

compact ERL 入射器のコミッショニング運転 COMMISSIONING OPERATION OF THE COMPACT ERL INJECTOR

宮島司^{*A)}, 本田洋介^{A)}, 坂中章悟^{A)}, 足立伸一^{A)}, 明本光生^{A)}, 荒川大^{A)}, 浅岡聖二^{A)}, 江並和宏^{A)}, 遠藤有聲^{A)}, 福田茂樹^{A)}, 古屋貴章^{A)}, 芳賀開一^{A)}, 原和文^{A)}, 原田健太郎^{A)}, 本田融^{A)}, 本間博幸^{A)}, 本間輝也^{A)}, 細山謙二^{A)}, 穂積憲一^{A)}, 石井篤^{A)}, 加古永治^{A)}, 神谷幸秀^{A)}, 片桐広明^{A)}, 河田洋^{A)}, 小林幸則^{A)}, 小島裕二^{A)}, 近藤良也^{A)}, 久米達哉^{A)}, 松本利広^{A)}, 松村宏^{A)}, 松下英樹^{A)}, 道園真一郎^{A)}, 三浦孝子^{A)}, 長橋進也^{A)}, 仲井浩孝^{A)}, 中島啓光^{A)}, 中村典雄^{A)}, 中西功太^{A)}, 中尾克己^{A)}, 濁川和幸^{A)}, 野上隆史^{A)}, 野口修一^{A)}, 野澤俊介^{A)}, 帯名崇^{A)}, 尾崎俊幸^{A)}, Qiu Feng^{A)}, 阪井寛志^{A)}, 佐々木慎一^{A)}, 下ヶ橋秀典^{A)}, 佐藤康太郎^{A)}, 佐藤昌史^{A)}, 設楽哲夫^{A)}, 島田美帆^{A)}, 篠江憲治^{A)}, 塩屋達郎^{A)}, 宍戸寿郎^{A)}, 多田野幹人^{A)}, 高橋毅^{A)}, 高井良太^{A)}, 竹中たてる^{A)}, 谷本育律^{A)}, 飛山真理^{A)}, 土屋公央^{A)}, 内山隆司^{A)}, 上田明^{A)}, 梅森健成^{A)}, 渡邊謙^{A)}, 山本将博^{A)}, 山本康史^{A)}, 矢野喜治^{A)}, 吉田光宏^{A)}, Cenni Enrico^{B)}, 高木宏之^{C)}, 羽島良一^{D)}, 松葉俊哉^{D)}, 永井良治^{D)}, 西森信行^{D)}, 沢村勝^{D)}, 静間俊行^{D)}, 栗木雅夫^{E)}, 飯島北斗^{E)}, Ji-Gwang Hwang^{F)}

