

SuperKEKB 入射器の高周波制御システム

RF CONTROL SYSTEM FOR SUPERKEKB INJECTOR LINAC

矢野喜治^{#,A),B)}, 明本光生^{A),B)}, 荒川 大^{A)}, 片桐広明^{A)}, Qiu Feng^{A)}, 設楽哲夫^{A),B)}, 竹中たてる^{A)}, 中尾克己^{A)},
中島啓光^{A)}, 福田茂樹^{A),B)}, 本間博幸^{A)}, 松下英樹^{A)}, 松本利広^{A),B)}, 三浦孝子^{A),B)},
道園真一郎^{A),B)}

Yoshiharu Yano^{#,A),B)}, Mitsuo Akemoto^{A),B)}, Dai Arakawa^{A)}, Hiroaki Katagiri^{A)}, Feng Qiu^{A)}, Tetsuo Shidara^{A),B)},
Tateru Takenaka^{A)}, Katumi Nakao^{A)}, Hiromitsu Nakajima^{A)}, Shigeki Fukuda^{A),B)}, Hiroyuki Honma^{A)}, Hideki
Matsushita^{A)}, Toshihiro Matsumoto^{A),B)}, Takako Miura^{A),B)}, Shinichiro Michizono^{A),B)}

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

^{B)} Department of Accelerator Science, Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

Abstract

We are driving 60 klystrons in the KEK electron & positron linac. We had installed the klystron modulator control system in 1982 and upgraded in 1994 & 1998. This control system consists of PLC and Touch-panel. We will install a new control system which is constructed with CPLD, FPGA and tablet PC. Current klystron drive system consists of a phase shifter, an attenuator and an RF-switch. Since the system becomes old and does not satisfy the requirements of super KEKB, we develop a new drive system with high precision using IQ modulator. RF drive system will be operated by EPICS. Here, these new control systems are reported.

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子入射器 (Lianc) は 1982 年に PF リングの電子入射器として運転を開始した。PF リングへのビーム入射を継続しつつ 1994 年から大幅な増設を行い 1998 年には KEKB の電子陽電子入射器としての運転も始まった。この時モジュレータ電源制御の効率化のため PLC とタッチパネルが導入された。また LLRF の制御システムもこの時期に改造されパルス変調、位相変調などの機能ごとに NIM モジュール化された。これ

らの機器は PLC を介して HOST コンピュータに接続されておりリモート制御可能である。タッチパネルはモジュレータ電源の Auto Es Up、Auto RF ON 等の設定に使用されている。Figure 1 に Linac の高周波制御系の全体像を示す。これら制御機器は新しいものでも導入から 10 年以上経過し老朽化による故障が目立ってきた。さらに SuperKEKB の運転を控え EPICS に対応する必要がある新しい制御システムの開発を進めてきた。今年の夏の長期メンテナンス中に電源制御用のモジュール 60 台と LLRF の制御システム 20 セットの入替えを行なう予定である。

