



SuperKEKB

概要と補足説明

Sep. 8, 2017 国内レビュー

Haruyo Koiso,

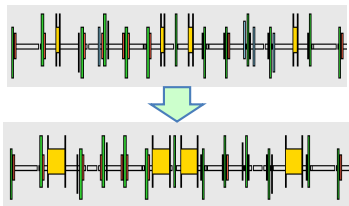
for the SuperKEKB Accelerator Group

<https://kds.kek.jp/indico/event/15914/>

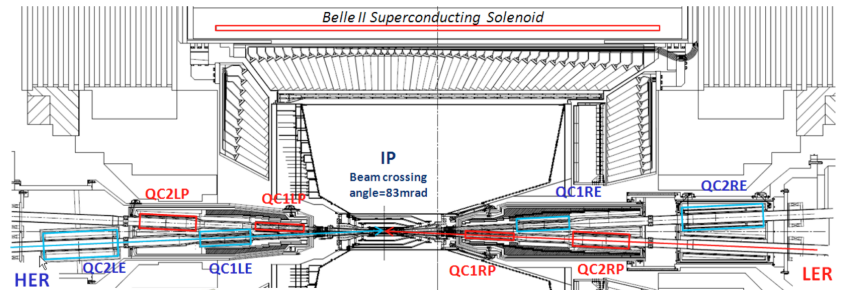
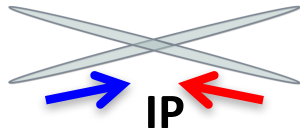
- Design Report ドラフト
- マシンパラメーター表
- Strategy of Phase 2 by 大西さん



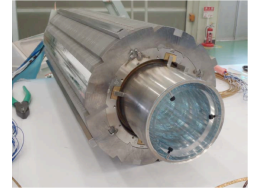
Redesign the lattice to squeeze the emittance (replace short dipoles with longer ones, increase wiggler cycles)



Colliding bunches



New superconducting final focusing magnets near the IP



LER
e⁺ 3.6 A
4 GeV

HER
e⁻ 2.6 A
7 GeV

SuperKEKB

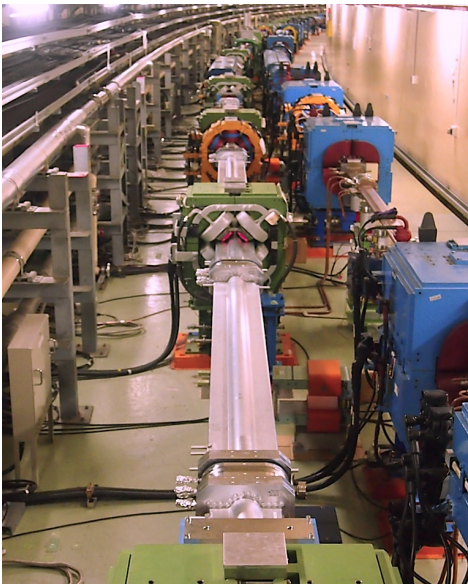
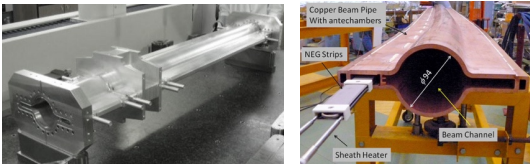
- ◆ Nano-Beam scheme
extremely small β_y^*
low emittance
- ◆ Beam current double

$$L = \frac{\gamma_{\pm}}{2e r_e} \left(1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \left(\frac{I_{\pm} \xi_{\pm y}}{\beta_y^*} \right) \left(\frac{R_L}{R_y} \right) \right)$$

40 times higher luminosity
2.1x10³⁴ --> 8x10³⁵ cm⁻²s⁻¹



Wiggler sections upgrade



Replace beam pipes with TiN-coated antechamber-type ones

Improve monitors and control system

Injector Linac upgrade
● RF electron gun
● improve e⁺ source

Injector Linac upgrade

New e⁺ Damping Ring



Reinforce RF systems for higher beam currents

SuperKEKB

Beam energy (LER/HER) : 3.5/8.0 GeV (KEKB) → **4.0/7.0 GeV** (SuperKEKB)

Luminosity gain
2倍

Beam current (LER/HER):
1.64/1.19 A (KEKB)
→ **3.6/2.6 A** (SuperKEKB)

Beam-beam parameter:
0.129/0.090 (KEKB)
→ **0.088/0.081** (SuperKEKB)

1倍

$$L = \frac{\overset{\text{Lorentz factor}}{\gamma_{\pm}}}{2e r_e} \left(1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \frac{I_{\pm} \xi_{\pm y}}{\beta_y^*} \left(\frac{R_L}{R_y} \right)$$

Classical electron radius
Beam size ratio
Geometrical reduction factors due to crossing angle and hour-glass effect

Geometrical reduction factors due to crossing angle and hour-glass effect

40倍

Luminosity:
 $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (KEKB)
→ **$80 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$** (SuperKEKB)

Vertical β at the IP:
5.9/5.9 mm (KEKB)
→ **0.27/0.3 mm** (SuperKEKB)

20倍

Challenging

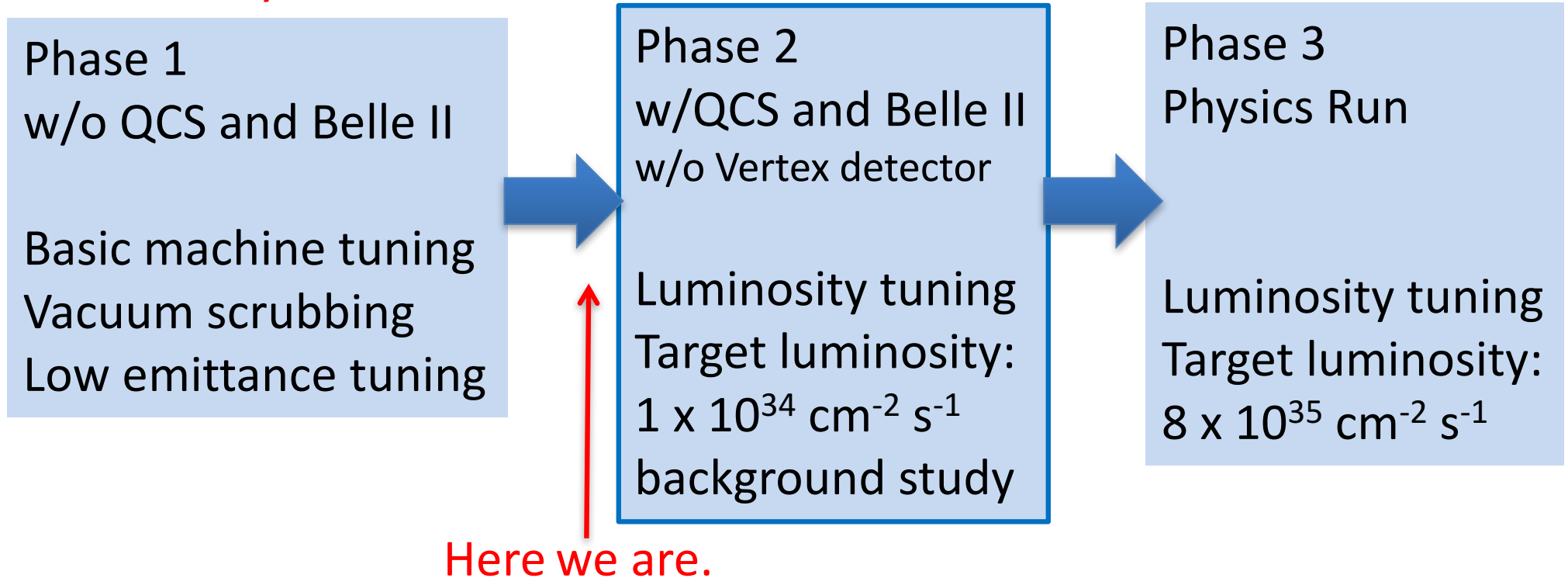
Beam Commissioning

Beam commissioning is being performed in three phases.

