

## KEK 電子陽電子入射器棟クライストロンギャラリー最下流部の更新

### UPDATE OF MOST DOWNSTREAM PART OF KLYSTRON GALLERY IN KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

川村真人<sup>#,A)</sup>, 中島啓光<sup>A)</sup>, 松本修二<sup>A)</sup>, 夏井拓也<sup>A)</sup>, 明本光生<sup>A)</sup>, 本間博幸<sup>A)</sup>, 設楽哲夫<sup>A)</sup>, 竹中たてる<sup>A)</sup>  
Masato Kawamura<sup>#,A)</sup>, Hiromitsu Nakajima<sup>A)</sup>, Shuji Matsumoto<sup>A)</sup>, Takuya Natsui<sup>A)</sup>, Mitsuo Akemoto<sup>A)</sup>,  
Hiroyuki Honma<sup>A)</sup>, Tetsuo Shidara<sup>A)</sup>, Tateru Takenaka<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

#### Abstract

At the most downstream part of the klystron gallery in the KEK electron/positron injector linac, as an rf source, a set of one pulse klystron and one large modulator (resonant charging type modulator) for a positron energy compression system (ECS) in beam transport line (BTP-ECS) has been operated. Since the budget for electron ECS in beam transport line (BTE-ECS) was approved from 2022 JFY, the update plan of the rf sources, for example, the downsizing of a large modulator to a small one (inverter charging type modulator), was started. This paper reports the outline and the current status of the plan.

#### 1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器棟クライストロンギャラリー最下流部では、高周波源として、これまで入射器下流のビーム輸送ライン内陽電子エネルギー圧縮システム (BTP-ECS)用のパルスクライストロン[1]1 台と大型モジュレータ(共振充電型モジュレータ)[2-3]1 台を運転してきた。

今年度 2022(令和 4)年度より電子用 ECS(BTE-ECS)建設の予算が認められた。BTE-ECS 用高周波源として、最下流部にクライストロン及びモジュレータ各2 台の運転が要求されている。更に入射器の長時間連続運転に備え、大電力機器試験用のテストスタンドの構築が必要不可欠な状況である。

本論文では、入射器棟クライストロンギャラリー最下流部の高周波源更新について、その概要や作業の現状などを報告する。

#### 2. 電子ビーム輸送ラインにおけるエネルギー圧縮システム

SuperKEKB の設計戦略は、ナノビーム方式 (Nano-beam Scheme) [4]に基づいている。SuperKEKB の短いビーム寿命と小さい入射アクセプタンスに対応する低エミッタンスで高電荷ビームを得るためにも、入射器の更新が必要である。

SuperKEKB の入射に必要な電子ビームパラメータは、4 nC、20 mm-mrad である。入射器では、電子源として、集束電場を備えたフォトカソード RF-gun を設置し、既に 10 mm-mrad 以下の十分な低エミッタンスを生成できる。ただし入射器で予測される Emittance Dilution[5]は、低エミッタンスを目指す場合に重要な問題になる。

対策として、バンチ圧縮(Bunch Compression)システムは、加速構造内の横方向ウェイク場による横方向 Emittance Dilution を回避する効率的な方法だが、加速

構造の縦方向ウェイク場により、エネルギーの広がりが大きくなる。

これに対し、電子ビーム輸送ライン内エネルギー圧縮システム(BTE-ECS) は、SuperKEKB リング入射に合わせてエネルギーの広がりを小さくするのに非常に効果的である。

Figure 1 に、KEK つくばキャンパス内の、BTE-ECS の建設が計画されている場所の概略図を示す。入射器 (Fig. 1 内の「Linac」と PF-AR(放射光アドバンスリング、Fig. 1 内「AR」)との間のビーム輸送ラインの直線部であり、多くの加速空洞を配置するのに十分な空間がある。一方、加速空洞に供給する RF 電力は、入射器クライストロンギャラリーの高周波源から供給する。入射器最下流の第3スイッチヤード(Fig. 1 内の「SY3」)の長さのみで 51 m あり、BTE-ECS 用加速空洞まで、導波管の長さは 100 m 以上が必要である。なお、BTE-ECS 用加速空洞については、New SUBARU 入射器から移設したものを使用する予定である。

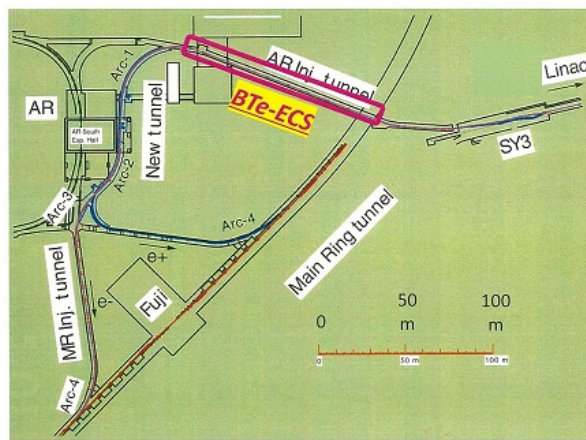


Figure 1: The BTE-ECS construction plan.

