

KEK 電子陽電子入射器の現状

PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

横山和枝[#], 明本光生, 荒川大, 荒木田是夫, 飯田直子, 池田光男, 岩瀬広, 榎本收志, 榎本嘉範, 大沢哲, 大西幸喜, 小川雄二郎, 柿原和久, 風間慎吾, 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, Qiu Feng, 佐武いつか, 佐藤政則, 佐藤大輔, 設楽哲夫, 周翔宇, 白川明広, 末武聖明, 杉本寛, 諏訪田剛, 清宮裕史, 竹中たてる, 田中窓香, 多和田正文, 張叡, 峠暢一, 中尾克巳, 中島啓光, 夏井拓也, 肥後寿泰, 福田茂樹, 船越義裕, 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, 吉田光宏
Kazue Yokoyama[#], Mitsuo Akemoto, Dai Arakawa, Yoshio Arakida, Naoko Iida, Mitsuo Ikeda, Hiroshi Iwase, Atsushi Enomoto, Yoshinori Enomoto, Satoshi Ohsawa, Yukiyoshi Ohnishi, Yujiro Ogawa, Kazuhisa Kakihara, Shingo Kazama, Hiroshi Kaji, Hiroaki Katagiri, Takuya Kamitani, Masato Kawamura, Mitsuo Kikuchi, Miho Kurashina, Haruyo Koiso, Qiu Feng, Itsuka Satake, Masanori Satoh, Daisuke Satoh, Tetsuo Shidara, Xiangyu Zhou, Akihiro Shirakawa, Masaaki Suetake, Hiroshi Sugimoto, Tsuyoshi Suwada, Yuji Seimiya, Tateru Takenaka, Madoka Tanaka, Masafumi Tawada, Rui Zhang, Nobukazu Toge, Katsumi Nakao, Hiromitsu Nakajima, Takuya Natsui, Toshiyasu Higo, Shigeki Fukuda, Yoshihiro Funakoshi, Yoshisato Funahashi, Kazuro Furukawa, Hiroyuki Honma, Hideki Matsushita, Shuji Matsumoto, Toshihiro Matsumoto, Takako Miura, Katsuhiko Mikawa, Shinichiro Michizono, Toshihiro Mimashi, Fusashi Miyahara, Takashi Mori, Akio Morita, Yoshiharu Yano, Mitsuhiro Yoshida
High Energy Accelerator Research Organization (KEK/SOKENDAI)

Abstract

In FY2015, the KEK electron/positron injector linac has started delivering the electron and positron beams to the SuperKEKB (HER/LER). The electron beam from the RF gun has been successfully delivered to the HER ring. This was done while delivering the electron beam to the photon factories (PF, PF-AR) by using 3 sectors in the downstream part of the linac. This report describes the present status of the linac and the related upgrade effort.

1. 入射器の運転概況と現状

KEK 電子陽電子入射器は、Figure 1 に示すような構成で、4つのリングへのビーム入射を行いながら、SuperKEKB に向けての機器のアップグレード及び電子・陽電子ビームの性能向上を目的とした試験を行っている。下流側 3 セクターの DC 熱電子銃を使用して放射光施設へのビーム供給運転を行うと同時に、上流側では RF 電子銃及びレーザーの開発を行いながら SuperKEKB リングへの入射が可能になるように、最上流部 A1 ユニット部を二階建て構造とし、上段に 2010 年に撤去した DC

熱電子銃を復活させ、2015 年 6 月から下段の RF 電子銃と併用可能とした。2016 年 2 月から 6 月末まで、SuperKEKB 立ち上げのための調整運転と Phase1 運転が行われ、放射光施設 PF、PF-AR への入射は下流側 3 セクターの DC 熱電子銃から定時入射 (3 回/日) を、SuperKEKB の HER/LER 2 つのリングへは、最上流部 DC 熱電子銃から交互の入射をし、2015 年度は計 5296 時間の運転を行った。一方で、機器のアップグレードやコミショニングも進み、最上流部で開発中の RF 電子銃から HER に入射することに成功した[1,2,3,4]。