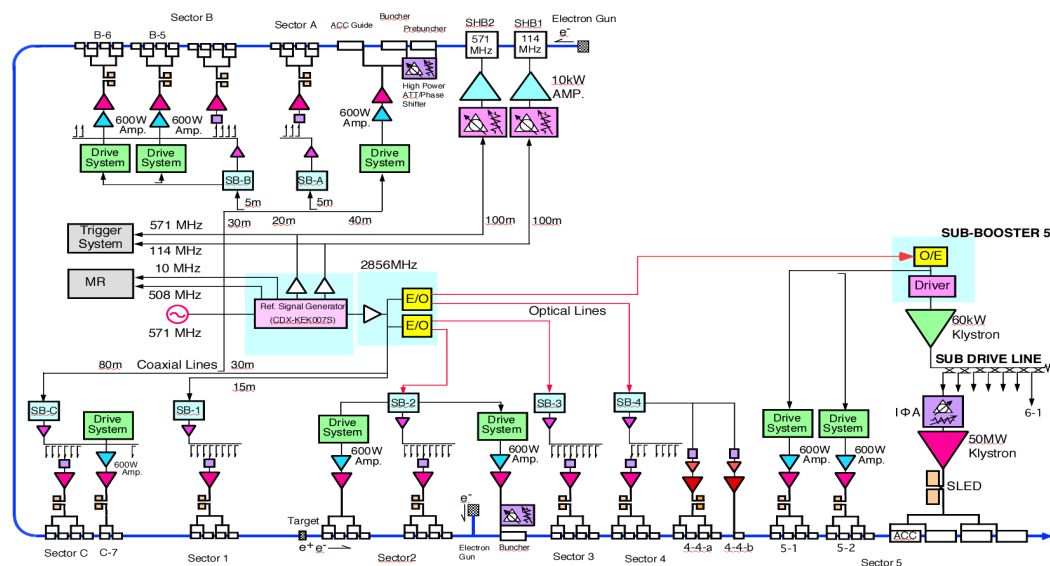


Figure 1: General drawing of a high frequency control drive system.

[#]yoshiharu.yano@kek.jp

2. モジュレータ電源の制御システム

稼働中の旧 KLY 制御システムはインターロックモジュール、ローカルコントロールモジュール及びサンプルホールドモジュール等の CONTROL-1、PLC とタッチパネルの CONTROL-2 で構成されている。Figure 2 に旧 KLY 制御システムのブロック図とその写真を示す。

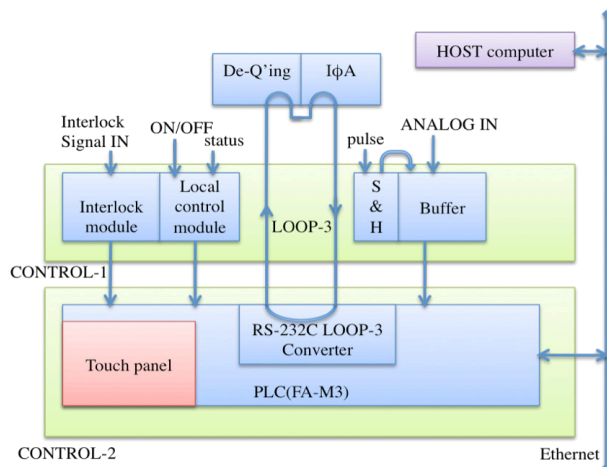


Figure 2 a): The block diagram of an old KLY control system.

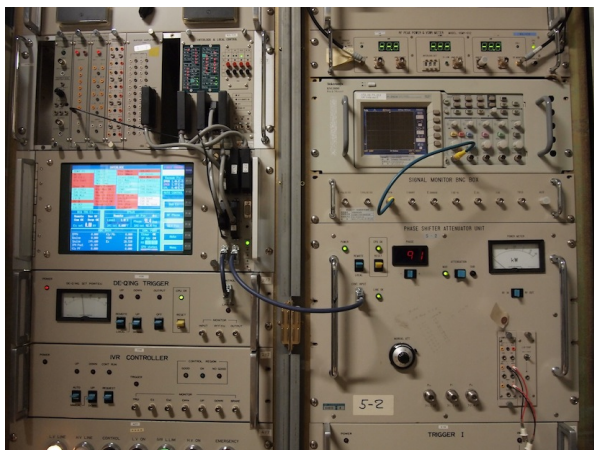


Figure 2 b): The photograph of an old KLY control system.