~5 months

Feb. - June 2016

successfully finished



QCS: final-focus superconducting magnet system

Parameter

	KEKB LER/HER	Phase 1	Phase 2 4x8	Phase 3
β_x^* (mm)	1200 / 1200	/	128 / 100	32 / 25
β_y^* (mm)	5.9 / 5.9	/	2.16 / 2.4	0.27 / 0.30
ε_x (nm)	18 / 24	2.0 / 4.6	2.1 / 4.6	3.2 / 4.6
ε_y (pm) , coupling	1498 / 1598	~ 10 / -	29.4 / 64.4, 1.4% (105 / 230, 5.0%)	8.64 / 12.9 (0.27% / 0.28%)
ξ_{ζ_y}	0.129 / 0.090	-	0.0484 / 0.0500 (0.0257 / 0.0265)	0.088/0.081
σ_y^* (μm)	0.94 / 0.94	-	0.25 / 0.39 (0.48 / 0.74)	0.048/0.062
I_{beam} (A)	1.64/1.19	1.01/0.87	1.0/0.8	3.6/2.6
N_{bunches}	1584	1576	1576	2500
Luminosity ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2.1	-	2 (1)	80

Nano-beam Scheme

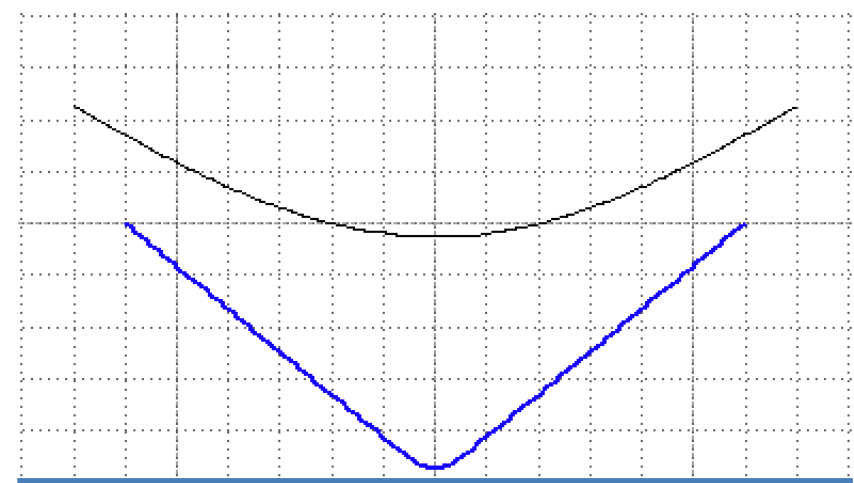
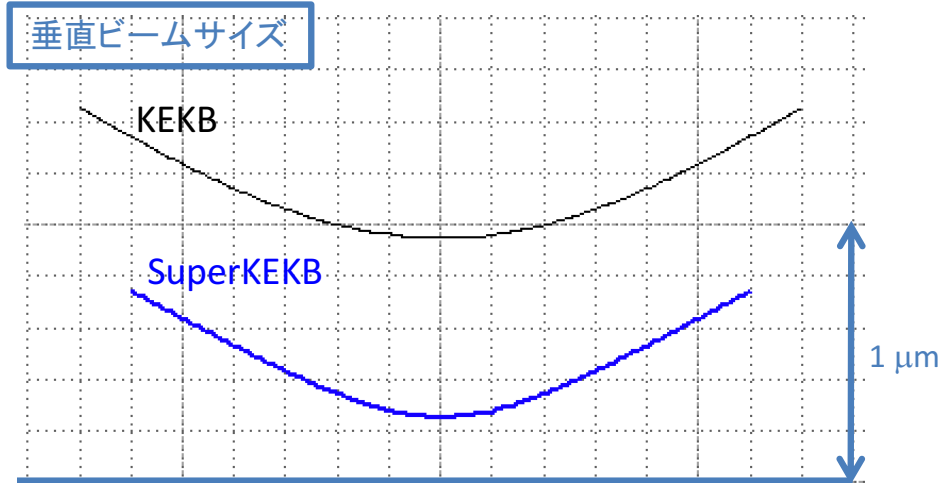
Phase 2 "4x8"

$\beta_x^* = 128 \text{ mm}$, $\beta_y^* = 2.16 \text{ mm}$
 $\epsilon_y = 29.4 \text{ pm}$ (coupling 1.4%)

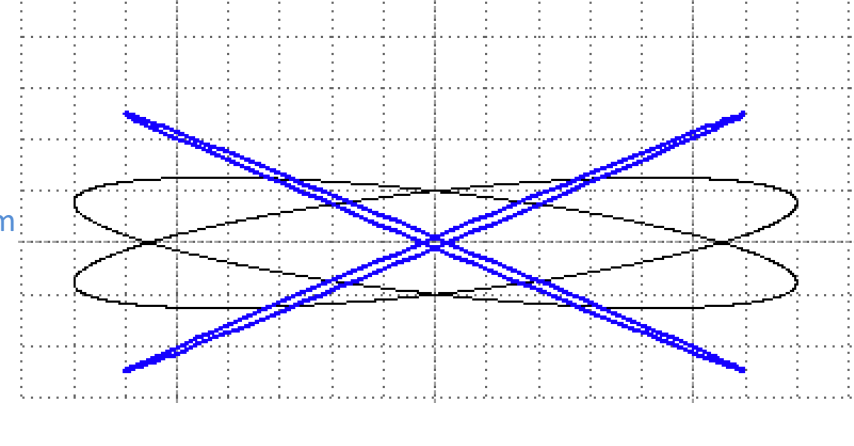
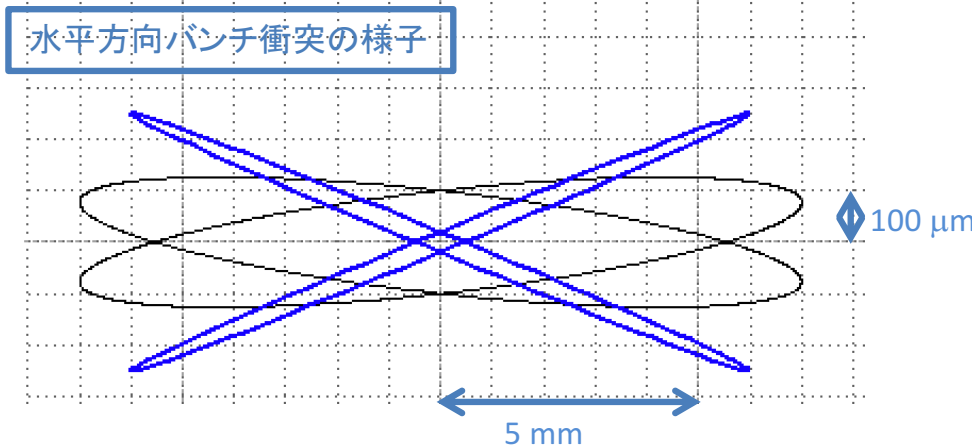
Phase 3

