

# DEVELOPMENT OF COMPACT KLYSTRON DRIVE SYSTEM

Yoshiharu Yano<sup>1</sup>, Toshihiro Matsumoto, Hiroaki Katagiri, Mitsuhiro Yoshida, Shinichiro Michizono, Shigeki Fukuda  
 High Energy Accelerator Research Organization  
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801 Japan

**Abstract**

Many high-power klystrons of KEK Linac are driven by the sub-booster klystron. Seven klystrons of 59 are driven with the semiconductor amplifier. We introduce the low cost drive system that uses the semiconductor amplifier. We introduce the development of a new excitation system that uses IQ modulator.

## 小型励振系の開発

### 1. はじめに

KEKの電子陽電子LINACは8セクター（A, B, C, 1, 2, 3, 4, 5）からなり、各セクターは1台のサブブースタークライストロンで4~8台の大電力クライストロンをドライブする方式をとっている。図1に現在のKEK電子陽電子LINACの概要を示す。通常ビームチューニングはサブブースターの位相を調整しセクター単位で行っている。しかし、最上流のKLY\_A-1と陽電子ターゲット直後のKLY\_2-1についてはそれぞれ独立に半導体励振系を導入しクライストロンを直接ドライブしている。このシステムはIφA（移相器減衰器）、AM（パルスモジュレータ）、PM（位相モジュレータ）、半導体ATTなどのNIMモジュールと大電力半導体アンプをラックに組み込みクライストロンの近くに設置して運用している<sup>[1]</sup>。

### 2. 半導体励振系

前出の様にクライストロンのモジュレータと独立に半導体励振系を設置した場合ノイズ、温度変動等に対する対策はとりやすいが制御モジュール、アンプ、ラック等が必要になるため割高になる。ビームスプレッドやビームエネルギーのフィードバックについてはKLY\_B-5, KLY\_B-6とKLY\_5-1, KLY\_5-2のクライストロンの位相を調整する事で実現しているがそれらは励振系が半導体化されていなかったため、モジュレータ内に組込まれたメカニカルな大電力IφAを使用していた。そのため可動部分の劣化による故障と隣り合わせで使用せざるをえなかった。それらを半導体化するにあたってネックとなっていたのは半導体アンプ（定格900W）の価格と励振系をラックに組む事によるトータルコストの上昇であった。

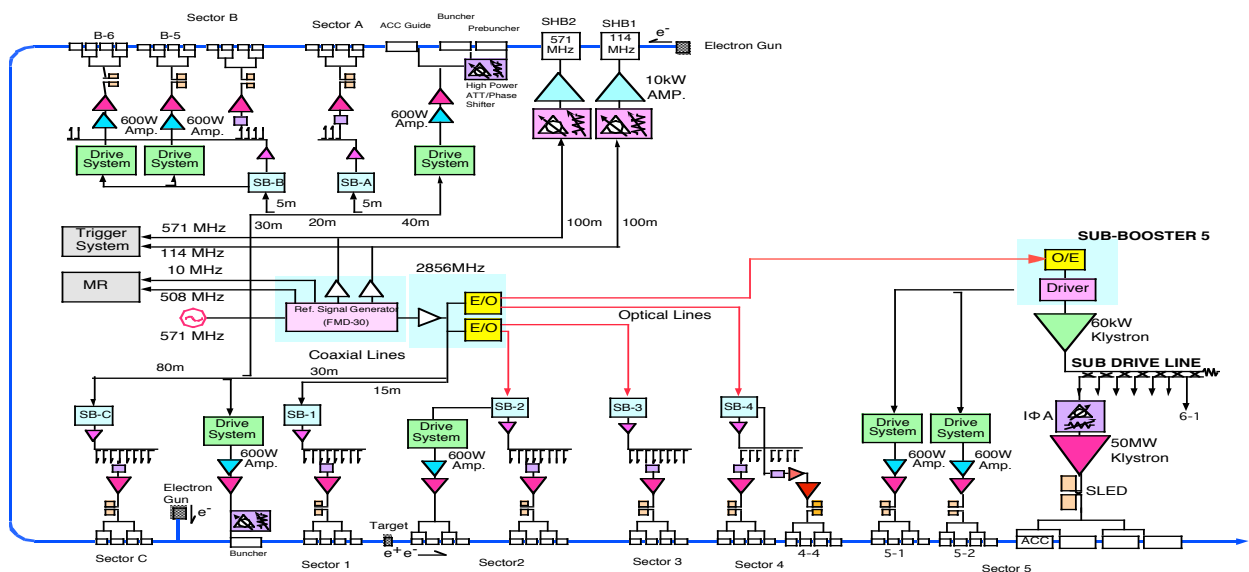


図.1 電子陽電子LINAC概要

<sup>1</sup> E-mail: Yoshiharu.yano@kek.jp

大電力クライストロンは入力コネクター部で約500Wのパワーが必要である。励振系を外部のラックに設置した場合ケーブルのロスがあるため900Wのアンプが必要となっていた。従来の1/3以下の価格で新しいアンプ(定格600W)が入手可能になったのでこのアンプを使用したシステムの再検討を行った。