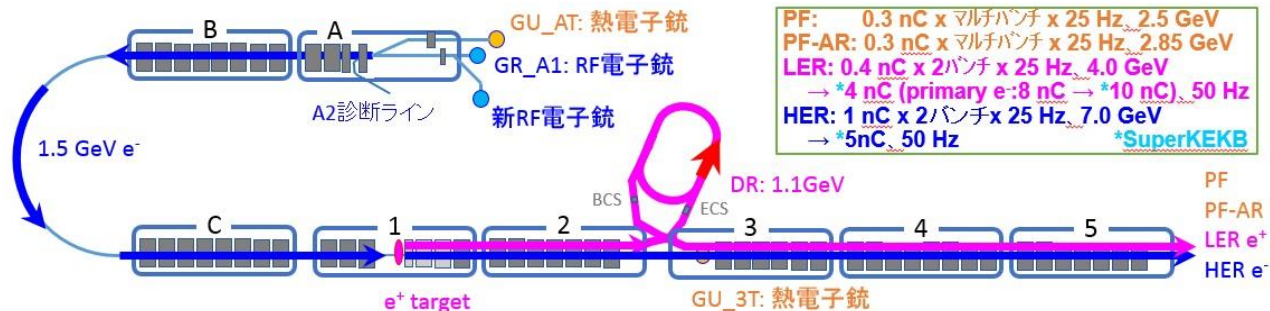


Figure 1: Layout of SuperKEKB injector linac.

[#] kazue.yokoyama@kek.jp

2. 運転統計(FY2015)

2015 年までの運転統計履歴と故障率を Figure 2 に、故障率と入射遅延率、RF トリップの推移を Figure3 に示す[5]。2010 年 6 月に KEKB の運転を終了し、SuperKEKB に向けてのアップグレードのための工事を進めながら、3 セクター下流のみの運転で放射光リングだけの入射を行ってきた。2014 年度の運転時間は 3448 時間で少ないが、これは 1~3 月期に放射光リングの運転がなかったためである。入射器ではこの期間を工事やアップグレードの試験等にあてた。2015 年度は 2 月から HER/LER への入射も開始され例年並みの運転時間で 5296 時間となった。故障率は、2014 年度より増加しているが、A1 二階建てビームラインの立ち上げや SuperKEKB 対応機器の立ち上げに伴うデバッグ等が必要だったことが主な理由である。2014 年度に多かった RF トリップは、陽電子ビームラインのフラックスコンセントレータ(FC)や Large Aperture S-band(LAS)加速管のコンディショニングが進んだことによって 2015 年度は減少したと言える。しかし、大きな真空悪化が起こる傾向があり、一度、ダウンすると機器の再立ち上げに時間がかかるので、電流値を下げたり出力パワーを下げる必要があり、その設定でのビーム輸送を確立するために調整時間を設けて入射を一旦中断する場合もある。時間を要する

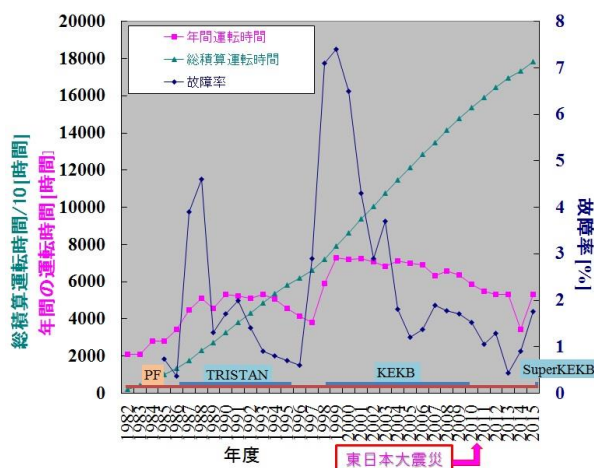


Figure 2: Operation time and machine failure.

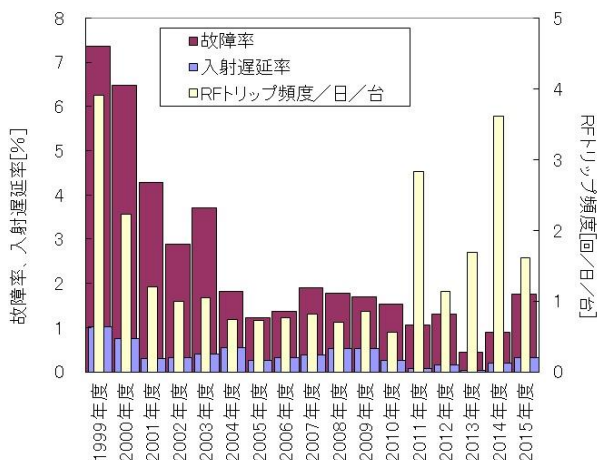


Figure 3: Failure, Injection delay rate and RF trip.