Tsukasa Miyajima^{*A)}, Yosuke Honda^{A)}, Shogo Sakanaka^{A)}, Shinichi Adachi^{A)}, Mitsuo Akemoto^{A)}, Dai Arakawa^{A)}, Seiji Asaoka^{A)}, Kazuhiro Enami^{A)}, Kuninori Endo^{A)}, Shigeki Fukuda^{A)}, Takaaki Furuya^{A)}, Kaiichi Haga^{A)}, Kazufumi Hara^{A)}, Kentaro Harada^{A)}, Tohru Honda^{A)}, Hiroyuki Honma^{A)}, Teruya Honma^{A)}, Kenji Hosoyama^{A)}, Ken-ichi Hozumi^{A)}, Atsushi Ishii^{A)}, Eiji Kako^{A)}, Yukihide Kamiya^{A)}, Hiroaki Katagiri^{A)}, Hiroshi Kawata^{A)}, Yukinori Kobayashi^{A)}, Yuuji Kojima^{A)}, Yoshinari Kondou^{A)}, Tatsuya Kume^{A)}, Toshihiro Matsumoto^{A)}, Hiroshi Matsumura^{A)}, Hideki Matsushita^{A)}, Shinichiro Michizono^{A)}, Takako Miura^{A)}, Shinya Nagahashi^{A)}, Hirotaka Nakai^{A)}, Hiromitsu Nakajima^{A)}, Norio Nakamura^{A)}, Kota Nakanishi^{A)}, Katsumi Nakao^{A)}, Kazuyuki Nigorikawa^{A)}, Takashi Nogami^{A)}, Shuichi Noguchi^{A)}, Shunsuke Nozawa^{A)}, Takashi Obina^{A)}, Toshiyuki Ozaki^{A)}, Feng Qiu^{A)}, Hiroshi Sakai^{A)}, Shinichi Sasaki^{A)}, Hidenori Sagehashi^{A)}, Kotaro Satoh^{A)}, Masato Satoh^{A)}, Tetsuo Shidara^{A)}, Miho Shimada^{A)}, Kenji Shinoe^{A)}, Tatsuro Shioya^{A)}, Toshio Shishido^{A)}, Mikito Tadano^{A)}, Takeshi Takahashi^{A)}, Ryota Takai^{A)}, Tateru Takenaka^{A)}, Yasunori Tanimoto^{A)}, Makoto Tobiyama^{A)}, Kimichika Tsuchiya^{A)}, Takashi Uchiyama^{A)}, Akira Ueda^{A)}, Kensei Umemori^{A)}, Ken Watanabe^{A)}, Masahiro Yamamoto^{A)}, Yasuchika Yamamoto^{A)}, Yoshiharu Yano^{A)}, Mitsuhiro Yoshida^{A)}, Enrico Cenni^{B)}, Hiroyuki Takaki^{C)}, Ryoichi Hajima^{D)}, Shunya Matsuba^{D)}, Ryoji Nagai^{D)}, Nobuyuki Nishimori^{D)}, Masaru Sawamura^{D)}, Toshiyuki Shizuma^{D)}, Masao Kuriki^{E)}, Hokuto Iijima^{E)}, Ji-Gwang Hwang^{F)}

^{A)}High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

^{B)}Sokendai, the Graduate University for Advanced Studies

^{C)}University of Tokyo (ISSP/SRL) Institute for Solid State Physics Synchrotron Radiation Lab.

^{D)}Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

^{E)}Hiroshima University (HU/AdSM) Graduate School of Advanced Sciences of Matter Department of Quantum Matter

^{F)}Kyungpook National University

Abstract

As a test facility to establish key technologies for Energy Recovery Linac (ERL), the compact ERL (cERL) has been constructed in KEK. In April 2013, the construction of the cERL injector, which consists of a DC photo cathode gun, superconducting RF cavities, and a beam diagnostic line, was completed, and the beam commissioning operation was carried out from 22 April to 28 June. The targets of the commissioning were to pass a radiation safety inspection, to establish beam adjustment method, and to improve beam quality. In a brief period of one week, acceleration to 5 MeV by the injector superconducting cavities, and the transportation of it to the end of beamline were achieved. To 28 June, tests of hardware components and the beam adjustments were carried out. So far, 0.2 mm mrad with 10 fC/bunch, and ~ 0.8 mm mrad with 7.7 pC/bunch were achieved after the beam adjustment. In the next beam operation for the whole cERL from autumn 2013, the target for the injector is to improve the beam quality.

1. はじめに

KEK では将来光源加速器として、エネルギー回収型リニアック (Energy Recovery Linac, ERL) の開発を進めている [1]。ユーザー運転のための将来光源加速器とし

ては、3 GeV クラスの ERL の建設を目指すことになるが、その前段階として、ERL 型光源を実証するための compact ERL (cERL) の開発を KEK の ERL 開発棟 (旧東カウンターホール) で行っている。cERL では周回部のエネルギーは実機の 3 GeV クラスに比べて 20 - 245

