



KEK 電子陽電子入射器の現状

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

清宮 裕史, 明本 光生, 荒川 大, 荒木田 是夫, 飯田 直子, 池田 光男, 恵郷 博文, 榎本 収志, 榎本 嘉範, 大沢 哲, 大西 幸喜, 小川 雄二郎, 柿原 和久, 梶 裕志, 片桐 広明, 紙谷 琢哉, 川村 真人, 菊池 光男, 倉品 美帆, 小磯 晴代, 佐武 いつか, 佐藤 政則, 設楽 哲夫, 周 翔宇, 白川 明広, 末武 聖明, 杉村 仁志, 杉本 寛, 諏訪田 剛, 竹中 たてる, 田中 窓香, 多和田 正文, 張 叡, 邱 丰, 峠 暢一, 中尾 克巳, 中島 啓光, 夏井 拓也, 西田 麻耶, 東 保男, 肥後 寿泰, 舟橋 義聖, 古川 和朗, 本間 博幸, 松下 英樹, 松本 修二, 松本 利広, 三浦 孝子, 三川 勝彦, 道園 真一郎, 三増 俊弘, 宮原 房史, 森 隆志, 森田 昭夫, 矢野 喜治, 横山 和枝, 吉田 光宏,

KEK, SOKENDAI, Tsukuba, Ibaraki, Japan

要旨

- KEK電子陽電子入射器ではSuperKEKBのためのアップグレードが行われてきた。
- 4リング(HER/LER/PF/PF-AR)同時入射のためのパルス磁石の導入や高電荷な低エミッタンスビームを生成するRF電子銃の安定化が行われた。
- ダンピングリングコミッションは2018年2月~7月に、SuperKEKB phase II コミッションは2018年3月~7月に行われた。
- 今冬から予定されているPhase III では、Phase II 以上の高電荷ビームをPhase II より低いエミッタンスで、且つ安定に輸送する必要がある。
- 入射器の現状とPhase III に向けた主なアップグレードについて報告する。

まとめ

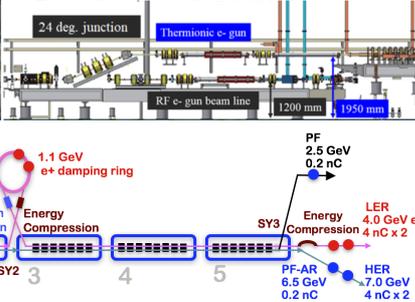
- SuperKEKB Phase II コミッションのための要求入射ビームである高電荷かつ低エミッタンスビームを入射器終端まで輸送することに電子/陽電子共に成功した。
- 4リング同時入射のためのパルス磁石は安定に動作し、その制御に必要なイベントシステムも導入された。
- RF電子銃用レーザーの安定性が向上し、電子ビームの安定性が増した。
- Phase III に向けて、高電荷ビームのためにレーザーパワーの増強とカソードの量子効率回復のための加熱洗浄機構が導入予定である。また、RFモニタを使用したビーム安定度解析や低エミッタンスビーム輸送に不可欠な軌道補正&フィードバックのためのソフトウェア開発が進行中である。

KEK電子陽電子入射器



KEK入射器では、熱電子銃とRF電子銃を運転に用いている。

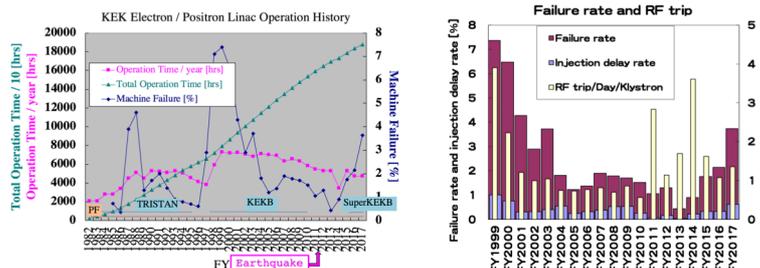
- RF電子銃: SuperKEKB電子リング用の低エミッタンスビーム
- 熱電子銃: SuperKEKB陽電子生成のための電子ビーム & PF, PF-AR用の電子ビーム



- KEK入射器は上流からA, B, J-ARC, C, 1, 2, 3, 4, 5セクターから構成される。
- ビーム繰り返しは最大50Hz、ビームは96nsスペースの2パッチ運転が可能。
- 4リング(HER/LER/PF/PF-AR)への入射が行われている。

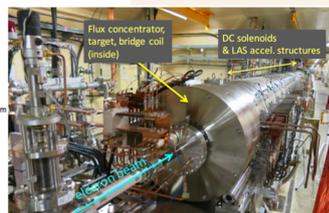
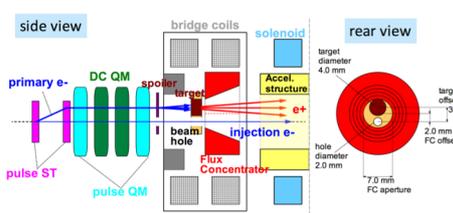
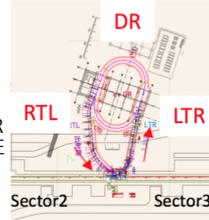
運転統計 (FY2017)