コンディショニングと判断した場合には、ビームと異なるタイミングでコンディショニングを行い、ビーム入射を妨げないようにしている。

3. 維持・改善

3.1 高周波源

高周波源は、2011 年より放射光施設への入射に必要な 24 台(入射器下流部)のみ連続運転を行い、残り 34 台(入射器上流部)はアップグレード作業やビームスタディの為に不定期な運転を行ってきたが、Phase 1 が始まってからは全 58 台の連続運転になった。現在運転中のクライストロンとサイラトロンの平均運転時間はそれぞれ約 57,000 時間と約 28,000 時間である。2015 年度ではクライストロンは管内放電等により 3 台の交換を行なった。撤去したクライストロンの平均運転時間は約 38,000 時間であることから、使用台数の約 1/3 にあたる 18 台については運転時間 80,000 時間を超しているため、注意して監視を行なう必要がある。また サイラトロンについてはリザーバー電流低下等により 3 台が交換された[6]。11 台のクライストロンモジュレータはパルス成形回路(PFN)の充電にインバータ電源を使用して、従来の商用周波数トランスによる共振充電方式のモジュレータと比べて 1/3 の大きさに小型化した。インバータ電源は 43 kV 充電で、出力 30 kJ/s、安定度 0.3 % (p-p) と出力 5 kJ/s、安定度 0.03% (p-p) の 2 種類の電源が開発され、通常のモジュレータでは前者単独で使用され、高い安定度が要求されるモジュレータには前者と後者を組み合わせて使用している[7]。

3.2 ワイヤスキャナとビームロスモニタ

ダンピングリング(DR)入射前の 2 セクターに 2015 年に設置したワイヤスキャナ(WS)の運用を開始した。今夏は、DR 出射後の 3 セクターに新規設置する予定である。WS は、B セクター、C セクター、2、3 セクター、5 セクターの 5 カ所となる。WS 用の検出器は従来の光電子増倍管による直接検出から光ファイバーからの信号を光電子増倍管で増幅するという新方式に移行中である。この検出方式により信号の SN 比が大きく向上した。

ビームロスモニタは、WS 用の検出器と同じ光ファイバー検出器を使うので、ロスモニターへの応用としてその試験が行われた。PF への分岐ライン、J アーク部などで試験した結果、ロスモニターの有用性が確認され、現在、高速デジタルタイザーによるデータ収集システムの構築を急いでいる。また、ビームダクトの何処でビームロスが発生し、何処までビームが来ているかを知ることが可能なので、電子銃直後の A セクターに光ファイバーを敷設し、二階建て構造化後のビーム立ち上げ時に活用された。今年度は 2~4 カ所にシステム構築し運用実績を蓄積する予定である[8]。

3.3 制御システム[9]

入射器は、4つの異なるリング(HER/LER、PF、PF-AR)へ電子および陽電子ビームを安定に供給してきたが、SuperKEKB に向けては DR も加わり 5 リング同時入射を目指したイベントシステムへの移行、増設を行っている。Phase1 の運転では、4 リング同時入射を可能にする新イ

ベントシステムによるタイミング配信の試験を行い HER/LER 入射に大きな問題が無いことを確認した。システムとしては DR への配信も可能なようになっているのでこの試験で基本的な動作が確認されたことになる。DR への実配信は現在準備中である。また熱電子銃へのタイミング配信は従来システムからイベントシステムへ移行中であり、秋からの運転に運用される予定である。

3.4 放射線遮蔽強化

SuperKEKB では、陽電子ターゲットの位置を上流へ移動し、シケインやコリメーターを増設する等、ビームラインのレイアウトが変更になったので、入射器全体に渡って念入りの放射線量測定を行った。特に、陽電子生成部は実測も踏まえての評価を行うこととし、2014 年度に当面の陽電子運転に必要な遮蔽構造体を設置し、設置後の陽電子運転で遮蔽性能の評価を行なった。その評価に基づき、2015 年度に必要な遮蔽体を追加し、SuperKEKB 運転に際しても十分な遮蔽能力を持つ遮蔽体を完成させた[10]。また、故障事の対応や機器の放射線による劣化等も懸念されるため、陽電子生成部付近の線量評価を定量的に行える方法や機器保護のための遮蔽体の追加等を検討中である。