* tsukasa@post.kek.jp

MeV¹程度と低くなるが、光陰極 DC 電子銃や超伝導加速空洞等 ERL において基本となる機器の実証試験が可能な設計となっている。cERL の建設は 2 段階に分けて進められており、初めに cERL 入射器とその診断部を建設し、入射器としての性能試験を実施した後に、エネルギー回収を実証するための周回部^[2]の建設に移る計画となっている。ERL 開発棟内に設置された放射線遮蔽内^[3]での入射器建設は 2013 年 4 月に完了し、その後すぐにビームコミッショニング運転を実施した。ここでは、2013 年 4 月から 6 月に掛けて実施したビームコミッショニング運転について報告する。

2. CERL 入射器の概要

cERL 入射器は、光陰極 DC 電子銃、常伝導バンチャー空洞、超伝導加速空洞、入射器診断ラインから構成される。cERL 入射器コミッショニングでのビームライン配置を図 1 に示す。図 1 では左から、電子銃 (GN)、ソレノイド電磁石 (SL)、バンチャー空洞 (CB)、2-cell の超伝導空洞 (CS)、四極電磁石 (QM) と続き、PMGE01 以降がビーム品質を診断するための診断部となる。診断部下流にはエネルギー診断用に 16 度の偏向電磁石 (BM) が設置され、最後にビームダンプが配置される。モニター装置として、ビーム位置モニタ (PM)、スクリーンモニタ (MS)^[4]、スリットスキャナ (SS) が設置され、またバンチ長測定用に 2.6 GHz 偏向空洞 (CD) が設置されている。輸送中のビーム電流は、Faraday cup (MSGE01 の位置) およびビームダンプで測定可能となっている。他に、放射線損失量を測定するためのロスモニタシステムも設置されている。

光陰極 DC 電子銃は ERL での重要な開発要素であり、JAEA が中心となって開発を進めている 1 号機^[5]と、KEK が中心となって開発を進めている 2 号機^[6]がある。cERL 入射器コミッショニングでは、JAEA で開発された 550 kV 電子銃を使用している。電子銃は、JAEA での高電圧での大電流引き出し (500 kV, 1.8 mA) 試験^[5,7]の後に、2012 年秋に KEK の ERL 開発棟に移設され、現地での高電圧印加試験を実施した。高電圧試験の結果、放電が見られず安定に運転できる電圧として 390 kV でビーム運転を行うことに決定した。電子を引き出す光陰極として GaAs を使用し、光陰極に照射するレーザーとして 532 nm のレーザーシステムが用いられる^[8]。入射器コミッショニングでは、基本的に CW 運転での大電流を必要としないため、1.3 GHz の CW レーザーから切り出したマクロパルスで運転される。基本的なマクロパルス幅は 1 μ s (必要な平均電流に応じて可変) で、マクロパルスの繰り返し周波数は 5 Hz である。

バンチャー空洞は、1.3 GHz の常伝導空洞が用いられる。通常運転時に想定される加速電圧は 90 kV である。バンチャー空洞を駆動する RF 源として、20 kW IOT が用いられる^[9]。

入射器超伝導加速空洞は、2-cell の 1.3 GHz 超伝導空洞 3 台が一つのクライオモジュール内に収められている^[10]。1 台目の空洞 (CAV1) の RF 源は 25 kW Klystron で、2-3 台目の空洞 (CAV2, 3) は 1 台の RF 源 (200 kW Klystron) で駆動されベクターサム (VS) 制御される^[9]。

¹周回部のループ数によって変わる。シングルループで最大 125 MeV、ダブルループで最大 245 MeV となる。

今回のビーム運転では空洞 1 台あたりの最大加速電場 E_{acc} を 7 MV/m としており、このとき加速後のビームの運動エネルギーは 5.5 MeV となる。

入射器空洞の下流には、合流部に向けたビーム光学系を調整するための 5 連四極電磁石が配置される。周回部運転のときには、この下流に 3 台の偏向電磁石で構成される合流部が設置され、周回部に合流した後に主加速空洞^[11,12]で加速・エネルギー回収される。今回の入射器コミッショニングでは、合流部の代わりに入射器診断ラインにビームを導く真空チャンバーが設置される。診断ラインには入射器で生成された超低エミッタンスビームの品質測定をするための診断装置が配置される。横方向診断ではスリットスキャン法、ウェイトスキャン法が使用可能であり、進行方向診断では偏向空洞法の使用が可能である。これらの装置によって、縦・横両方の位相空間の情報を取得可能となっている。周回部建設後も入射器診断ラインはそのまま残され、合流部の偏向電磁石をオフにすることによって、診断ラインへビームを導くことが可能となっている。