KEKB は改造のため停止中であるが PF ユーザーへのビーム供給は停止する事が出来ないため、旧制御システムから新制御システムへの移行は通常のメンテナンス期間を利用して行なわなくてはならない。制御システムを入れ替えても正常に動作する事を検証した上で移行する必要がある。これらの事から新コントロールモジュールは制御機器とコネクタ互換仕様にした。これまでのダイオードマトリックスによるインターロックにかえて制御部には CPLD と FPGA を採用した。これまで CONTROL-2 が行なっ

ていたファーストインターロック機能なども CONTROL-1 に持たせた。HOST との通信にはアットマークテクノ社の Armadillo を採用し、PLC の通信機能とソフトウェア互換にした。これによって新制御システムの試験中にトラブルが起きても即座に旧システムに戻すことが出来るため、様々な評価を行うことが出来た。Figure 3 に新制御システムのブロック図とその写真を示す[1][2]。

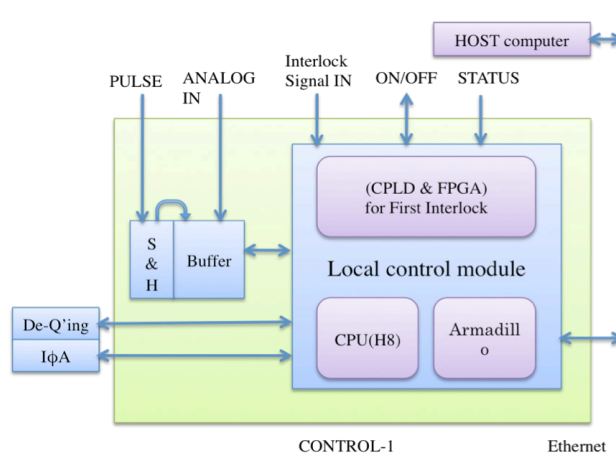


Figure 3 a): The block diagram of a new KLY control system.



Figure 3 b): The photograph of a new KLY control system.

新コントロールモジュールの導入で CONTROL-2 が不要になるがその場合タッチパネルも撤去されることになる。Auto Es Up、Auto RF ON 等の動作は HOST に移行しているので問題無いが、現場での設定と確認をするために何らかのパネルが必要である。各クライストロンのローカル制御端末にタブレット PC を導入し X-端末で HOST と同じ仮想パネルを使用することとした。Figure 4 に仮想パネルを示す。

タブレット PC は無線で制御 LAN に接続されて

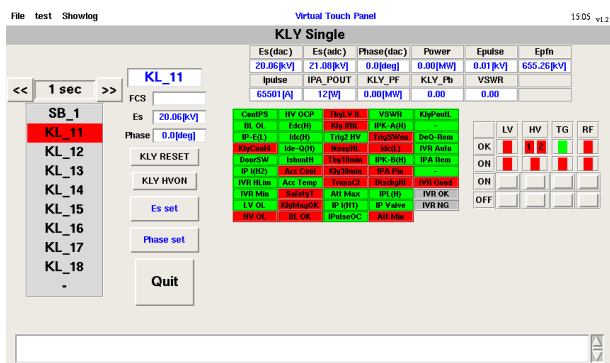


Figure 4: Virtual panel.

いるため制御端末を必要とする機器に簡単に移動して使用することができる[3][4]。

3. 低電力高周波(LLRF)制御システム

稼働中の旧励振器(Klystron Drive System)は1φA、AM、PM、インターロックモジュールなどの NIM

モジュールで構成されており前述の PLC 経由で制御されている。励振器の出力は1W アンプで増幅しサブブースタ・クライストロンをドライブし、1台のサブブースタは最大で8台の大電力クライストロンをドライブしている。電子銃やターゲット直後あるいはエネルギーノブ等単独に大電力クライストロンをドライブする場合は励振器の出力を600Wの半導体アンプで増幅して使用している。クライストロン保護のためには別途 VSWR メータを使用している。機器の老朽化と SuperKEKB へ対応するため新励振器には IQ 変調器と IQ 検出器を採用した。VSWR メータもログアンプを採用し新励振器に組込んだ。新励振器のブロック図と写真を Figure 5 に示す。新励振器は旧励振器とコネクタ互換の仕様とし RF 位相の設定も旧励振器同様アナログ信号で行っている。開発中に問題が起きた場合には即座に元の構成に戻すことができる。これによって運転中にハードウェアの開発と機器の入替えを行なうことができた。制御の主要部には FPGA を採用しているためソフトウェアの改修で今後とも様々な機能を追加することができる。Figure 6 に新励振器のトップ画面と波形モニタ時の画面を示す[5][6]。