- 2016年2月から6月までSuperKEKB phase I コミッションが行われた。その後2018年1月から陽電子用ダンピングリングのコミッションが開始され、Phase II コミッションが開始された。
- 例年並みの運転時間で4636時間であったが、故障率は昨年の2倍弱と多い。これは、2018年1月からダンピングリングのコミッション開始後、イベントシステムのトラブルが長時間続いたことが一因である。



陽電子生成とダンピングリング(DR)

- KEKでの0.8nC×2パッチからSuperKEKBでの4nC×2パッチへの変更に伴い、現在は下図の構成で陽電子捕獲が行われている。
- 陽電子生成直後のエミッタンスは非常に大きいため、DRでの放射減衰によってエミッタンスを減少させなければならない。
- DR運転に向けて、右図のLTR, RTL, 及び電子が逆回するためのシグイン(セクター2と3の間)のビームラインが構築された。また、DR入射に必要なイベントシステム[2]、DR入射に必要なエネルギー圧縮、DR出射に必要なパッチ圧縮に必要な加速管や導波管といったRFシステム、ビームパラメータを測定するためのBPM、ストロークカメラ、スクリーン、ワイヤスキャナも新規導入された。

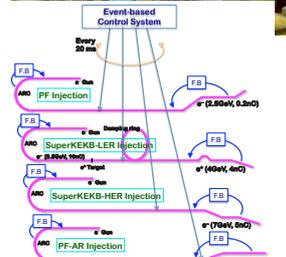


パルス磁石

- 3セクター~5セクターまでのステアリング磁石と4極磁石のバルス化が行われた。
- バルス化により、SuperKEKBの短いライフと補うための高繰り返しビームと、PF、PF-AR運転が両立可能。
- これに伴い、小口径の新規BPMも導入済。
- パルス磁石とイベントベースの制御システムが導入されたことにより、4つのリング(SuperKEKB HER/LER, PF, PF-AR) への同時入射に成功した[1]。

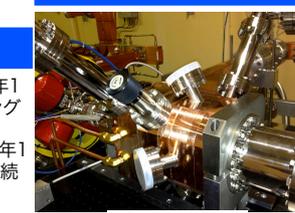


- 2種の電子銃のビームラインが合流するセクターAの一部においても、偏向磁石、4極磁石、ステアリングのバルス化が進行中であり、今夏に設置予定である。
- 加速管のwake fieldによるエミッタンス増大を抑えるための軌道補正用パルスステアリングや、J-ARC前後の軌道調整用のパルスステアリングの検討または製作が進められている。



RF電子銃

- Nd:YAGレーザーとIr₅Ceカソードを用いたquasi-traveling-wave side-couple (QTWSC) cavityによって高電荷の低エミッタンスビームを生成している。
- Phase II では、レーザー増強と安定化によりRF電子銃から2nCの電子ビームを安定にリングへ供給することに成功した[3]。
- Phase III に向けて4nCの電子ビーム生成が必要となる。それに伴い、カソードの量子効率を回復させるための加熱洗浄機構を持つRF電子銃の導入と、レーザーの増幅率を2倍向上させるためにモジュールの追加が予定されている。



SuperKEKBコミッション

- 2018年2月から7月までSuperKEKB phase II コミッションが行われた[4]。
- 下のテーブルが入射器終端で達成されたビームパラメータであり、Phase II のビーム要求は概ね達成されたが、Phase III の要求までは達成することができなかった。
- 入射器終端からSuperKEKBリングに入るまでのBeam transport lineにてエミッタンスが増大していることが分かっており、原因究明が進められている[5]。
- Phase III では、ビームの位相空間ジッタがエミッタンスに無視できない影響を与えることが分かっており、ジッタの原因究明が行われている[6]。
- Phase III の要求を達成するために、上記原因究明に加えて、RFモニタ[7]を使用したビーム安定度解析や低エミッタンスビーム輸送に不可欠な軌道補正&フィードバックのためのソフトウェア開発が進行中である。

Table 1: Required and achieved parameters of injection beams at linac end (positron/electron)

Stage	KEKB achieved	Phase-I achieved	Phase-II achieved	Phase-III	
				1st year plan	final requirement
Energy (GeV)	3.5/8.0	4.0/7.0	4.0/7.0		4.0/7.0
Bunch charge (nC)	1/1	0.4/1	1.4/2.5	2/2	4/4
Hor. emittance (μrad)	1400/310	1000/130	200/50	100/40	100/40
Ver. emittance (μrad)	-	-	2/50	15/20	15/20
Energy spread (%)	0.13/0.13	0.5/0.5	-	0.16/0.07	0.16/0.07

参考発表

- [1] WEP082, KEK電子陽電子入射器タイミングシステム (宮原房史)
- [2] THOM03, SuperKEKB phase-2運転における入射制御 (梶裕志)
- [3] THP091, SuperKEKB入射器とダンピングリングにおけるビームゲートを用いたトリガー制御 (杉村仁志)
- [4] FROM06, SuperKEKB用RF電子銃のコミッション (吉田光宏)
- [5] WEP006, SuperKEKB用RF gunのPhase-IIコミッション (周翔宇)
- [6] WEOLP01, SuperKEKBフェーズ2におけるコミッションの成果 (大西幸喜)
- [7] THOM04, SuperKEKBの陽電子ダンピングリングの入射路コミッション (飯田直子)
- [8] WEP002, SuperKEKB入射器におけるビーム位相空間ジッタと有効エミッタンス (清宮裕史)
- [9] THP104, SuperKEKB入射器のRFモニタシステムによるRF源診断 (片桐広明)