$\beta_x^* = 32 \text{ mm}$, $\beta_y^* = 0.27 \text{ mm}$
 $\epsilon_y = 8.64 \text{ pm}$ (coupling 0.27%)

垂直ビームサイズ



水平方向バンチ衝突の様子



SuperKEKB
 ・バンチはLERのパラメタで記述

KEKBは比較のため
 ・水平方向は有限交差角衝突の場合を記述
 ・垂直方向は21.08/nb/s 達成時の推定値($\sigma_y^* \sim 0.94 \mu\text{m}$)を記述

Phase-1 Commissioning

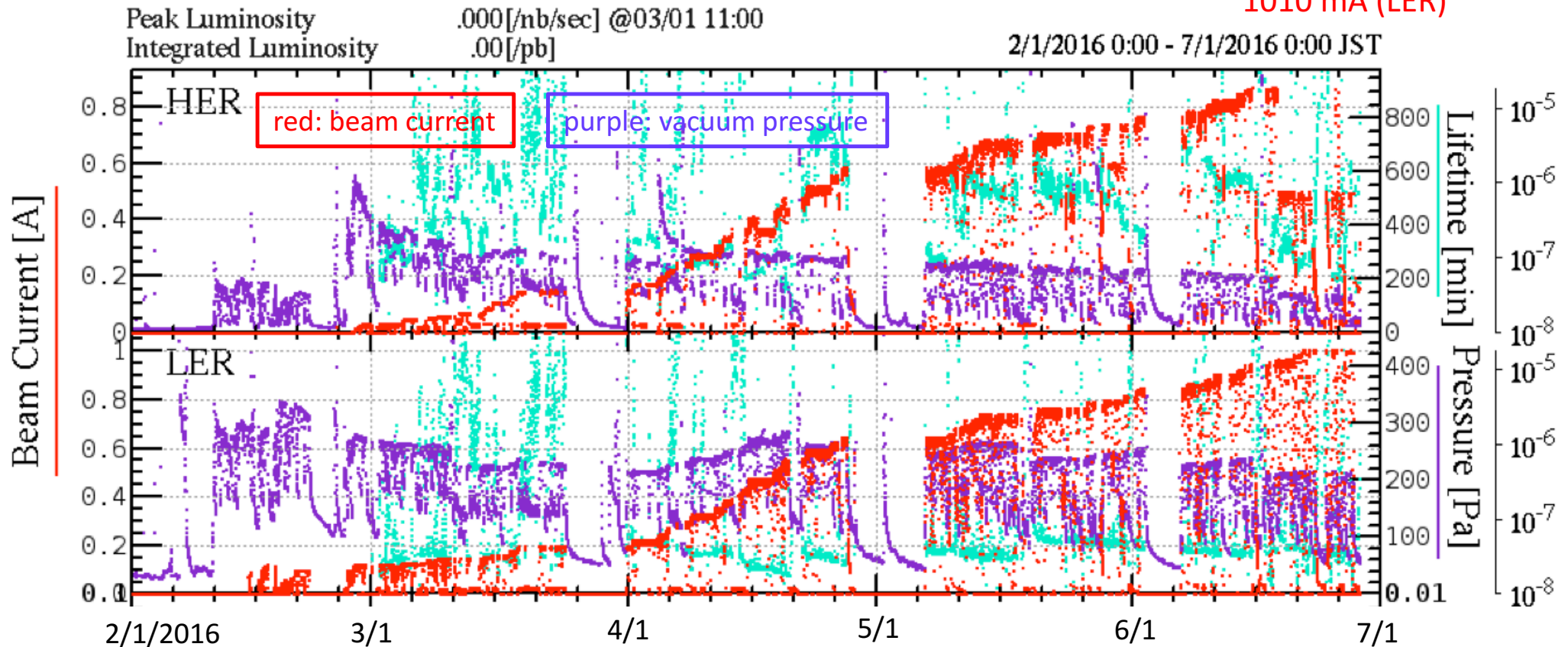
Phase 1 milestones: Feb. to June, 2016

- Feb. 1: BT tuning started
- Feb. 8: LER injection tuning started
- Feb. 10: beam storage in LER
- Feb. 22: HER injection tuning started
- Feb. 26: beam storage in HER

Tasks during phase 1 operation

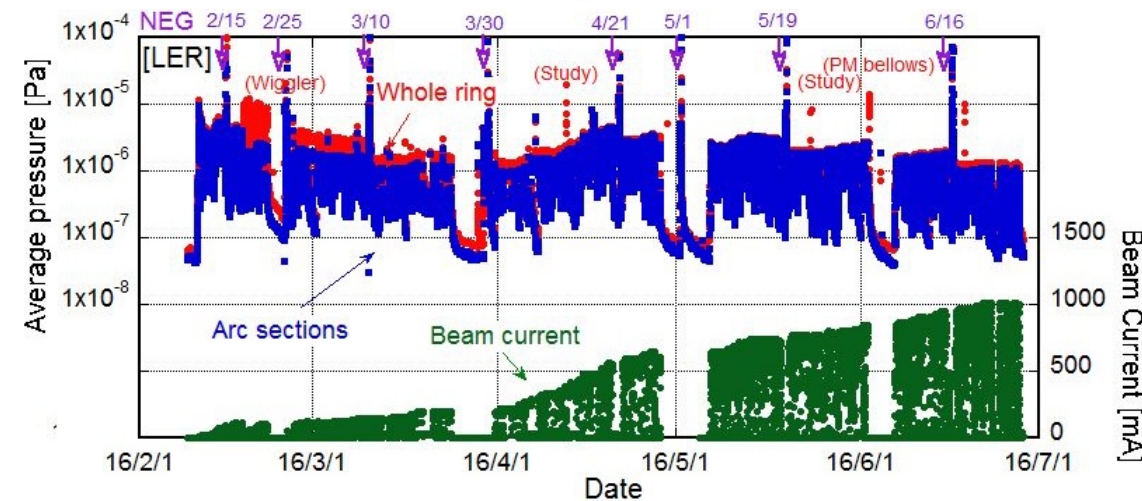
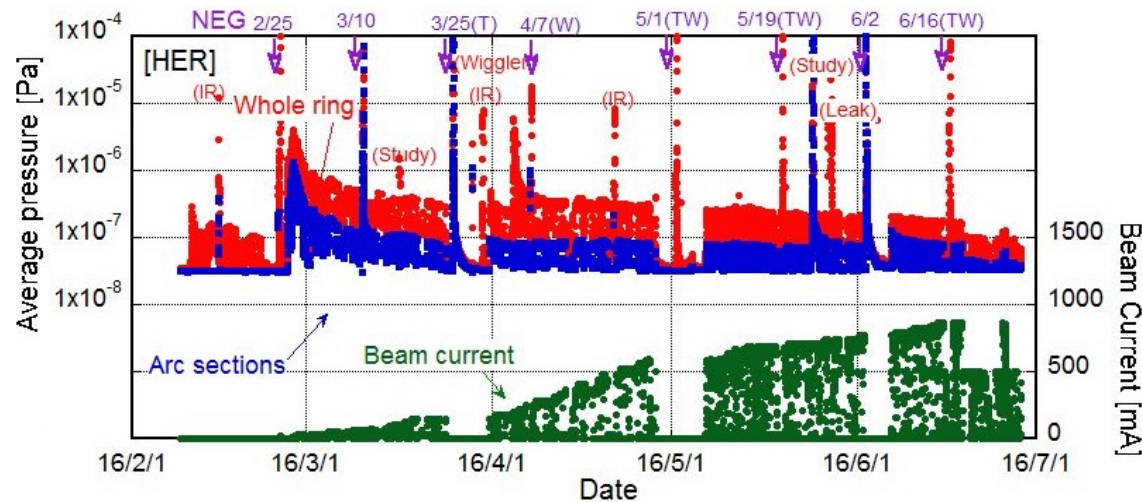
- Basic machine tuning
- Vacuum scrubbing
- Low emittance tuning
- Machine studies on electron cloud effect, beam background, etc.

