

MAIN-DRIVE LINE USING OPTICAL FIBERS FOR THE PF LINAC

Yuji OTAKE, Hiroaki KATAGIRI, Hirofumi HANAKI,

Seiya YAMAGUCHI and Shozo ANAMI

National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

The main drive line of the RF system for the Photon Factory linac is being changed from a 476-MHz electrical line to 2856-MHz optical fiber lines in order to obtain stable drive signals and reliable phase reference. Devices for the system, such as E/Os, O/Es and RF amplifiers, have been evaluated and incorporated in the sub-booster of the sector 1 for a tentative test. From a result of the test, the phase stability of the system was estimated to be within ± 3 degree. The whole new system will be completed in this autumn.

放射光リニアックの光ファイバーメインドライブライン

1、はじめに

高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設入射器（放射光入射器）では、現在の位相安定化ケーブルを使った476MHzを伝送するRFメインドライブラインシステム¹⁾を2856MHzを伝送するシステムへの置き換える計画を進行している。これにより加速器に沿って設置されている6台の周波数通倍器が中央の一台になり、各セクターが独立に変動する可能性を除去できる様になる。また放射光入射器全体で一つのRF基準信号を持つことが出来るようになる。

基準信号の伝送については、近年の光ファイバー技術の進歩で光ファイバーの電気長に対する温度係数が、数百ppmから数ppm程度になったのと、マイクロ波帯で安定なE/O（電気/光変換器）、O/E（光/電気変換器）の出現で、メインドライブラインを2856MHzの光ファイバーにすることが可能になった。低減衰の特性から、既存のシステムで1KWの電力を供給していたのに比較して、光ファイバーシステムの取り扱うRF電力が100mW程度と低くなり、保守なしに常時RF基準信号を供給できるようになる。また光ケーブルの軽量さと低価格から複数本の光ファイバーを容易に敷設可能で、各光受信機からのRF信号を信号源に戻し、電力/位相のモニターやフィードバック等も容易になる。

問題点としてはE/O、O/E等のアクティブな素子の温度変化による変動が予想されたので、1991年の後半から1992年の前半にかけて個別試験を、また既存のシステムに組み込むことにより電子ビーム加速による総合的な実用試験を行った。以下にシステムの概要及び試験結果を述べる。

2、光ファイバーシステムの概要

図1に示す光ファイバーメインドライブラインシステムは、現在製作中で1992年の秋期に終了する予定である。各セクターのサブブースターをドライブする為のRF信号の流れとしては、マスターオシレーターから供給されるSHB（Sub-Harmonic Buncher）用の119MHzを4通倍することで476MHz作りだす。この既存システムから信号を受け、4通倍した2856MHzをALC（Auto Level Control）付きRF増幅器（YHP8347A）に加える。このRF信号を新規のメインブースターである30W-CW増幅器（日本電気製）により増幅した後、出力を20dBの方向性結合器で2台のE/OとRF測定用の補助基準信号出力に分岐する。2台のE/O出力は光スプリッターによりそれぞれ3分割され各セクターの6台のO/Eに分配の後もう1段増幅され、サブブースタードライブ用の2W-CW増幅器（日本電気製）に加えられる。

温度変化による位相変動等を除去するためにE/O、O/EやRF増幅器等のアクティブデバイスは、各セクターの ± 0.3 度以内に温度制御された恒温層内に設置される。これは各デバイスを、オープンループで使用しても十分な性能が得られるように配慮したものである。