安価な600Wのアンプを使用した場合、従来の方法ではクライストロンをドライブするだけのパワーを得る事が出来ないため最終段のアンプをクライストロン入力コネクターの近傍に吊り下げた。ケーブルのロスをもっと出来た事で600Wクラスのアンプでのドライブが可能になった。図.2に半導体励振系(KLY\_CT)の概念図、図.3にラック内蔵型のもとのモジュレータ内蔵型の写真を示す。

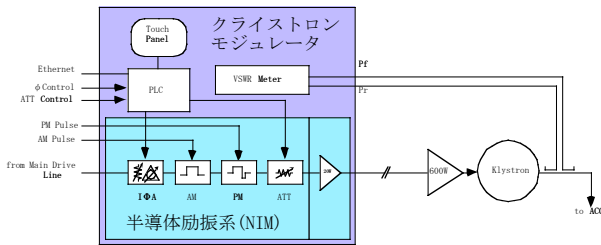


図.2 半導体励振系概念図



図.3 : 旧KLY\_A-1励振系と新KLY\_CT励振系

図.1に示した様に現在7セット(A-1, B-5, B-6, CT, 2-1, 5-1, 5-2)の半導体励振系が運用されている。励振系をクライストロンのモジュレータの中に設置したことによるノイズの影響は特に問題になっていない。

### 3. 小型励振系

#### 3.1 はじめに

稼働中の励振系はIφA、AM、PM、インターロックモジュールなどのNIMモジュールと20Wのアンプとクライストロンのそばに吊り下げた600Wアンプで構成されている。KEKB-RINGへの連続入射、PF-RINGへのトップアップ入射(H19年予定)にともないLINACの

ビームはより高い安定性を求められ、さらに電子と陽電子をパルスごとに切替える可能性が出て来た。これらに対応するため新しい励振系を開発することにした。新しい励振系の仕様を以下に示す。

- 1) 設定精度は0.1度(位相)、1%以下(振幅)とする。
- 2) IφA、PMはIQモジュレータで実現する。
- 3) AMは60dBのアイソレーションが必要なため専用の物を用意する。
- 4) VSWRメータの機能も盛り込む。
- 5) フィードバック用にIQデモジュレータも用意する。
- 6) 制御はFPGAを使用しプログラミングで機能アップが可能なこと。

新しい小型励振系の概念図を図.4に示す。

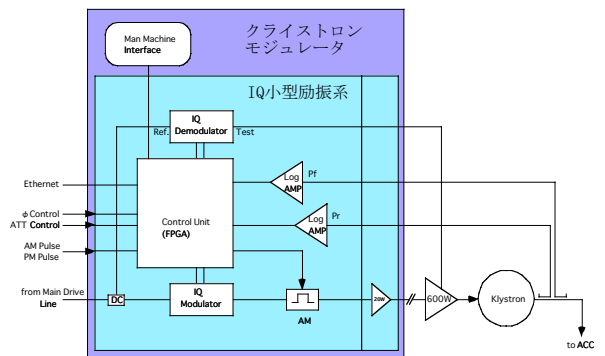


図.4 小型励振系概念図

#### 3.2 ネットワークアナライザの安定性

0.1度の設定精度を測定するためには測定器の精度の確認が必要になるため恒温槽内にネットワークアナライザ8358A (Agilent Technologies)を設置しS21パラメータの位相を2865MHzで測定した。図.5にその結果を示す。

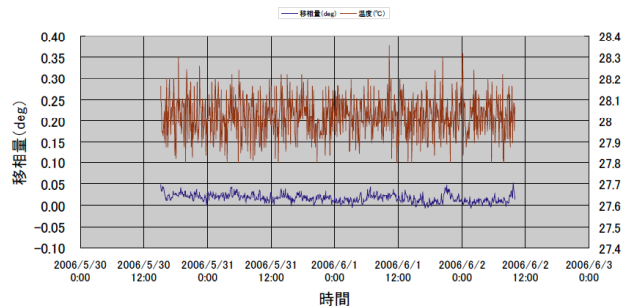


図.5 ネットワークアナライザ位相変動特性

位相の変動は±0.05度、3日間で約0.02度シフトしている。

### 3.3 IQモジュレータの性能評価

IQモジュレータを選定するにあたって以下の物を調査した。

- 1) IQ-1545 (MARKI)
- 2) 3dBハイブリッド+PINダイオード (NKK)
- 3) HMC497LP4 (Hittite)
- 4) AD8349 (Analog Devices)

恒温槽の中にネットワークアナライザと非測定物を入れ設定温度28℃で基礎データを取得し、0度から360度の設定位相に対する位相誤差と振幅誤差を測定した。さらに設定温度を±5℃変えた場合のデータも取得した。図. 6にHMC497LP4の測定結果を示す。