Achieved beam current
870 mA (HER)
1010 mA (LER)



Vacuum Scrubbing

- The vacuum system worked well with newly introduced components.
- Integrated beam currents satisfied requirement for Belle II roll-in.



[HER]

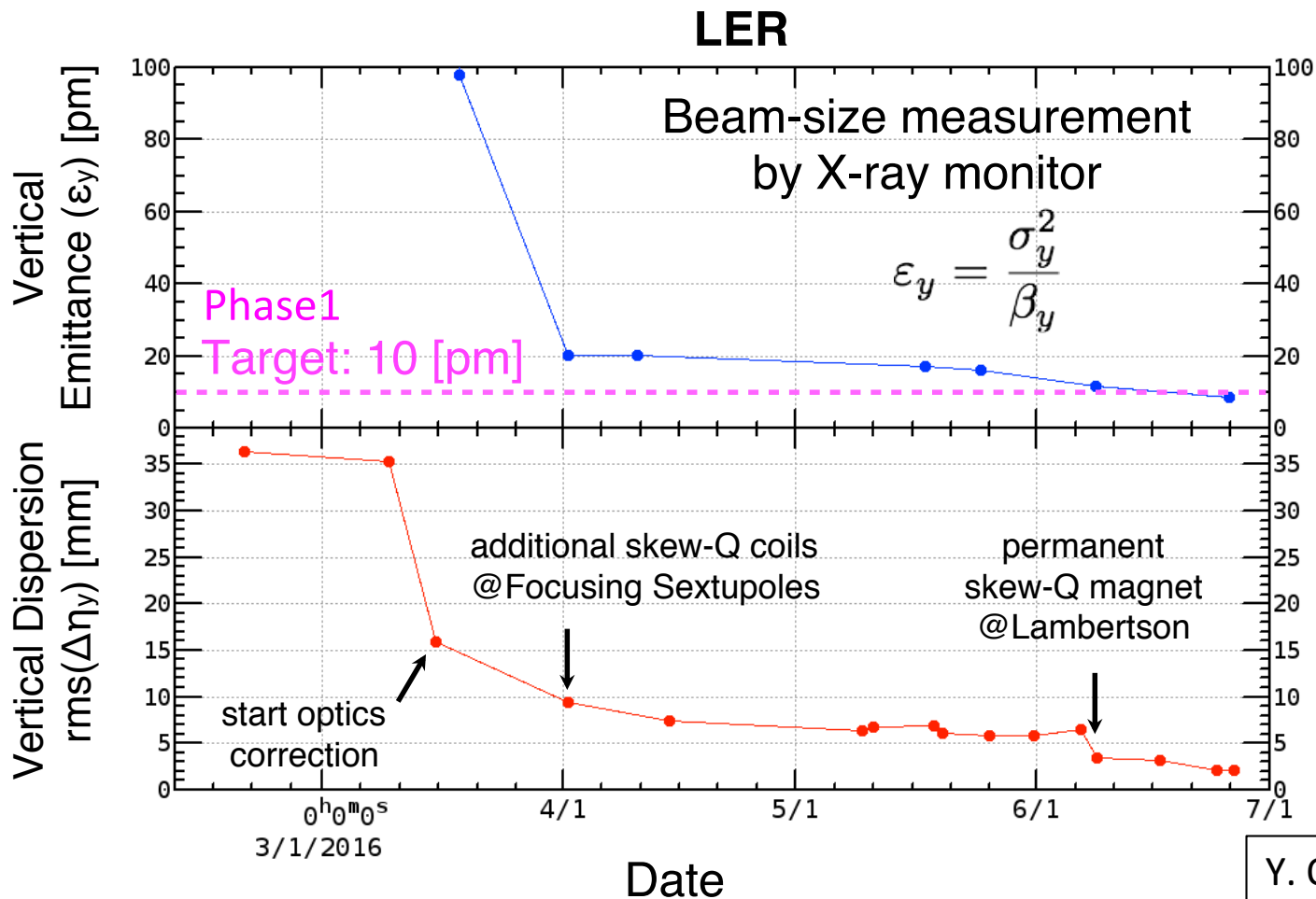
- Base pressure: $\sim 3 \times 10^{-8}$ Pa
- Max. beam current: 870 mA
- Int. beam current: 660 Ah
- Avg. Pressure: $\sim 2 \times 10^{-7}$ Pa (arc sections) $\sim 6 \times 10^{-8}$ Pa
- Lifetime ~ 400 min.

[LER]

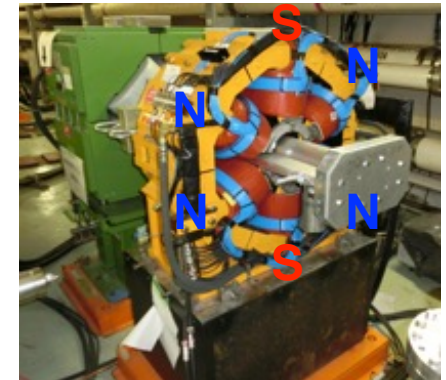
- Base pressure: $\sim 5 \times 10^{-8}$ Pa
- Max. beam current: 1010 mA
- Int. beam current: 780 Ah
- Avg. Pressure: $\sim 1 \times 10^{-6}$ Pa
- Lifetime: ~ 70 min. (with Emittance control Knob ON)

Low Emittance Tuning

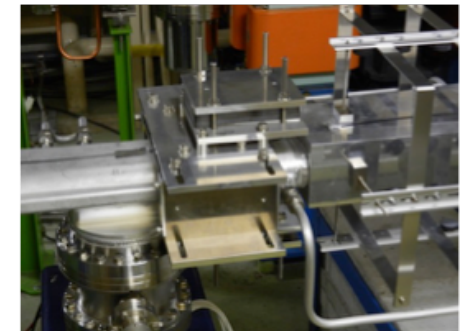
- Optics corrections have been worked successfully in both rings.
- Tentative target of vertical emittance has been achieved in LER.
- Measurements with X-ray monitor (XRM) give larger ε_y in HER.
 - More calibration of XRM and larger β_y at RXM in Phase-2.