3.5 老朽化対策

入射器では、S バンドの 2 m 加速管を 30 年以上用いて運転を継続してきている。最近ではこれらの加速管は、電界放出電子の問題や放電頻発の問題を抱えていることが認識されてきている。そこで、これらの加速管の内面検査を行い、高電界特性との関連を調査し始め、今後の安定運転への対策を検討している[11]。

真空や電磁石の制御系に用いている PLC の使用期間が 15~20 年となっている。これまで殆ど問題無く動作しているが、更に安定性、信頼性を高めるため、DAC、ADC 等の高機能モジュールを中心に上位形式への更新を進めている。今年度は、電磁石制御系の約半数の更新を予定している。

電磁石電源の使用年数も 15~20 年であり、古いものでは 20 年を越えるものもある。偏向電磁石用の大型電源は定期的に点検を行っているが、四極電磁石やステアリング等の小型電源に関しては故障時に予備と交換する等して適宜対応している。最近、97 年製の大型電源 (210V/500A) のファン故障が起り、リングへの入射を妨げる事態になった。これを踏まえて、SuperKEKB の本格的な運転開始前には、20 年を越える電源と入射に重要な大型電源に関しては、ファンやリレー等の故障率の高い部品を交換することを検討している。また、経年劣化が懸念されるので、現在使用中の電源を何台かピックアップして、動作異常の有無の点検や安定度の再評価を行うことも検討している。

4. 入射器アップグレード

4.1 高電荷低エミッタンス RF 電子銃

A1 上段の DC 熱電子銃を運用して HER/LER 入射用の電子ビームを生成しながら、下段の RF 電子銃を開発している。RF 電子銃による 1 nC 程度での安定したビーム供給ができるようになり、2016 年 6 月に 11 日間にわ

たって HER 入射を行うことができた。RF 電子銃はフォトカソード S-band RF 電子銃で、カソードに Ir₅Ce を用いた擬似進行波型空洞 (QTWSC) 構造である[12]。電子発生用のレーザーは広帯域の Yb:YAG を用いている。Phase2 に向けてバンチ電荷量を上げるために、50 Hz Yb 系ファイバーおよび Yb:YAG Thin-disk 増幅媒質とするハイブリッド増幅システムを開発している[13]。

Phase 2 に向けては、2 バンチ運転を目指し、高強度パルスでより安定したレーザー運転を実現しなくてはならない。既存の RF 電子銃では、斜めに入射するレイアウトなので、時間構造が台形になり位置のジッター問題もあるので SuperKEKB に向けては垂直入射を採用することにした。そのため、90 度ラインを新設することにした。このラインでは、Cut Disk Structure (CDS) と準進行波型の 2 タイプを設置して SuperKEKB 向けの RF 電子銃の開発を進めて行く。

また、パルスバンドで振り分ける診断ラインを A2 セクターに設け、ビーム入射中でも電子銃からの電子ビームを診断出来るようにする予定である。現在、A1 二階建て分岐点の偏向電磁石は DC 電磁石であるが、これをパルス化することにより、DR のコミッション開始前に、5 リング同時入射が可能になるように計画している。また、高性能時間分解能同期ストリークカメラを A1 に設置し、DR 出口に相当する 3 セクターにストリークカメラを新設する予定である。