入射器コミッショニングでは、上流側からこれらの装置の立ち上げ試験を実施した後に、損失なくダンプまでビームを輸送するための調整を行った。ある程度ビームを輸送条件を確立した後に、各装置の性能試験とともに、ビーム性能向上のための試験を実施した。

3. 入射器コミッショニング計画

3.1 入射器コミッショニングの目標設定

ERL の特徴として、従来の貯蔵リング型光源のように電子ビームの品質が放射励起・減衰の平衡状態に依らないということがあり、入射器で如何に品質の高いビームを生成するかということが重要となる。入射器でのビームコミッショニングでは、入射器を構成する各機器の試験とともに、ビーム性能を設計条件に近づけていくことが目標となる。ビームダイナミクスの目標としては、粒子トラッキングシミュレーションから 7.7 pC/bunch の電荷 (1.3 GHz CW で 10 mA に相当) をもつ電子ビームに対して、0.26 mm mrad 程度のエミッタンス (バンチ長 2-3 ps) が得られている²。この値は周回部で最適な条件になるときの値であり、各機器の性能が達成され、装置を十分に調整した後に到達可能な値である。コミッショニングの最初では、ビーム性能向上の前提条件となる機器の性能試験も重要な項目であるため、より現実的な値を定めて段階的に最終目標に近づけていく必要がある。また、コミッショニング期間が 2 か月程度に限られていることも考慮して、ビームダイナミクスの最低限の目標を表 1 のように定めた。仮にこの値よりも悪い値しか得られない場合には、何かしらの大きな問題があることが推測される。

入射器コミッショニングの目標設定に当たっては、ビームダイナミクスから定めた目標とともに、現実の加速器として運転するための外的な条件を考慮する必要がある。外的な条件としては、運転期間や人員の配分、放射線発生装置としての施設検査合格などがある。これらの条件を考慮して、入射器コミッショニングの目標を次のように定めた。

²合流部主空洞を通過した後の値。合流部を通さずに入射器診断ラインに導いたときには 0.2 mm mrad となる。

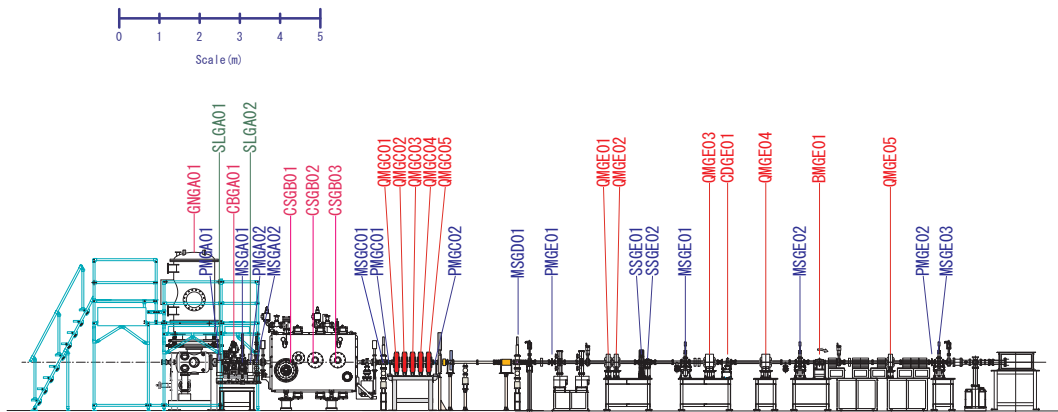


Figure 1: Layout of cERL injector in injector commissioning operation.