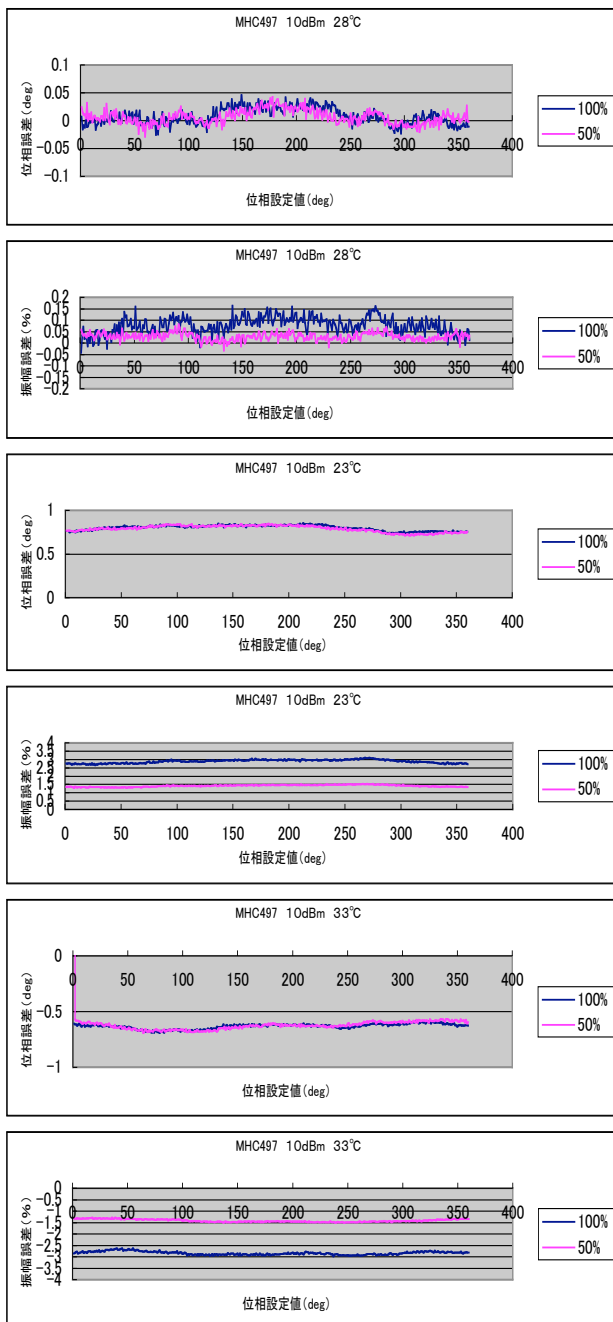


図. 6 各温度での設定値に対する誤差

再現性を評価するため28℃→23℃→33℃の温度サイクルの後28℃で測定したデータを図. 7に示す。

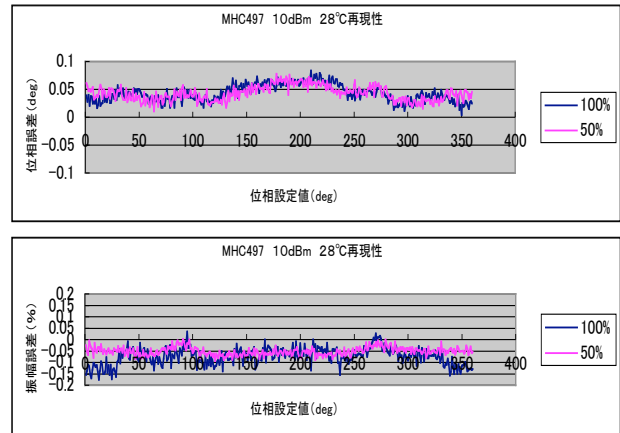


図. 7 再現性評価データ

データからも分かる様にギャラリーで使用する場合は温度の管理が必要になってくる。再現性のデータは位相に関して約0.02度シフトしている様に見える。これはネットワークアナライザのドリフトであると思われる。

### 3.4 小型励振系開発の今後

現在はRF部の構成モジュールの評価を行っている段階であるが開発は以下の点を考慮して行っている。

- 1) 最初に基本的な機能 (AM, IφA) を満たす物を作る。(バージョンアップはFPGAのプログラミングで行う。)
- 2) 一部の機能 (VSWRメーター) を省きサブプースターの励振系としても使用する。
- 3) 運用後のメンテナンスを考慮して8358Aを組込んだ校正システムを構築しクライストロンギャラリーでデータの取得を行う。

## 4. 最後に

基礎データの取得時に0.1度、1%でのマッピングが必要であるが、通常の方法では時間がかかりすぎて再現性のあるデータを取得することは出来なかった。それを可能にしたのはネットワークアナライザの外部トリガー機能を利用したことである。開発に当たって協力して下さった日本高周波株式会社の相澤卓治氏、相澤修一氏にこの場を借りてお礼を申し上げます。

### 参考文献

- [1] Design Report on PF Injector Linac Upgrade for KEKB, KEK Report 95-18,1996