<sup>#</sup> masato.kawamura@kek.jp

### 3. クライストロンギャラリー最下流部の更新計画

#### 3.1 高周波源の構成

New SUBARU 入射器から移設する、BTe-ECS 用加速空洞を運転するには、最大 80 MW の RF 電力を高周波源から出力する必要がある。これに対し、入射器で使用しているクライストロン(今後新規に購入するのはキヤノン電子管デバイス(株)製 E3730A)は最大 50 MW であり、クライストロン 2 本の出力を結合する必要がある。一方、現在の陽電子用エネルギー圧縮システム(BTp-ECS)も運転を継続する。

上述の課題を克服するため、高周波源の構成を以下の通りとする。

- BTe-ECS 用高周波源を、クライストロン、モジュレータとも 2 台構成とする。
- BTe-ECS 用 RF 電力は、ローレベル RF の位相制御で結合(combine)する。
- BTe-ECS と BTp-ECS は同時運転しないので、高周波源を兼用する。
- スペースの関係上、これまで使用していた大型モジュレータを小型化[6]し、モジュレータは全て小型モジュレータ(インバータ充電型モジュレータ)とする。
- 更に、RF ハイパワーテストを行う Test Station も近くに設置する。

Figure 2 に、高周波源の構成図を示す。

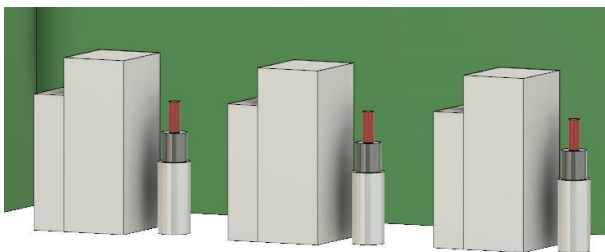


Figure 2: The plan of the klystrons and the small modulators at the most downstream part of the klystron gallery. There will be 3 klystrons (combinations of cylinders) and 3 modulators (sets of two cuboids). From left to right: ECS#1, ECS#2, the test station.

Figure 3 にクライストロン E3730A (全長 1.4m、重量 140kg)を示す。

BTe-ECS 用高周波源には、高い安定度が求められるので、インバータ電源(モジュレータ用充電電源)は日本高周波(株)製高精度型(電圧安定度  $\pm 0.03\% \text{p-p}$ )[7]を使用する。現在入射器では、最上流部でこの高精度型を使用している。Figure 4 に高精度型インバータ電源、Fig. 5 にこのインバータ電源(大きさ  $1.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 3.1 \text{ m}$ )を使用している小型モジュレータを示す。

#### 4. 更新の現状

今年度 2022(令和 4)年度の予算で BTe-ECS の建設が認められ、4 月より機器の調達などを開始した。更新予定場所は、入射器が今年 7 月 12 日まで終夜連続運転



Figure 3: The klystron E3730A.



Figure 4: The highly precise inverter PS.



Figure 5: The small modulator using the highly precise inverter PS (left) and the klystron (right).

を行っており、現状は Test Station 用のモジュレータ用筐体を設置して、配線作業の一部を終えたのみである。Figure 6 に更新予定場所の現状を示す。

機器調達の現状を以下に示す。

クライストロン電源(インバータ電源を除く)の納期が 1 年以上かかる事が分かり、今年度は筐体のみを購入する事となった。

高精度型インバータ電源も納期が 1 年以上かかる事



Figure 6: Current status of the planned update site. A housing for a small modulator (right) and a large modulator and a klystron (left).

がわかり、今年度の納品は無く、来年度以降の調達の方策を講じる必要がある。

また、クライストロン・モジュレータの増設(1台から3台へ)に備えた冷却水設備の更新(ポンプ・熱交換器の増強や冷却水配管の大口径化)について、材料価格の高騰や納期の長期化などにより、当初計画の見直しが必要となっている。

## 5. まとめ

SuperKEKB の性能向上のため、電子ビーム輸送ラインエネルギー圧縮システム(BTe-ECS)の建設に対応した、入射器クライストロンギャラリー最下流部の高周波源更新について報告した。更新の状況については、今後も随時報告を行う予定である。

## 参考文献

- [1] S.Fukuda, “加速器と Klystron その一 電子線形加速器用 S バンドパルス Klystron の発展” J. Particle Accelerator Society of Japan, Vol. 11, No. 1, 2014, pp. 11-23;  
<https://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles%2F11%2Fp11-23.pdf>
- [2] T. Shidara *et al.*, “Klystron Modulator for the KEK 2.5GeV Linac”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A279 (1989), pp. 423-432.
- [3] H. Honma *et al.*, “Upgrade of the PF 2.5-GeV Linac Klystron Modulator for the KEKB”, Proc. of LINAC94, Tsukuba, Japan, Aug. 21-26, pp. 436-438;  
<https://epaper.kek.jp/l94/papers/tu-30.pdf>
- [4] Y. Funakoshi, “1.SuperKEKB のマシンパラメータ～ナノビーム方式と低エミッタンス”, 高エネルギー加速器セミナー OHO2011, Tsukuba, Japan, Sep. 6-9, 2011, pp. 1-1 - 1-31.
- [5] A. W. Chao *et al.* ed., Handbook of Accelerator Physics and Engineering, 2<sup>nd</sup> ed., World Scientific Publishing, 2013, Sec. 4.3.1, pp. 321 - 326.
- [6] H.Nakajima, “小型パルス電源の特性と今後の課題” Proceeding of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, Japan, Jul. 30-Aug. 1, 2003;  
[https://www.pasj.jp/web\\_publish/lam28/proceedings /WD-4.pdf](https://www.pasj.jp/web_publish/lam28/proceedings /WD-4.pdf)

- [7] H. Akikawa *et al.*, “パルス変調器用高精度コンデンサ充電器の開発”, Proceedings of the 12th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsuruga, Japan, Aug. 5-7, 2017, pp. 1143-1145;  
[http://www.pasj.jp/web\\_publish/pasj2015/proceedings/PDF/THP0/THP066.pdf](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2015/proceedings/PDF/THP0/THP066.pdf)