4.2 陽電子ビームライン

陽電子収束系に用いられている FC は、システム立ち上げを目的として、これまで仕様値の半分の 6kA (仕様は 3.5 T @12 kA) での励磁電流で運転を行ってきた。2014 年 12 月にパルス電源内で、FC の伝送ラインが損傷する事故があったことをきっかけに、電源の 12 kA への改造とともに伝送ラインの見直しも行った。また、陽電子収束系のソレノイドコイルの電線についても、床貫通孔内では放熱の余裕が少ないため発熱等に配慮した[14]。2015 年秋まで FC 用のテストスタンドにおいて、12 kA 対応のパルス電源を用いて新しい伝送ラインの試験を行った。実機立ち上げ当初は、12 kA での運転に問題はなかったが、外周のブリッジコイル (FC と LAS 加速管の間を補填する磁場を作るコイル) を通電し始めたのと、後続の LAS 管のコンディショニングが開始されたと同時に、真空悪化を起こすようになった。FC の真空ダウンが多発すると、リングへの入射へ悪影響が起るため、電流値をさらに下げてダウンしないレベル (5~6 kA) で運転をせざるおえない状況になった。高い電流領域での真空悪化の原因究明のため、テストスタンドにブリッジコイルも追加して試験を開始した。FC のコイルは円錐状に 12 ターン巻いた構造である。通電中にパルス幅の減少が観測されるイベントが見つかり、おそらく 12 ターンのコイルのどこかのギャップ間隔 (0.2 mm) が狭くなりそこでショートしてインダクタンスが変わると推測される。一方、放電している可能性もあるため、カメラでの観測も試みている。FC の改善策として、製作過程におけるハードニングの工程を見直すことを始めた。ハードニングすることにより、ギャップ間隔が変化しにくくなることが期待できる[15]。

SuperKEKB では、陽電子収量を上げるために、FC を

用いた Adiabatic Matching Device (AMD) 収束系を採用した。AMD 収束系は、KEKB で採用した Quarter Wave Transformer (QWT) 収束系に較べてエネルギーアクセプタンスが広い。捕獲部の出口まで、陽電子とほぼ等量の二次電子が透過するため、シケインで構成されるビームストッパーを設置してこれを除去している。また、DR 完成後は陽電子ビームを低エミッタンスにできるが、DR 無しで LER に直接入射する場合には、陽電子が低いエネルギーのうちにエミッタンスの裾を削除できるよう、捕獲部を出た後に 3 台のコリメーターを設置している。しかし、同時入射のために電子ビームも同時に透過させる必要があるため、電子がビーム軸センターから外れるとコアのビームまで削れてしまうという問題があり、ビームがうまく通過するようにビームとコリメーターの最適な調整を行う必要がある。また、アパーチャー 60 mm の電子陽電子ビームセパレータ後の LAS 管入り口ではアパーチャーが 30 mm となるため、この粒子が加速管入口をたたくのが原因で真空悪化が起きている可能性がある。そのため、今夏、LAS 管の上流部にコリメーターを設置することにした。

ビームが局所的に当たって陽電子生成ターゲットが破損しないように、電子ビームを拡散する (>0.7 mm, 1σ) 目的でスポイラーを約 3 m 上流の位置に設置している。スポイラーは、電子を通すための穴 ($\phi 3.0$ mm) が設けられている。これまで、固定式であり、ビーム調整やスタディ中でもスポイラーを透過させる必要があったが、可動式のものに変えることにより、ビーム調整が済んでからスポイラーを挿入できるように改善した。

4.3 ビーム輸送系

ビームを加速空洞の中心を通すように適切にステアリング磁石を制御することでエミッタンス増大を最小限に抑えることが期待できる[16]。SuperKEKB では、5 つのリングへ電荷量が異なるビームを輸送かつ同時入射を行う必要があり、これを実現するために、パルス電磁石を使用して各ビームに対応するオブティクスを作る方式にした。SuperKEKB では、既存のパルスステアリングに加えて、さらに DR 入口と出口、及び 3 セクター以降の DC 電磁石を、パルス電磁石に置き換える。パルス電磁石の基本構成は、四極電磁石 2 台と水平/垂直ステアリング各 1 台からなり、加速ユニット 2 つ毎 (1 セクターに 4 箇所) の設置になり、合計 14 箇所置き換えを行うことになる。電磁石をパルス化した SuperKEKB 用の最終的なビームライン構築には、下流側 3 セクターの DC 熱電子銃の撤去や 3 セクターの加速ユニットの移動と復元作業が伴う。来夏から段階的に工事を進めて行く予定である。パルス電磁石 (全 74 台) の製作は 2014 年度に終わり、現在、電源の開発を行っている。2016 年 6 月に、パルス四極電磁石を開発電源で励磁してビーム収束ができることを確認した。電源開発の今後の課題は、異なるビームイベント毎に安定に励磁できることであり、今後、制御系も含めてのシステム全体の試験を進める予定である。また、アライメント精度の高い架台の製作も進めている[17]。