Table 1: Beam Parameters in cERL Injector Commissioning

Gun voltage	390 kV
Kinetic energy	5.5 MeV
Maximum bunch charge	7.7 pC/bunch
Acc. gradient, E_{acc}	7 MV/m
Normalized rms emittance	< 1 mm mrad
Bunch length	1-3 ps

1. 電子ビームの生成・加速を実証し、ダンプまで損失なく輸送（施設検査に向けた条件）
2. 機器の性能試験
3. ビーム調整法の確立
4. ビーム品質の測定（少なくとも表1の条件の達成）

また、時間に余裕があれば、これらの他に周回部に向けたビーム調整を実施することも、入射器コミッショニングの目標とした。

3.2 入射器コミッショニング計画

入射器コミッショニングの期間は、2013年4月22日から26日、5月14日から6月28日までの約2か月間となる。放射線施設検査の日時は、5月23日に予定されており、少なくともこれ以前にビームダンプまで損失なくビーム輸送可能な状態まで持っていく必要がある。これらの外的な条件の下では、施設検査が一つの重要な通過点となることから、次の2つの段階に分けてコミッショニング計画を立案した。

1. 施設検査に向けた調整（最大出力の2-3割）
2. 機器の性能試験、ビーム性能向上

まず第1段階の「施設検査に向けた調整」では、放射線申請の最大出力 $6 \text{ MeV} \cdot \mu\text{A}$ に対して、その2-3割程度の出力で輸送した状態を保持することが必要となる。限られた時間（2週間程度）で確実に放射線施設検査に合格するために、調整項目を減らしてできるだけ早く施設検査に必要な条件に到達することを基本方針とした。こ

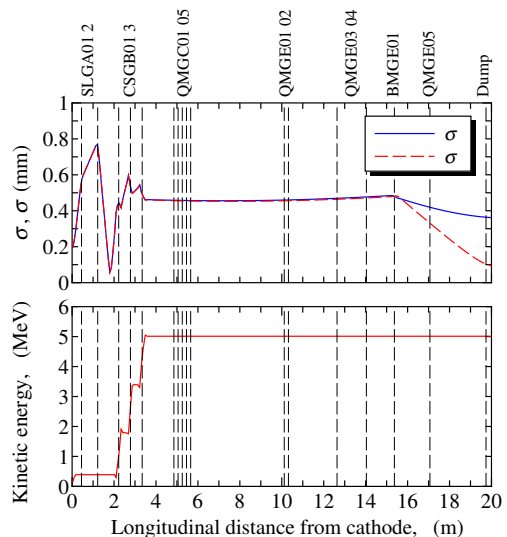


Figure 2: Calculated beam optics and energy for radiation inspection of cERL injector.

のために、空間電荷の効かない電荷量（数百 fC/bunch）、バンチャー空洞はオフ、ソレノイド2台のみの調整でダンプまで輸送という条件でビーム光学系を設定した。このときのビーム光学系を図2に示す³。

次に第2段階の「機器の性能試験、ビーム性能向上」においては、機器の性能評価を優先することを基本方針とした。これは、機器に問題があったときの対策時間を確保するためである。実施項目としては、大きく分けて1. 機器の性能試験（電子銃、超伝導空洞、バンチャー空洞、モニターシステム等）、2. ビーム調整法の確立、の2つに分けられる。ビーム調整法の確立において重要となるのが空間電荷効果であり、これが効くバンチ電荷がどうかで調整方法が大きく異なる。まず、空間電荷効果が効かないバンチ電荷での調整を実施し、ビームライン全体で大きな問題がないことを確認した後に、空間電荷効果が効くバンチ電荷の調整に移り、空間電荷効果の理解と調整法の確立を進めるとともに、周回部運転に向けた 7.7 pC/bunch での運転条件確立が最終目標となる。

³このときの計算では、ビーム運動エネルギーを 5.5 MeV ではなく、 5 MeV に設定している。

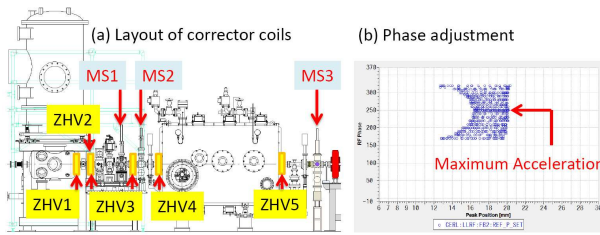


Figure 3: Beam energy measurement using orbit corrector coils. a) layout of corrector coils and screen monitors. b) result of phase adjustment for CAV2 and 3.