skew-Q corrector coil on sextupole



permanent skew-Q to correct error field of Lambertson

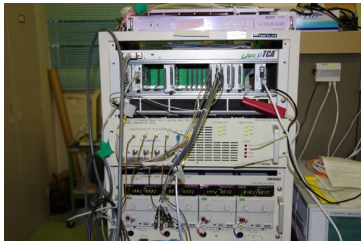




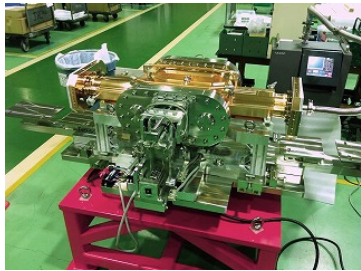
Renovation works for phase 2



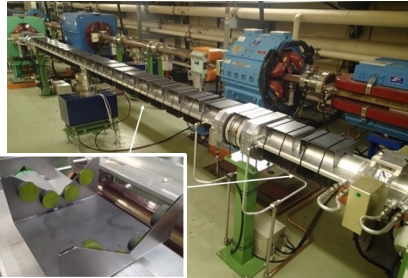
Collision feedback



Add collimators



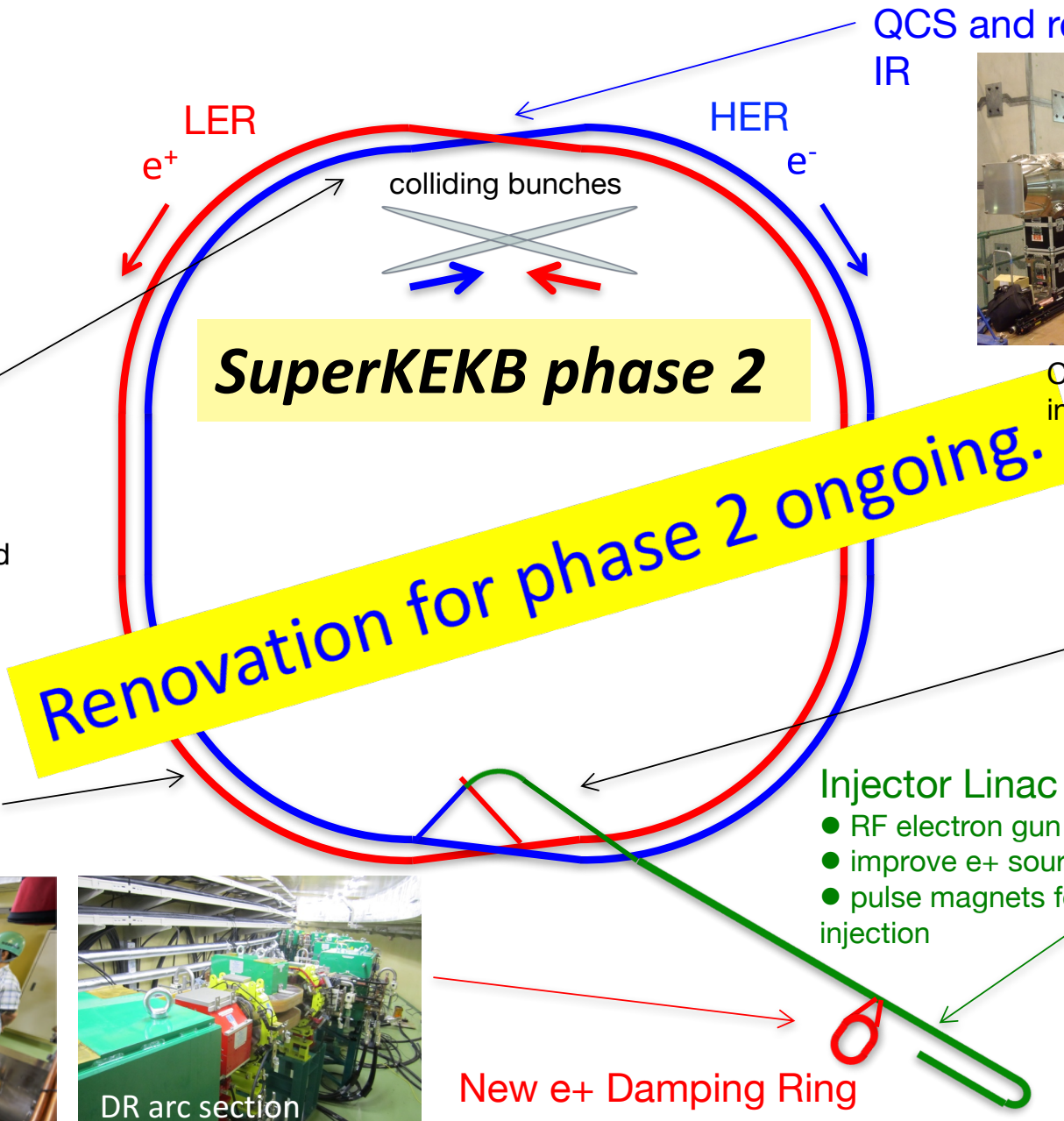
More mitigation for e-cloud



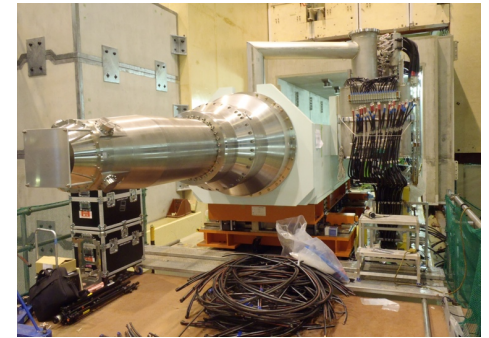
RF cavities for DR



DR arc section



QCS and related works at IR

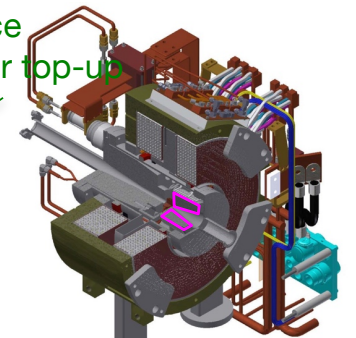


Change injection part for injection from DR