3、光ファイバー^{2)、4)}

この光ファイバーは住友電工製の伝搬時間安定化型光ファイバー（石英系SMファイバー）であり、クラッド径が

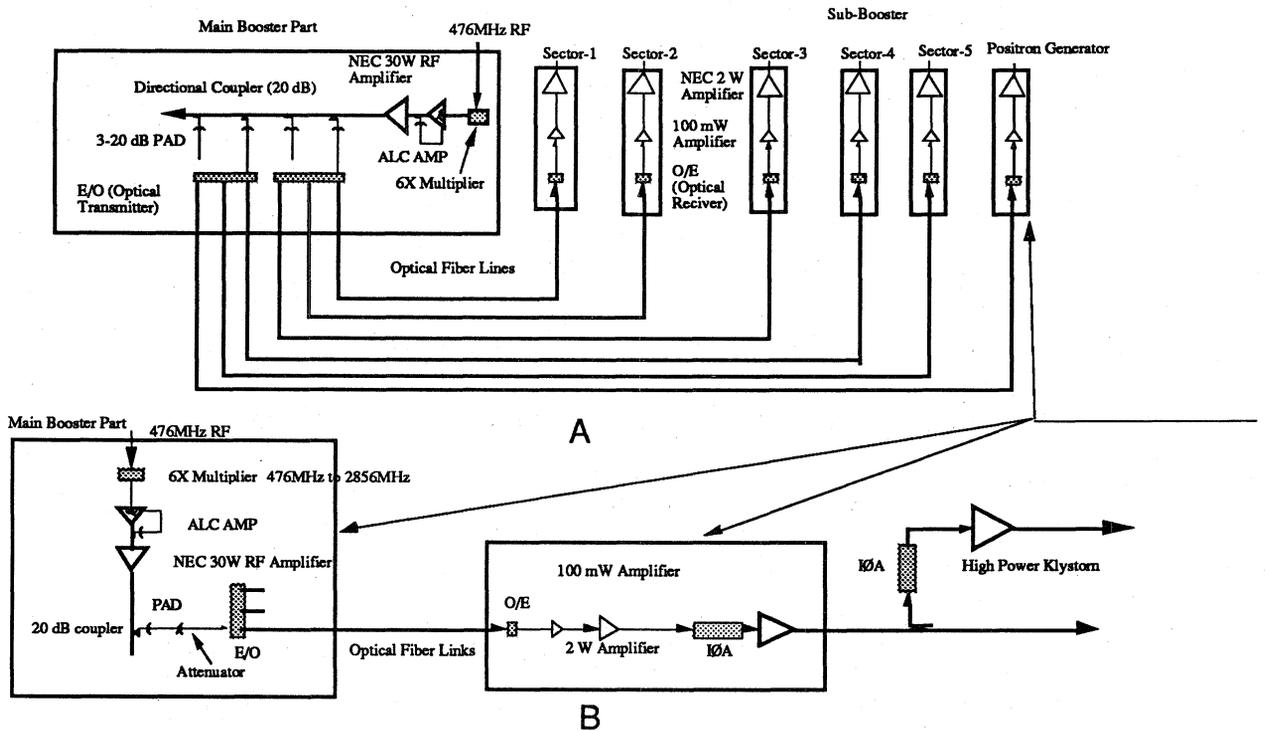


図 1 光ファイバーメインドライブシステム、A: 全体構成図、 B: メインブースター部から1セクター分の構成

125 μm 及びモードフィールド径が9.5 μm で、シングルモードファイバーの外側に電気長に対する温度係数を補正するような物質が加えられている。通常の光ファイバーでは温度係数が数百ppm以上であるのに対して、気温20度で約2ppmと低く損失が0.4dB/km以下となっている。各セクターに敷設されているケーブルは6芯であり、両端は端子箱で端末処理されFC-PC型の光コネクタが取付けられている。

放射光入射器の全てに機器に対する位相精度は ± 5 度以内を基準に製作されており、既存のメインドライブラインもこの基準内に入るように温度係数が6ppm程度になっている¹⁾。この要求に対して光ファイバーの性能は十分であり、クライストロンギャラリーの温度変化(0.5 $^{\circ}\text{C}/\text{日}$ 、測定値)を考慮にいれて、放射光入射器の全長である500m程度を伝送しても2856MHzの位相に対して ± 1 度以下の変動に収まる。

4、各アクティブデバイスの試験

E/O及びO/Eは米国のオーテル社製³⁾(レーザーダイオードの波長が1300nm)のマイクロエープ用で、2856MHz以上のRF信号を伝送できる唯一の製品である。Sバンド増幅器は上記のNEC製の2種類の他、ミニサーキット社製の1W増幅器(ZHL-42)を使用している。E/O、O/Eを含めた全てのRF増幅器に関して個別に電力/位相変動試験を行ない問題がないことを確認し(2%以内の電力変動及び ± 1 度以内の位相変動)、また図1中の第1セクター分のシステムで総合的な試験を行い、試験期間中のクライストロンギャラリーの温度変動が0.5 $^{\circ}\text{C}$ 程度でそれに対応する位相変動は ± 2 度以内、電力変動はほぼ2%以内であった。

5、ビーム加速による光ファイバーシステムの実用試験

8時間のビーム加速による実用試験を行うために第1セクターのサブブースターを光ファイバーで(図1中の第1セクター分のシステム)、他のサブブースターを既存のシステムでドライブした。電力変動や位相変動測定はサブブースターの出力電力及び、2.5GeV加速後のビームエネルギーをプロファイルモニターで測定することで行なった。図3にサブブースターの電力変動と、図4に試験開始時と終了時のプロファイルモニター上のビームスポットを示す。2つのスポットの位置変動は開始時と終了時の間で殆ど認められず、事前の第1セクターサブブースターの位相調整による2.5GeVでのエネルギー変動の校正値から、光ファイバーメインドライブライン試験システムの位相変動が ± 3 度以内であることが確認された。また電力変動に関しても図3のデータから $\pm 1\%$ 以内を確認できる。