4. 入射器コミッショニングの結果

4.1 放射線施設検査合格まで

放射線施設検査は 5/23 に予定されており、4/22 から 4/26、5/13 から 5/23 の約 2 週間がそのための調整期間となった。限られた期間で放射線施設検査に必要なビーム性能を達成するために、次の 4 つのステップ、Step 1: 電子銃から入射器入口までの区間の調整、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)、に従って効率的にビーム調整を実施することとした。施設検査では平均ビーム電流が重要でありバンチ電荷を考慮する必要がないため、空間電荷効果の効かない低バンチ電荷 (20 fC/bunch 程度) での運転とした。4/22 に Step 1 を実施し入射器空洞に入る軌道を調整した後、4/23 に Step 2 の 390 keV ビームを入射器空洞を通してダンプまで輸送する試験を実施した。しかしながら、390 keV ビームではエネルギーが低いため、僅かな環境磁場でもその影響が非常に大きく現れ、20 m 下流まで輸送するのが非常に難しいということがわかり、Step 2 を飛ばして 4/24 から Step 3 の入射器空洞での加速調整に移ることとした。Step 3 では、入射器空洞とビーム位相差の不整合によって生じる電子ビームの逆流を避けるために、1 台目の空洞から順番に低い加速電場から位相調整を始めることとした。加速位相調整は空洞直下流に設置された軌道補正用空芯コイルとスクリーンモニタを組み合わせで実施した。空芯コイルの磁場を振幅一定の正弦波で時間変化させたときのビーム位置変動幅を測定し、それが最小となることから最大加速位相を決定した (図 3)。4/25 に 3 台の加速空洞の位相調整を実施し 5 MeV の加速に成功した。4/26 に Step 4 を実施し、レーザーのマクロパルス幅を伸ばして平均ビーム電流を増強し、施設検査に必要なビーム性能 (平均電流 150 pA) に到達することができた。このときのビーム運転では図 2 に示したビーム光学系を設定しており、図 4 に示したスクリーンモニタで測定したビームプロファイルが示すように、ソレノイド 2 台と軌道補正コイルの調整によって、ダンプまでビームを輸送できることが確認された。

5 月のビーム運転再開から施設検査に向けたより詳細な調整を実施し、5/23 に施設検査を受け、5/27 付で合格となった。

4.2 放射線施設検査合格後の試験

放射線施設検査合格後に次の段階の試験として、機器の性能試験、ビーム調整法の確立、ビーム品質の測定

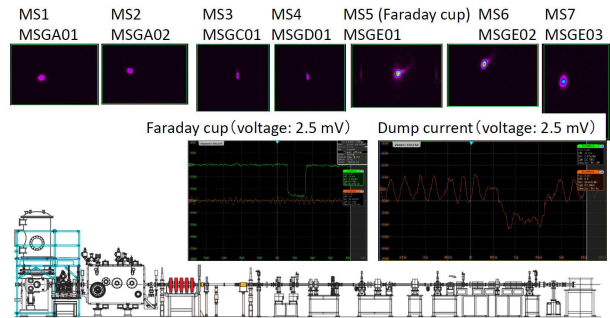


Figure 4: Beam profiles at screen monitors for radiation inspection of cERL injector.