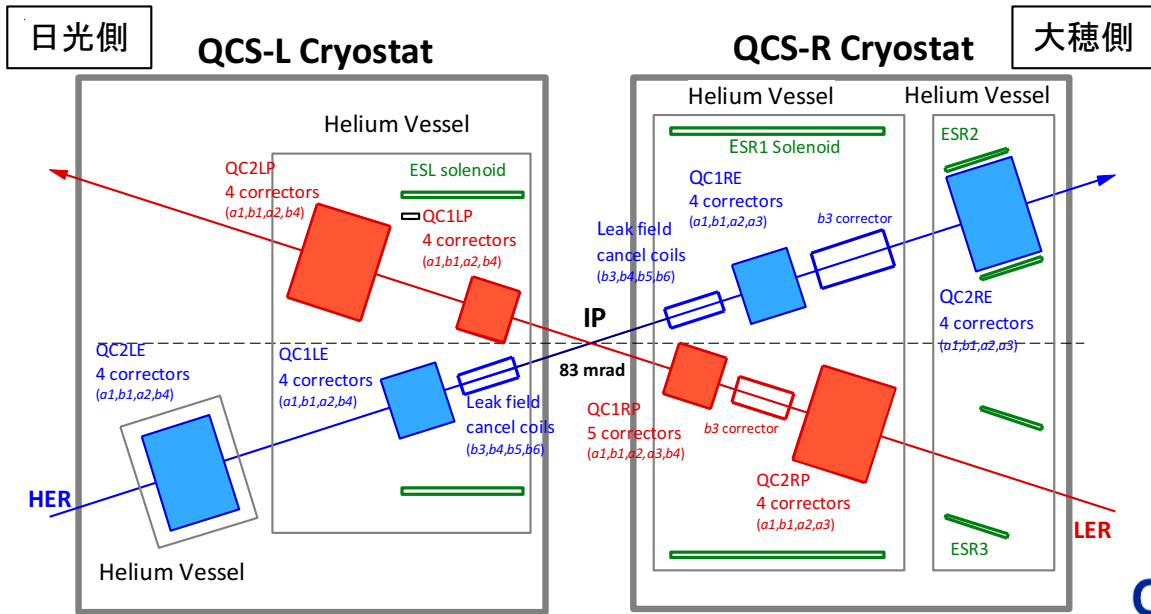
Injector Linac upgrade

- RF electron gun
- improve e^+ source
- pulse magnets for top-up injection



New e^+ Damping Ring

QCS system



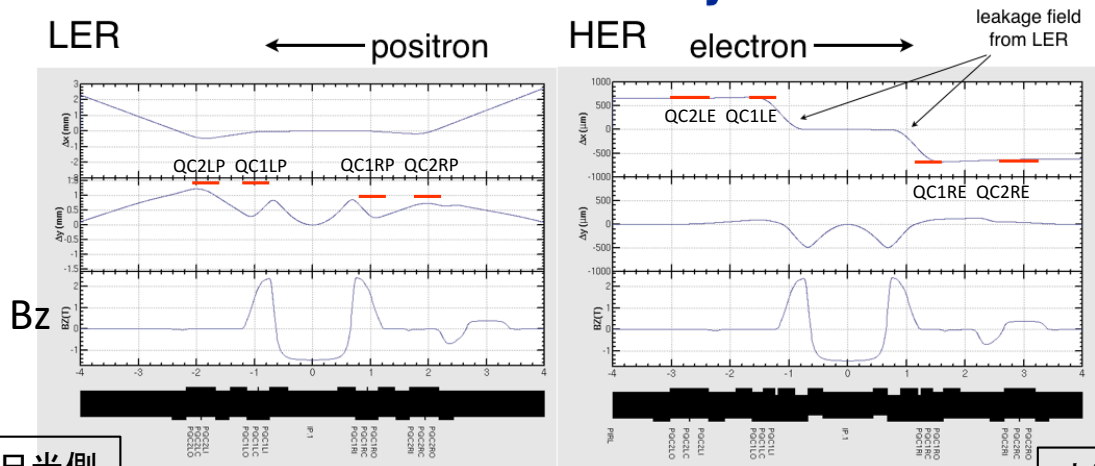
SC correctors: a1, b1, a2, a3, b3, b4
 SC leak field cancel magnets: b3, b4, b5, b6

設計で使用する2極補正コイルの磁場をできる限り小さくするためにQC1, QC2にオフセットを与えている。

Orbit in the vicinity of IP

Belle ソレノイド磁場

Bz 正方向



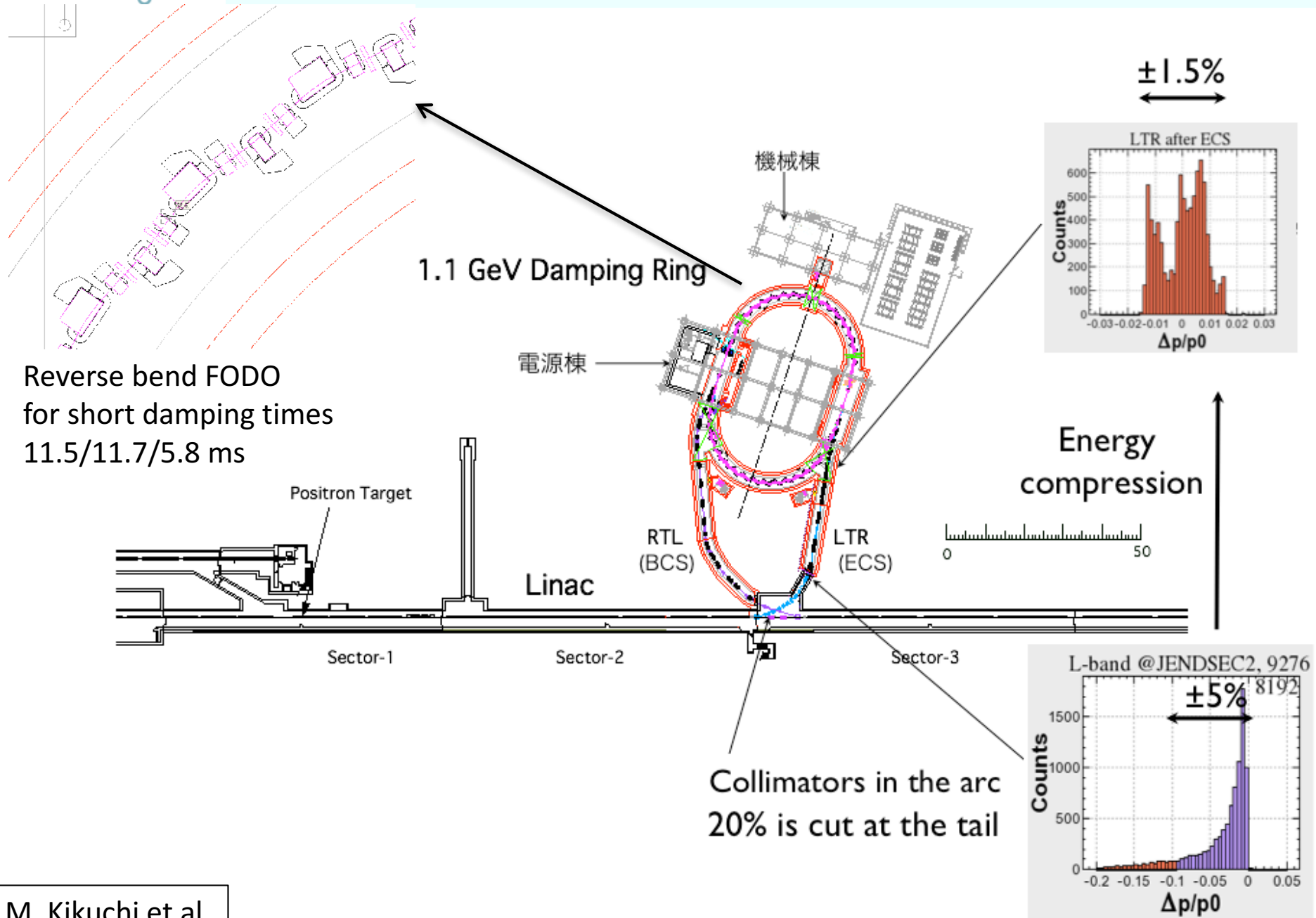
日光側

QC2LP DY= +1.5 mm
 QC1LP DY= +1.5 mm
 QC1RP DY= +1.0 mm
 QC2RP DY= +1.0 mm
 (+y means downward)