入射器と DR を結ぶビーム輸送系 (LTR/RTL) には、エネルギー圧縮装置 (ECS) とバンチ圧縮装置 (BCS) が設置される。S-band 加速管を ECS では 2 本、BCS では 1 本使用する。そのため、S-band 加速管のテストスタンドにて今秋にエイジングを行う。今夏は RF 導波管類の設

置ための準備を行っている。加速管は今冬に、RF 源やビームダクト等は来夏に設置を予定しており、2017 年秋の DR コミッショニング開始に向けて準備を進めている。

PF-AR と HER はビーム輸送路を共有しており、PF-AR 入射中は SuperKEKB のトップアップ入射が中断される。これは短ビーム寿命の SuperKEKB では大きな問題になる。そのため、PF-AR 用の直接入射路を設けることにした。2014 年 5 月に直接入射路トンネル工事を完了し、現在、振り分けライン (入射器第 3 スイッチヤード) の工事を進めている。2017 年 2 月にコミッショニングが開始される予定である[18]。

4.4 アライメント

ビームラインコンポーネントのアライメント精度を上げるため、トンネル内の床変動を定量的に見積もる必要がある。そのため、入射器ではレーザー変位計、ダイヤルゲージ、傾斜計、レーザートラッカー等を用いて観測を行っている。これまで加速ユニットに付属したレーザー光軸変位センサーのデータ収集は手動で行っていたが、計算機制御による動的変位計測システムを導入するために、遠隔制御が可能な自動センサーに変えた[19]。2014 年 9 月に 2 台、2015 年 9 月に 7 台を交換した。設置箇所は入射器全長に渡って建屋継目近くに分散配置した。2016 年 1 月から 9 台の自動センサーによる自動測定を開始しこれまで約半年のデータを蓄積した。加速ユニットの変位としては最大 0.9 mm/半年となるユニットがあり、トンネル床面の動的変位がかなり大きいことがわかった。アライメントへの要求値は 1σ で 0.1 mm であり、このように動的変位に対応するためのアクティブムーバ等による加速ユニットの自動制御を検討し始めている。今夏は、さらに 10 台を増設しトンネル床面変動の測定点数を増やす予定である。また、何箇所かのエクспанションジョイントにダイヤルゲージを設置して、直接的な建屋同士の動きも測定している[20]。

4.5 ビーム診断

低エミッタンスを維持したままビームを輸送するためには 10 μm 以下のビーム位置測定精度が要求されるが、これまでのオシロスコープを用いた BPM 読み出しシステムの分解能は 25~50 μm であった。そこで新たに高繰り返し (>50 Hz) かつ分解能 10 μm 以下の VME ベースの高分解能読み出しシステムを開発した[21]。このシステムは、校正パルスを用いたゲイン監視システムを搭載している。回路のゲイン変動監視はビームの有無に関わり無く常に可能で、ゲイン変動があれば自動で自己校正することが出来る。現在、オシロスコープ読み出し方式から新読み出しシステムへの移行を進めている。現在全台数 100 台中の 40 % を終了しており、残りは今秋以降の運転で順次移行を進める予定である。その他、DR の輸送路で使用する楕円ダクト用の BPM の設計も進めている[22]。

ビームサイズ計測の分解能向上を目指して、従来のデマルケスト (アルミナ蛍光板) に代わり、YAG などの幾つかの結晶シンチレータによるスクリーンを開発を進めている。これまで、入射器ではアルミナ蛍光板を用いてきたが、アルミナ蛍光板は蛍光板内での光の乱反射やミリ秒オーダーの非常に長い残光などが原因で分解能が悪化する問題がある。アルミナ蛍光板は厚みを薄くしても

高分解能化は期待できないということも実験からわかった。さらに、入射器では電流密度が高く、繰り返しが多いため、発光の飽和が少なく放射線耐性にも優れた結晶が求められる。そこで、入射器の高電流密度 (>20 nC/mm²) で十分な性能を発揮できる結晶を見つけるために YAG:Ce、LYSO:Ce、LSO:Ce、BGO、CsI:Tl を用意して性能評価を行っている[23]。