を実施した。基本方針として、機器の性能試験を優先し、RF システム安定化試験 (ビームエネルギーの安定化)、バンチャー空洞試験 (施設検査まではビーム運転で使っていなかったため)、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 (Machine Protection System) 系の整備を実施した。他に、CW 運転テスト、大電流試験 (最大 1 μ A) を予定していたが、これらの試験のための時間が取れなかったため実施しなかった。

ビーム調整法の確立に対しては、オプティクス診断・モニター類校正 (スクリーン、BPM, slit scanner, 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) を実施した。周回部運転に向けたオプティクスの確立も予定していたが、時間が取れなかったため未実施となった。

ビーム調整法の確立のための試験と並行して、ビーム品質の測定を実施した。ビーム品質測定では、横方向ビーム性能評価 (ウェイトスキュン法によるエミッタンス測定、スリットスキュン法による横方向位相空間測定、ビームプロファイル測定)^[13]、縦方向ビーム性能評価 (偏向空洞法によるバンチ長測定、偏向電磁石と組み合わせた縦方向位相空間測定)^[14] を実施した。これらの測定は、空間電荷効果の効かない微小電荷領域 (10 ~ 20 fC/bunch) で検証した後に、レーザーシステムを増強して空間電荷効果が顕著に現れる最大 7.7 pC/bunch で実施した。2 つの異なるバンチ電荷 1.5 pC/bunch と、7.7 pC/bunch で運転したときに測定したビームプロファイルを図 5 に示す。大電荷での試験は 6 月最後の 1 週間程度しか行えておらず、より詳細な調整とビーム性能向上は今後の課題となる。

cERL 入射器の運転パターンは、月曜に超伝導空洞の冷却開始、火曜以降は空洞エージング後に 22 時までビーム運転、金曜夜にビーム運転と空洞冷却を停止し、土日は冷凍機停止・空洞自然昇温となっている。

4.3 cERL 入射器コミッショニングでの成果

ビーム性能評価では、電子銃直下 (390 keV, ~10 fC/bunch) で規格化エミッタンス 0.07 mm mrad を達成し、ほぼ GaAs とレーザー波長で決まる値となることを確認した^[13]。超伝導加速空洞での加速後の性能は、空間電荷効果の効かない低バンチ電荷 (5.6 MeV, ~10 fC/bunch) に対して、規格化エミッタンス 0.2 mm mrad を達成した^[13]。ある程度低い値を達成できたが、計算

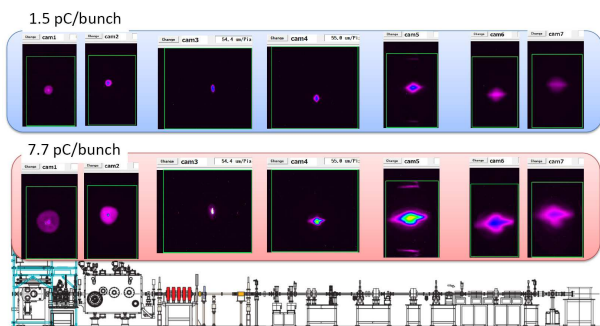


Figure 5: Beam profiles at screen monitors with 1.5 pC/bunch and 7.7 pC/bunch.

では 0.1 mm mrad まで低減可能であり、さらに調整の余地がある。大電荷 (5.6 MeV, 最大 7.7 pC/bunch) のビームに対しては、バンチ長 7 ps rms、エネルギー拡がり 1.5^{-3} rms、規格化エミッタンス ~ 0.8 mm mrad となった [13, 14]。以上の結果より最低限の目標として定めた 1 mm mrad 以下は得られたので、cERL 入射器全体において致命的な問題はないことが確認されたが、まだ十分に低い値にはなっておらず性能向上のために今後の検討が必要である。

次に機器の性能評価であるが、どの機器も安定して動作することが確認された。電子銃は 390 kV での運転で約 2 か月に渡り一度も放電することなく、非常に安定していた。入射器超伝導加速空洞システムについても空洞本体、RF 源、冷凍機ともに安定であった。また、RF 源については、コミッショニング中盤までエネルギー変動 (分散が有限の場所でのビーム位置変動) が観測されていたが、RF 源のフィードバックゲインの調整、空洞 CAV2-3 間の位相の精密調整によってエネルギー変動を抑えることができた。