大穂側

QC2LE DX= +0.7 mm
 QC1LE DX= +0.7 mm
 QC1RE DX= -0.7 mm
 QC2RE DX= -0.7 mm
 (+x means outer of the ring)

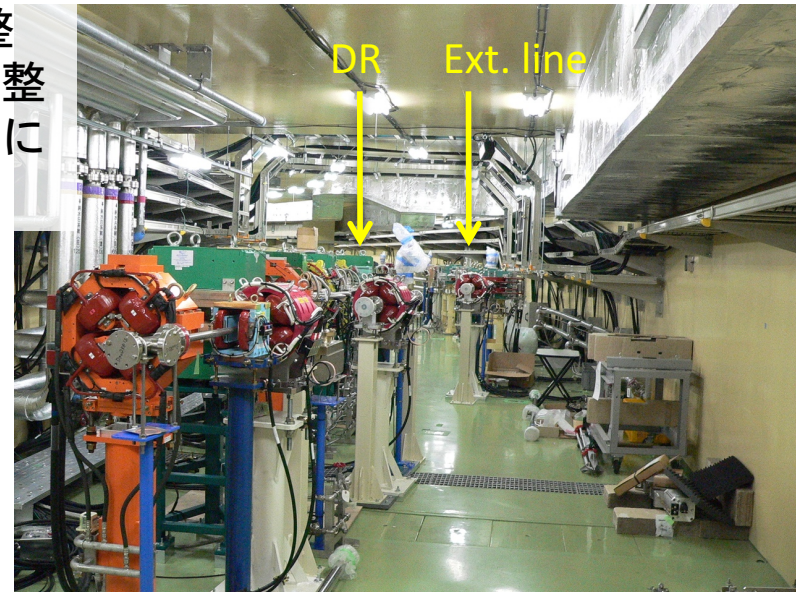
Positron Damping Ring



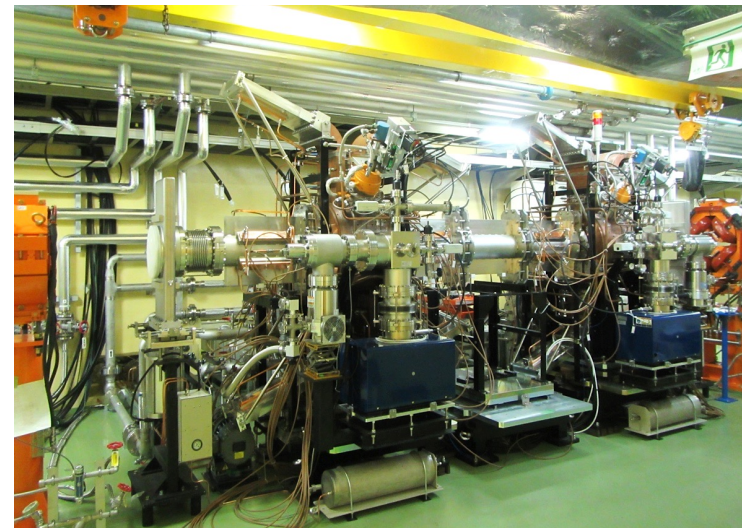
Positron Damping Ring

Installation phase-4	DR建設・立ち上げ調整は12月4日のビーム調整運転開始に向けて順調に進んでいる。
Beam pipes (ring) and vacuum pumps	
Magnets alignment (coarse)	
Cooling channels for magnets	
Beam pipes at BT and Linac side	
Installation of ECS and BCS cavities and waveguides	
Installation of septums and kickers	
Magnets alignment (fine)	
Adjustment of power supplies	
High power RF cavity conditioning	
High power conditioning of ECS and BCS accelerating units	
Evacuation of beam pipes	

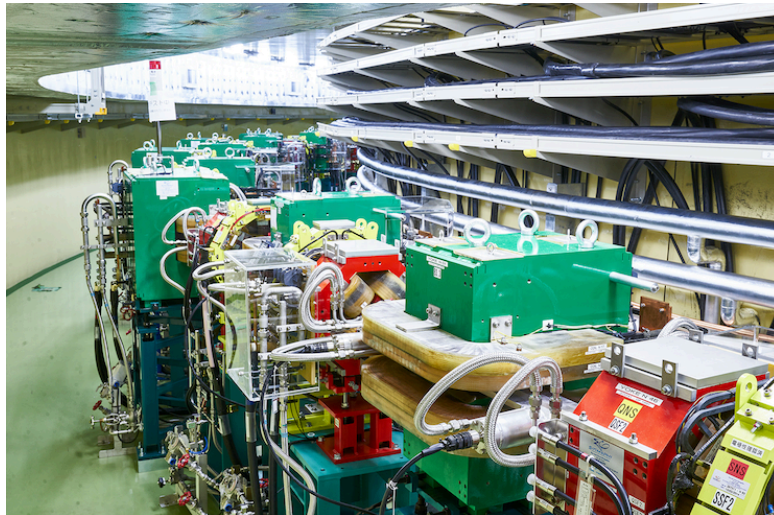
DR and the extraction line



RF system tuning with cavities started in Feb. 1.



Arc cells of DR

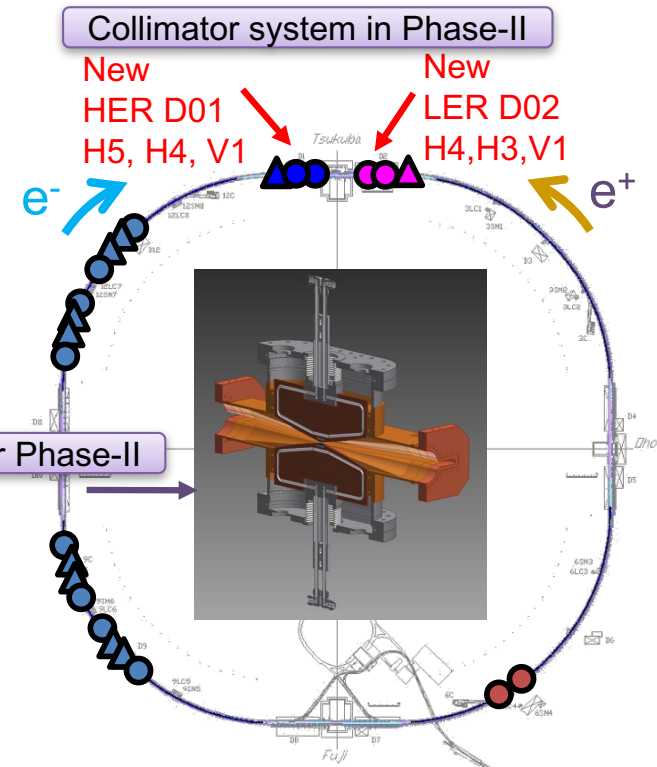




MR各種作業（衝突点以外） _ 1



- LER入射部、アポート部の改造
 - DRからの陽電子ビーム入射に変わるため、セプタムおよび近傍の機器を改造。
 - ビームサイズが小さく、かつビーム電流が高くなるため、アポートを改造。
- コリメータ増強
 - 新型コリメータのPhase 1試験結果を受け、量産5台を現在製作中、10月頃納品予定。Phase 2に必要な8台がそろろう。
 - コリメータ周辺の放射線遮蔽評価を受け、シールド製作を開始した。
- 電子雲対策の強化
 - Phase 2以降の電流増強に備えて、アークドリフト部（約1000m）への永久磁石の装着を昨年と今年で実施している。