4.6 タイミング制御

HER/LER2つのリングの入射位相は各々異なっており、それに合わせて RF 位相を変更して DC 熱電子銃からのビームを入射していたが、RF 電子銃ではレーザーの同期がずれると発振しなくなる。したがって、SuperKEKB 用に入射器内でのマスター配信系を整備する必要がある。また、位相器の安定度や絶対値精度の要求も高くなるため、今後、試験をしながら方針を検討していく必要がある。

5. まとめと今後の予定

SuperKEKB Phase1 が終了し、2017 年秋からは Phase2 に向けての試験が開始される。Phase2 では、低エミッタンスの陽電子ビームを実現するために、DR への入射が開始される。5 つのリングへの安定なビームの同時入射を実現するために、電磁石のパルス化や高精度データ収集、高速 RF 制御、タイミングシステム、高精度アライメントなど、多様な開発を進めている。また、Phase3 に向けての高電荷低エミッタンスビームを目指した RF 電子銃の開発と陽電子収量の向上を目指した FC の開発を進めている。

参考文献

- [1] M. Satoh *et al.*, “PRESENT STATUS OF SUPERKEKB INJECTOR LINAC COMMISSIONING (III)”, in these proceedings.
- [2] T. Kamitani *et al.*, “SuperKEKB Phase1 (Injector+Ring) Status Report”, in these proceedings.
- [3] Y. Funakoshi *et al.*, “Phase 1 beam commissioning of SuperKEKB”, in these proceedings.
- [4] T. Natsui *et al.*, “Commissioning of RF Gun for SuperKEKB”, in these proceedings.
- [5] X. Zhou *et al.*, “PRESENT STATUS OF THE KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC”, PASJ2015.
- [6] T. Toufuku *et al.*, “Operation and Maintenance Activity of High-Power RF System in KEK Electron-Positron Linac (II)”, in these proceedings.
- [7] M. Kawamura *et al.*, “Present Status of Inverter Power Supplies for Modulators in KEK Electron-Positron Linac”, in these proceedings.
- [8] Y. Yano *et al.*, “OPTICAL FIBER BEAM LOSS MONITOR AND WIRE SCANNER-2”, in these proceedings.
- [9] K. Furukawa *et al.*, “Injection operation into multiple storage rings at KEK Electron/Positron 7-GeV Injector Linac”, in these proceedings.
- [10] S. Matsumoto *et al.*, “Radiation Shield for the Positron Target of KEKB Injector LINAC”, in these proceedings.
- [11] T. Higo *et al.*, “Surface Inspection and High Gradient Performance of S-Band Accelerator Tubes used for 20-30 Years at KEK”, in these proceedings.
- [12] D. Satoh *et al.*, “A preliminary study on quantum efficiency enhancement of iridium cerium photocathodes for SuperKEKB injector linac”, in these proceedings.
- [13] R. Zhang *et al.*, “Improvements of Stable and High Output

Energy Laser System for RF-Gun at SuperKEKB Injector”, in these proceedings.

- [14] Y. Arakida *et al.*, “Heat control design of the power cable wiring”, in these proceedings.
- [15] Y. Enomoto *et al.*, “Development of a flux concentrator for SuperKEKB”, in these proceedings.
- [16] Y. Seimiya *et al.*, “EMITTANCE GROWTH BY MISALIGNMENTS AND JITTERS IN SUPERKEKB INJECTOR LINAC”, in these proceedings.
- [17] S. Ushimoto *et al.*, “Motor-driven Control of Support Structure for Pulse Magnets”, in these proceedings.
- [18] S. Nagahashi *et al.*, “The construction of the direct beam transport line for the PF-AR”, in these proceedings.
- [19] T. Suwada *et al.*, “Dynamical Observation of Slow Tunnel Floor Motion at the KEKB Injector Linac (II)”, in these proceedings.
- [20] M. Tanaka *et al.*, “Measurement of floor movement in the KEKB injector LINAC tunnel (3)”, in these proceedings.
- [21] F. Miyahara *et al.*, “High position resolution BPM readout system for KEK e+/e- Linac”, Proceedings of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Fukui Convention & Visitors Bureau, Tsuruga, Aug. 5-7, 2015, pp.1255-1258 (THP094).
- [22] Y. Seimiya *et al.*, “An optimization of BPM sensitivity by simulation”, in these proceedings.
- [23] F. Miyahara *et al.*, “Performance test of scintillating screens for high current density electron beam”, in these proceedings.