最後に、ビーム調整法の確立については、空洞位相調整法 (エネルギーを空芯補正コイルで診断)、収束電磁石 (ソレノイド、四極) 内の軌道調整法を確立することができた。ERL 入射器での性能を大きく左右する RF 空洞の軌道中心調整は、加速位相に対するビーム軌道の応答を測定するという方法である程度確立することができたが、まだ十分ではなく今後の課題となっている。ビームダイナミクスのテーマとして、電子銃や RF 空洞による収束・発散力を評価することが測定と計算を合わせていく上で重要となる。電子銃の収束力評価試験を実施し、カソード近傍の電極配置を見直すことで測定と計算を一致させることができた。また、超伝導空洞 CAV1 による収束・発散力の詳細な測定も実施しており、水平・垂直方向のビームプロファイルの非対称性の原因を特定するための解析を現在進めている。空間電荷効果の理解については、電子銃直下流でのソレノイドに対するビームサイズの応答測定、超伝導空洞での加速後のビーム品質測定によるデータを取得しており、現在解析を進めているところである。

5. まとめ

2013 年 4 月に cERL 入射器の建設が完了し、4/22 ~ 6/28 までの約 2 か月間ビームコミッショニング運転を行った。短期間での立ち上げを実現するための cERL 入

射器コミッショニング計画を立案し、前半に施設検査に向けた調整、後半に機器の性能検査・ビーム調整法の確立・ビーム品質の測定を実施した。ビーム運転開始から 1 週間で、超伝導加速空洞での加速・ダンプまでの輸送に成功し、5/23 に放射線施設検査を受け、5/27 に合格することができた。施設検査合格後に、機器の性能試験・ビーム性能向上のための試験を開始し、5.6 MeV での規格化エミッタンスとして、0.2 mm mrad (~ 10 fC/bunch)、および ~ 0.8 mm mrad (7.7 pC/bunch) を達成した。次の目標である 7.7 pC/bunch で 0.2 mm mrad に向けた調整は今後の課題となる。また、空間電荷効果の理解に向けて詳細なデータ解析を進めている。6/28 に入射器コミッショニングを終了し、現在周回部の建設を進めており、2013 年秋から cERL 全体でのコミッショニングを開始する予定である。

参考文献

- [1] N. Nakamura, "Review of ERL Projects at KEK and Around the World", Proceedings of IPAC'12, New Orleans Louisiana, USA, May 20-25, 2012, p. 1040.
- [2] N. Nakamura, et al., "コンパクト ERL 周回部のオプティクス設計", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SAP021.
- [3] H. Matsumura, et al., "ERL 開発棟におけるコンパクト ERL 入射部の新設に伴う放射線安全対策", KEK Internal 2013-1.
- [4] R. Takai, et al., "コンパクト ERL 用ビーム位置モニターとスクリーンモニターの開発", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SAP024.
- [5] N. Nishimori, et al., Appl. Phys. Lett. **102**, 234103 (2013).
- [6] M. Yamamoto, et al., "ERL 第二電子銃の開発状況", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SUP034.
- [7] N. Nishimori, et al., "光陰極直流電子銃から 500keV-mA 電子ビームの生成", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, MOOT03.
- [8] Y. Honda, et al., "ERL 試験加速器研究施設入射部における光陰極電子銃用レーザーシステムの開発", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SAP107.
- [9] T. Miura, et al., "cERL 入射器の高周波システム", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SUP051.
- [10] E. Kako, et al., "High-Power Test of Injector Cryomodule for Compact-ERL", Proceedings of IPAC'13, Shanghai, China, May 12-17, 2013, p. 2340.
- [11] K. Umemori, et al., "ERL 主加速部超伝導空洞の開発", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SUP042.
- [12] H. Sakai, et al., "Compact ERL 主加速部超伝導空洞クライオモジュールのハイパワーテスト", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, MOOT09.
- [13] Y. Honda, et al., "ERL 試験加速器入射部における横方向ビーム性能評価", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SUP011.
- [14] Y. Honda, et al., "ERL 試験加速器入射部における縦方向ビーム性能評価", Proceedings of the 10th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013, SUP010.