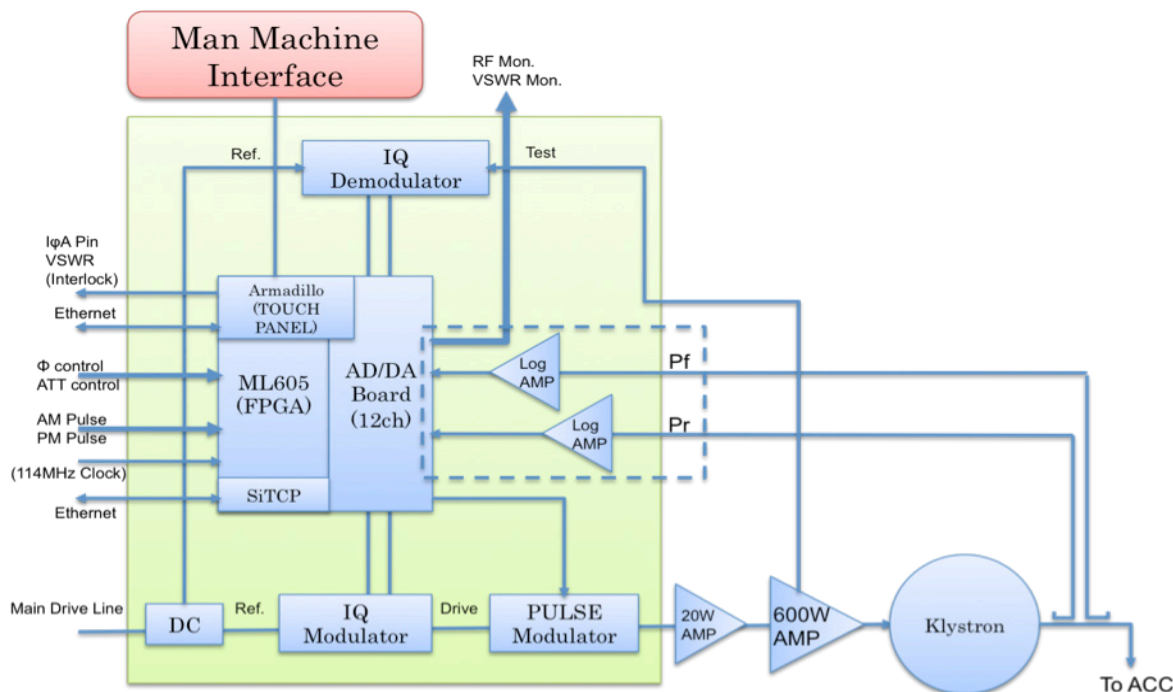


Figure 5 a): The block diagram of a new Klystron Drive System.



Figure 5 b): The photograph of a new Klystron Drive System.

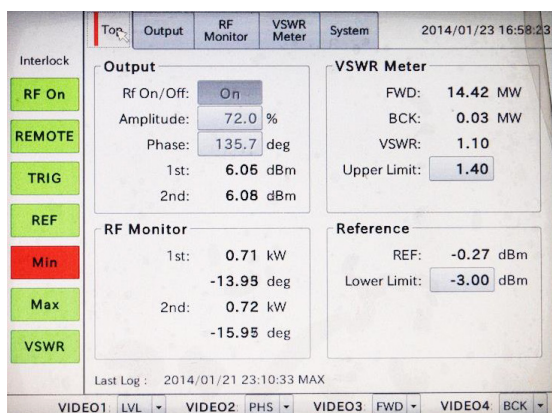


Figure 6 a): The top screen of a new Klystron Drive System.