Permanent magnets at drift space (with iron yoke)



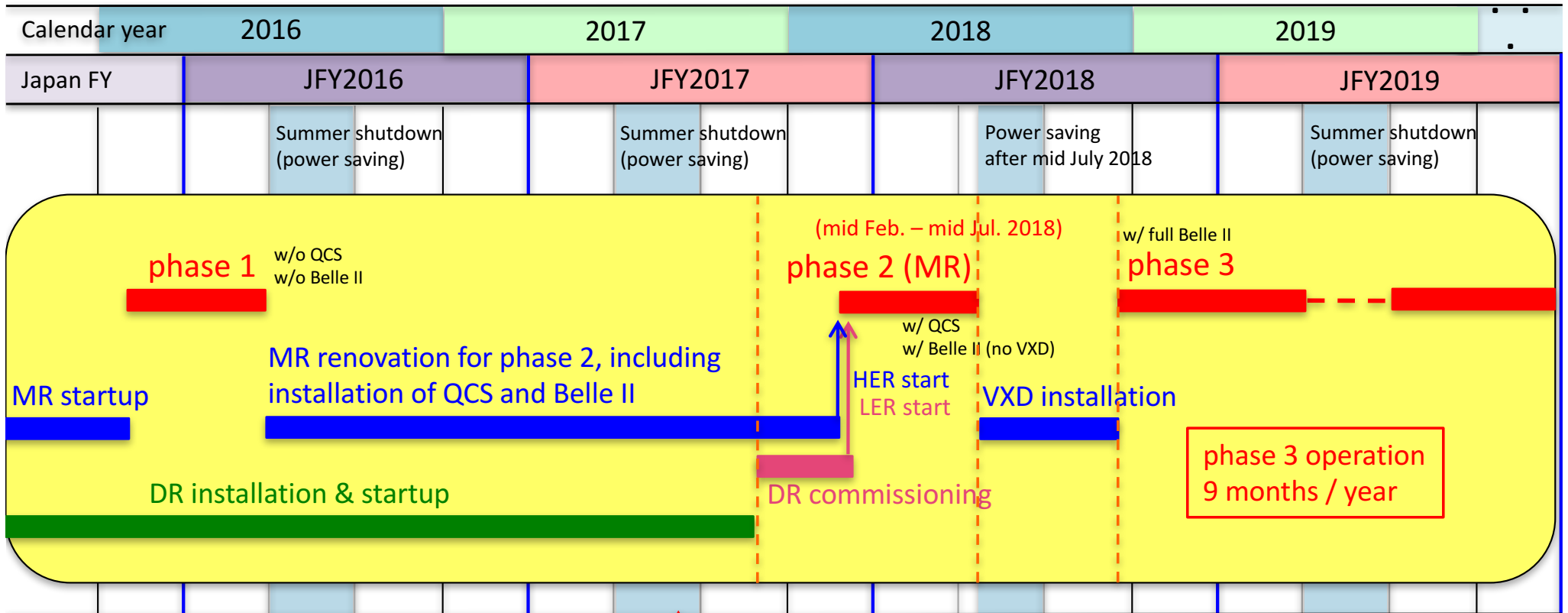


MR各種作業（衝突点以外）_2



- より高い信頼性、性能向上のための、加速器ハードウェアの適切な保守・改良：特に、
 - 電磁石電源
 - 電磁石アラインメント
 - 大電力RFシステム、加速空洞
 - 冷却システム
 - 制御システム、など。
- Phase 2 commissioning 運転のツール開発
 - 運転用ソフトウェア
 - タイミングシステム、など。
- 安全システムの改造
 - ダンピングリングやAR直接入射路の新規稼働に必要なKEKB安全システムの改造

Schedule



K. Akai

We are here.

Summary

- IR
 - 予定通り8月末にQCSの磁場測定を完了。QCS後退。
 - 今後のIR概略予定
 - 2017年9月～12月上旬
 - Belle II グループの作業 (ARICHやBEAST IIのインストール等)
 - QCS用ビームパイプの組み込み等
 - 2017年12月中旬～2018年2月中旬
 - QCS前進、衝突点加速器機器の再組み込み、立上げ調整等
 - phase 2用の放射線シールド構築
 - 2018年2月中旬: MR phase 2 commissioning start
 - より詳細かつ正確な工程の検討を、加速器とBelle IIグループで協力して進めている。
- IR以外も、MRの各部署において、Phase 2に向けた各種改良や、今後の長期運転に向けた機器の維持・改善を順調に進めている。
- 12月4日DRビーム調整運転開始、2018年2月中旬MR Phase 2運転開始に向けて、現行計画に概ね沿って進行し

backup

要検討事項

- キッカー、セプタム調整の具体化
キッカーは蹴り角を変えるとタイミングが変わる。
事前にできる対応策、用意すべきツールの検討。
- アライメント結果の検討
ステアリングの定格内に収まっているか？
- 出射キッカーのタイミングジッターに起因するLINACでのビーム品質の劣化。
- シフト体制
夜中はKCGシフトは付けない。
夜中は準夜の続き、真空焼き、LINAC調整、希望者のスタディ等に充てる。
1シフトは何人体制？
LINAC調整はどれくらい必要か？

コミッショニング

- 期間: 2017年12月4日 ~ 2018年2月中旬? (LTR,RTL調整も含む)
- まずは1バンチ、1nC、1Hzで調整を行う。
- まずはLINACの東側ビームダンプまでビームを通すことを優先する。
- 目標平均真空圧力 = 1×10^{-5} Pa
柴田氏の見積りでは2nC/bunch (2bunch, 2pulse)で4日程度かかる。
- エミッタンスカップリングの目標値 = 10%
シミュレーション上は軌道補正だけで達成できる。
- 夜中はKCGシフトは付けない。
準夜の続き、真空焼き、LINAC調整、希望者のスタディ等に充てる。

Machine Parameters of Positron Damping Ring

Parameters		Unit
Energy	1.1	GeV
Circumference	135.498295	m
# of bunch	2	
# of bunch / train	2	
Max. stored current	70.8	mA
Energy loss per turn	0.0847	MV
Damping time ($\tau_x / \tau_y / \tau_z$)	11.5 / 11.7 / 5.8	msec
Emittance ($\epsilon_x / \epsilon_y / \epsilon_z$)	41.5 / 2.1 / 3600	nm
ϵ_y / ϵ_x	5	%
ν_x / ν_y	8.240 / 7.265	
Energy spread	0.055	%
Bunch length	6.5	mm
Mom. Comp. factor	0.0141	
# of cells	32	
Total RF voltage	1.44	MV
RF frequency	509	MHz