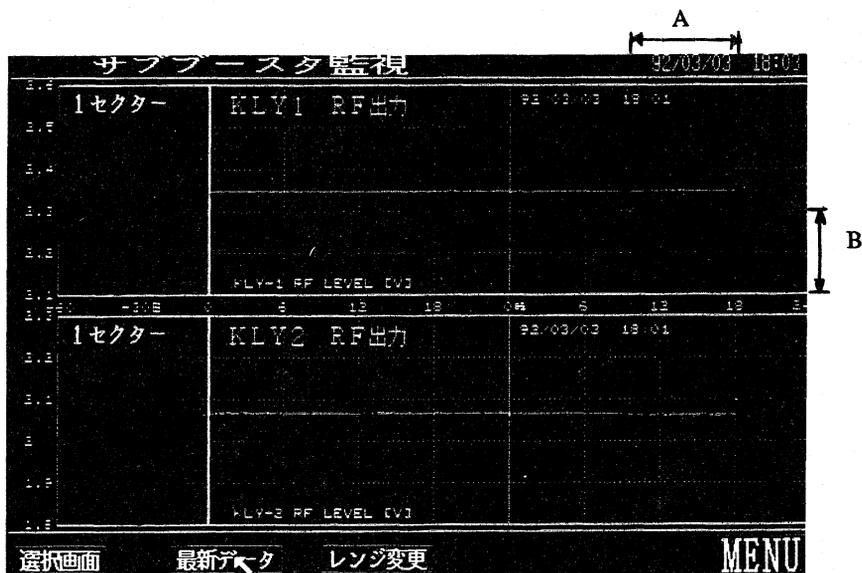
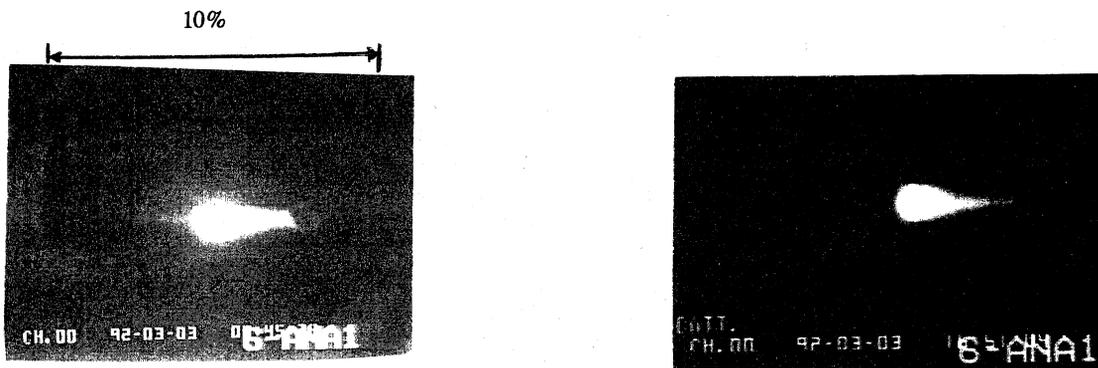


図3 第1セクターのサブブースター出力、(Aの部分で試験期間で約8時間、Bのスケールで10%のRF電力変動)



A, 開始時 (モニター両端で約10%のエネルギー変動に相当) B, 終了時

図4 ビーム加速による実用試験時のビームエネルギー

6、結論

第1セクターでのビーム加速による実用試験から、この光ファイバーメインドライブラインシステムは十分に実用に成るものと考えられる。この結果を踏まえて現在、放射光入射器のメインドライブラインシステムの増設を既存のシステムとは別に行っている。最終的に恒温層による温度変動の除去にもかかわらずまだ位相や電力変動が残る場合は、フィードバック等も将来的に考えて行かねばならないだろう。

最後にこの計画を支援していただいた佐藤勇先生を始めとする放射光入射器の人々に感謝し、またこの光ファイバー及びE/O、O/Eの貴重な情報をいただいた加速器研究系の浦川順一先生及び住友電工(株)、住友セメント(株)の人々に感謝します。

参考文献

- 1、本間博幸他、"放射光実験施設入射器RFドライブシステムにおける位相安定化同軸ケーブルの安定度"、技術研究会報告集、高エネルギー物理学研究所(1986年3月)。
- 2、S. Tanake, "Phase Stabilized Optical Fiber", Sumitomo Electric Industries Ltd., (Feb. 1989).
- 3、オーテル社データシート
- 4、J. Urakawa et al., "The development of the RF reference line and timing system for Japan Linear Collider", to be published in Proc. of the International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control System (ICALEPS), (Nov. 1991).