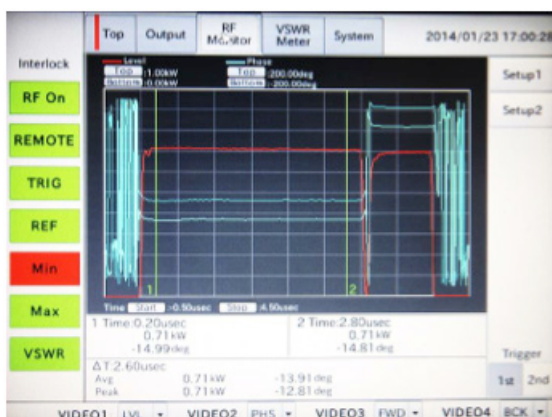


Figure 6 b): The waveform monitoring screen of a new Klystron Drive System.

現在はサブブースタに 1 台、大電力クライストロンに 6 台組込んで試験運転中である。今年の夏に組み込みを開始し最終的にはサブブースタ 7 台、大電力クライストロン 22 台の新励振器で運転する予定である。新励振器のハードウェア的な開発は終了しているため組み込み時にはアナログ制御で運転を再開する。

制御をデジタル化するためのプログラム開発も積極的に進めている。デジタル化は内部の FPGA プログラムの書き換えで可能であるためテスト用の新励振器に FPGA プログラムを組み込み様々な評価をしている。

最初の段階として、「SFP (Small Form Factor Pluggable) を介したイベント信号の受信」、「EPICS IOC の PC サーバーと 1 対 N で接続し RF の様々な情報の EPICS データ化」を実施する。これによりパルスごとの位相制御や測定データのタグ付けが可能になる。将来的には RF パルスの変調、フィードフォワード制御等を実施する予定である。

4. 検査治具

新しい制御システムを導入する場合これらの検査治具も同時に準備しておく事が望ましい。導入時の検査効率を上げると共に検査治具の取扱いを習熟しておくことでトラブル発生時の対応が迅速に行なえる。検査治具は夏季メンテナンスの時期に全数検査 (60 台) を行なうため、自動検査モードを備えている。運用中にトラブルが起きたとき現場に持ち込み即座に調査出来るよう可搬型になっている。Figure 7 に新コントロールモジュールの検査治具の写真を示す。

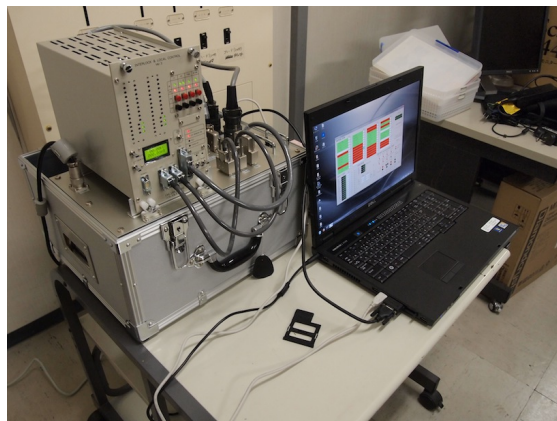


Figure 7: The inspection jig of a new control module.

検査治具は検査ボックスとノートパソコンを組合せて使用する。さらに HOST コンピュータと互換性のある制御ソフトを組込んだ別のノートパソコンも併用する事で制御ネットワークが無い製造業者の工場でも全機能の動作チェックを行なうことが出来る。

低電力高周波(LLRF)制御システムを中心とする新励振器の安定運用に必要なものが何時でも使える校正システムである。校正システムはネットワークアナライザ(NA)、パワーメーター、ステップアッテネーター等を組み合わせている。

Figure 8 に校正システムのブロック図を示す。構成機器をハーフラックに組み込み可搬型にしているためモジュラータ電源に新励振器を組み込んだ状態でも校正を行うことができる[6]。

この校正システムはドライブモジュールを変更する事で L バンドや C バンドの励振器にも使用可能である。また現在開発中の RF-IQ モニタの校正データ取得時にも使用できる[7]。

