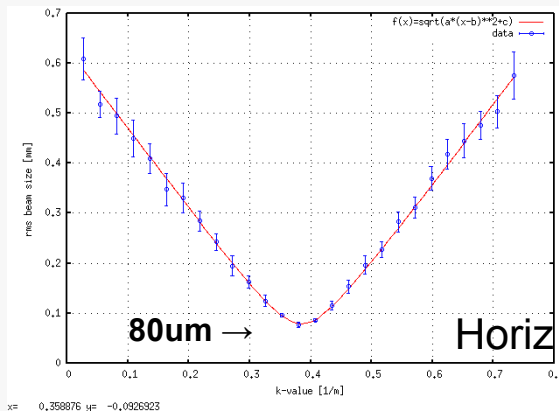
CW, 6.5mAビームでエネルギー回収時には、
 ビーム負荷はほぼゼロであった

エネルギー回収がなされているデモ

周回部におけるビームエミッタンスの測定(ウェイトスキャン法、**微小電荷**)



規格化エミッタンス: $\varepsilon_x = 0.140 \text{ mm-mrad}$, $\varepsilon_y = 0.136 \text{ mm-mrad}$
 (Bunch charge: 14 fC)



R. Takai

cERL運転統計(2): 2013年11月～2014年6月 周回部コミッショニング

月	加速器運転時間 ¹⁾ (hours)	ビームON時間 ²⁾ (hours)	ヘリウム冷凍機運転時間 (hours)
コンパクトERLコミッショニング (2013年12月～2014年6月) * 2013年11月は超伝導空洞のコンディショニングを実施			
2013年11月	59	0	489
2013年12月	113	36	480
2014年1月	49	11	418
2014年2月	211	121	672
2014年3月	113	71	345
2014年5月	120	52	590
2014年6月	190	115	480
小計	855	406	3474

1) (LIMIT状態)または(KEEPOUT状態)の合計時間。運転準備・エイジングを含む運転時間

2) (KEEPOUT状態)かつ(電子銃HV ON)かつ(電子銃レーザーON)の時間

周回部コミッショニングの結果 (2013年12月-2014年6月)

パラメータ	達成された値	目標値	達成度
周回部での全エネルギー E	19.9 MeV	35 MeV	まだ
入射エネルギー(周回時) E_{inj}	2.9 MeV	5 MeV	まだ
平均ビーム電流 I_0	6.5 μ A(定常)、10 μ A(瞬間)	当初: 10 μ A 目標: 10 mA	OK まだまだ
主空洞での加速勾配 E_{acc}	8.2 MV/m	15 MV/m	まだまだ
周回部での規格化エミッタンス (微小電荷)	$\approx 0.14 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (@ ~ 14 fC/bunch)	0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	OK
周回部での規格化エミッタンス (小電荷)	未測定? (@0.77 pC/bunch)	0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	
周回部での規格化エミッタンス (中電荷)	$\sim 5.8 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (@7.7 pC/bunch, $E=19.9$ MeV)	$\leq 1 \mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (当面) 0.1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$ (挑戦的)	まだ まだまだ
周回部での規格化エミッタンス (大電荷)	未測定 (@77 pC/bunch)	1 $\mu\text{m}\cdot\text{rad}$	まだまだ
運動量広がり $(\sigma_p/p)_{rms}$	未測定	$\leq 10^{-4}$ (3 GeV ERLで)	
運動量ジッター $(\Delta p/p)_{rms}$	未測定	$\leq 10^{-4}$ (3 GeV ERLで)	
バンチ長 σ_t	未測定	2 ps (typical)	

IV. cERL今後の課題

cERL今後の課題(1)短期

- レーザーコンプトン散乱実験の立ち上げ(ミッション)
- 測定できていないビーム特性の評価(周回部)
 - 大電荷でのエミッタンス(クロスチェック)
 - バンチ長
 - 運動量広がり
- ビームの性能向上のための調整
 - 大電荷での低エミッタンス化
- 入射部でのビーム性能評価(入射エネルギー: $E=2.9$ MeVにて)
 - 部分的には実施
- ビーム電流の段階的増強
 - 2015年1月以降、電流100 μ Aを実現し、施設検査
 - 次回申請で1 mA、次々回で10 mA を目指す
- 電子銃電圧の500 kV回復と、それによるビーム性能の向上

cERL今後の課題(2)中～長期

- レーザーコンプトン散乱X線源としての性能向上と利用
- 大強度テラヘルツ光源としての整備とユーザー利用
- 主空洞の性能回復(15 MV/m)
 - 周回部のエネルギー回復(35 MeV)
 - 入射エネルギー回復(5 MeV)によるビーム性能の向上
- ビーム電流100 mAに向けた増強
- 主空洞モジュール増設によるエネルギー増強

課題を克服するための対策と道筋(1)

課題	対策、道筋	備考
入射部		
大電荷での低エミッタンス化の調整	マシンスタディ 調整装置の追加(ソレノイド用ムーバー等) 高速エミッタンス測定器(コーネル方式?) 電子銃電圧500kV回復	要予算 要議論、要予算 2015年夏に予定
周回部		
ビームの6次元での性能評価	マシンスタディ 周回部バンチ長測定器?(偏向空洞?) 周回部エミッタンス測定器?(スリットスキャナー等) - waist scan とは別の方法(クロスチェック) - 高速測定が望ましい	要議論、要予算 要議論、要予算
バンチ圧縮時のバンチ長モニター ($\sigma_t < 1$ ps 対応)	高速バンチ長モニターの開発?(CSR利用など)	要議論、要予算
大電荷での低エミッタンス化	マシンスタディ 周回部・入射部のエネルギーアップ	見通し難しい
ビーム電流の増強(10 mAに向けて)	100 μ A \rightarrow 1 mA \rightarrow 10 mA と段階的に増強の予定 ビーム損失を下げる、損失場所の特定と追加遮蔽	10mA化にはダン プ増強が必要
主空洞の性能回復(15 MV/mに向け) それに伴うエネルギー35 MeV化	ヘリウムプロセス? 空洞モジュールの分解・洗浄・再組み立て?	リスク リスク、長期停止

課題を克服するための対策と道筋(2)

課題	対策、道筋	備考
中～長期的課題		
レーザーコンプトンX線源の活用	電流増強、調整 潜在ユーザーの掘り起こし 実験装置の整備 X線の高エネルギー化(ビームエネルギー増強必要)	要予算 見通し難しい
大強度テラヘルツ光源の整備と利用	期待される性能の評価。宣伝活動 潜在ユーザーの掘り起こし 大規模予算の獲得とビームライン・実験室の整備	要大型予算
ビーム電流100 mAに向けて (10 mA達成後)	入射器空洞Qex の検討、変更？ 高周波源の増強 主ビームダンプ交換 追加遮蔽 ...	要大型予算
クライオモジュール増設によるエネルギー増強	クライオモジュール開発、設置	要大型予算

Backup Slide

Tentative Layout of 3-GeV ERL

Assumptions:

- Beam energy
 - Full energy: 3 GeV
 - Injection and dump :10 MeV
 - XFEL-O: 6-7 GeV
- Circumference : ~ 1600 m
- Main linac
 - Eight 9-cell cavities in a cryomodule
 - 28 cryomodules (224 cavities)
 - Cavity acc. gradient : 13.4 MV/m
 - Triplet QMs between cryomodules
 - Total length : ~ 470 m
(average acc. gradient : 6.4 MV/m)
- TBA cells for ID's
 - 22 x 6 m short straight sections
 - 6 x 30 m long straight sections
- 300-m long straight section