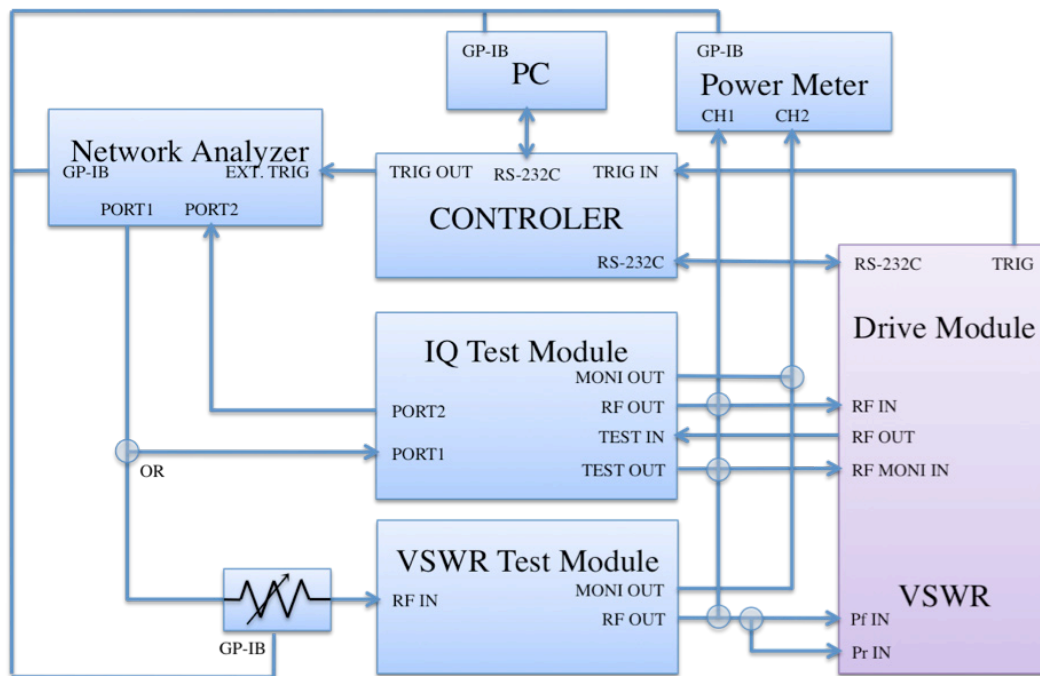


Figure 8: The block diagram of a proofreading system.

5. まとめ

電子陽電子入射器では SuperKEKB 実現に向けて様々な改造が行われている[8]。秋以降の運転ではモジュレータ電源の制御システムは EPICS による運転が可能になる。低電力高周波(LLRF)制御システムも新しいハードウェアの導入は修了する予定である。導入後しばらくは現在と同じアナログでの制御になるが制御グループが採用しているイベント制御に必要な様々なプログラムの導入を進め来年には完全デジタル化する予定である。

参考文献

- [1] Y. Yano, et al., “大電力クライストロンモジュレータ制御システムの更新” Proceedings 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Hiroshima, August 6-8, 2008
[2]<http://armadillo.atmark-techno.com>
[3] S. Kusano, et al., “入射器における組み込み EPICS を

- 利用したソフトウェアの開発” , Proceedings of 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 1-3, 2011
[4] Y. Yano, et al., “クライストロンモジュレータの新制御システム” Proceedings 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 1-3, 2011
[5] Y. Yano, et al., “小型励振系の開発” Proceedings 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, August 2-4, 2006
[6] Y. Yano, et al., “小型励振器と RF モニターの開発” Proceedings 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 1-3, 2011
[7] H. Katagiri, et al., “SuperKEKB 入射器の高周波モニターシステム” Proceedings 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 9-11, 2014
[8] R. Ichimiya, et al., “SuperKEKB に向けた電子・陽電子入射器 Linac 用ビーム位置モニターの読み出しシステム開発” Proceedings 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, August 2-6, 2013