

[F18p29]

## Performance of the optical link system of the ATF Linac

T. Naito, T. Sakamoto\*, H. Hayano and J. Urakawa

KEK, High Energy Accelerator Research Organization  
 Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan  
 \*Tohoku-Gakuin University  
 Chuo 1-13-1, Tagajyo, Miyagi 985 Japan

### ABSTRACT

Optical link system using phase stabilized optical fiber was employed at the ATF. At the linac, 2856MHz of the acceleration frequency is transferred to each klystron directly. The temperature stability is a key issue for the stable machine operation. Especially, the environment of the klystron gallery has no air condition system. The temperature of the klystron gallery changes about 10 degree in a day. The characteristics of each component and the operation experiences are reported.

### ATF Linac の光伝送システムの特性

#### 1. はじめに

KEKの試験加速器(ATF)ライナック、ダンピングリングを含めたタイミングシステムでは、温度安定化光ケーブルを用いた光伝送システムが採用されている。1)

この光伝送システムの利点は、「1」電気ケーブル(位相安定化同軸ケーブル)に比較して一桁以上温度係数が優れている。「2」電気ノイズの影響を受けない。「3」高周波において伝送ロスが非常に少ない。従って、S-バンドの様な周波数でもダウンコンバートすることなく長距離伝送することが出来る。等である。従って、今後巨大化する加速器システム、特にリニアコライダの様な、においてこの技術は重要な意味を持つものと思われる。

97年にダンピングリングが稼働してから実際のシステムでの光伝送システムの評価がなされるようになった。ATFでは、電子銃のビームトリガー、10本のクライストロンへのRF基準信号(2856MHz)、ダンピングリング用RF(714MHz)、ディレイカウンタ用基準信号(357MHz)、キックトリガー等多岐にわたる伝送に、この光伝送システムが使われている。特にクライストロンのRF基準信号の変動は、ビームエネルギーの変動に直接的に関係する。ATFライナックでは、ダンピングリングへの安定なビーム入射を行うために、ビームエネルギーの変動は全幅で1%以下にする必要があり基準信号の伝送を含めた全体的な安定化が進められている。

しかし、ATFでは、クライストロンギャラリー、ダンピングリング制御部に空調がなく、一日の温度変動は~10℃にもなり、5月以降は40℃近い周囲温度となる。個々のデバイスの特性と実際の環境での、特性について報告する。

#### 1. 温度安定化光ケーブル

温度安定化光ケーブルの伝搬時間変化は、

$$\frac{d\tau}{dT} = \tau \left[ \frac{1}{N} \frac{dN}{dT} + \frac{1}{L} \frac{dL}{dT} \right]$$

であらわされる。ここで $\tau$ は伝搬時間、 $T$ は温度、 $N$ は屈折率(温度に依り変化する)、 $L$ は長さ。右辺第一項は屈折率の温度変化で通常+6ppm/℃のプラスの温度係数を持つ。従って、熱膨張係数が負の材質を用いることにより、伝搬時間変化を小さくすることが出来る。2)

温度安定化光ケーブルは、住友電工製DTSケーブルのみであったが、最近KEKBで採用された古河電工製温度安定化光ケーブルも同等の性能を持つ。図1に各社の光コード500m(サンプル)の特性を示す。両社の製品とも大きな差はない。定各としては、-15~35℃の間で5ps/km以下の変化が保証されている。ATFライナックでは、約100m敷設されており10℃の温度変化に対して5ps以下の安定度が期待される。

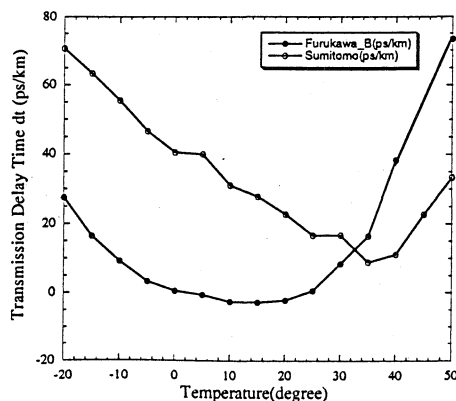


図1 温度安定化光コードの特性

## 2. E/O,O/Eの特性

E/O,O/Eには、Ortel社製3510A(Transmitter)、4512A(Receiver)が使われている。

### a) 短時間変動

E/O,O/Eの短時間変動としてノイズ等の影響も含めたジッター特性をサンプリングスコープを使い測定した。シンセサイザーからの直接の信号でトリガし、E/O,O/Eを通過した信号の変動を測定した。この測定ではトリガ自体のジッターが0.7psあるため短時間変動は、0.71psであった。この値は、S-バンドの伝送系として問題がない。そのセットアップと測定結果を図2に示す。

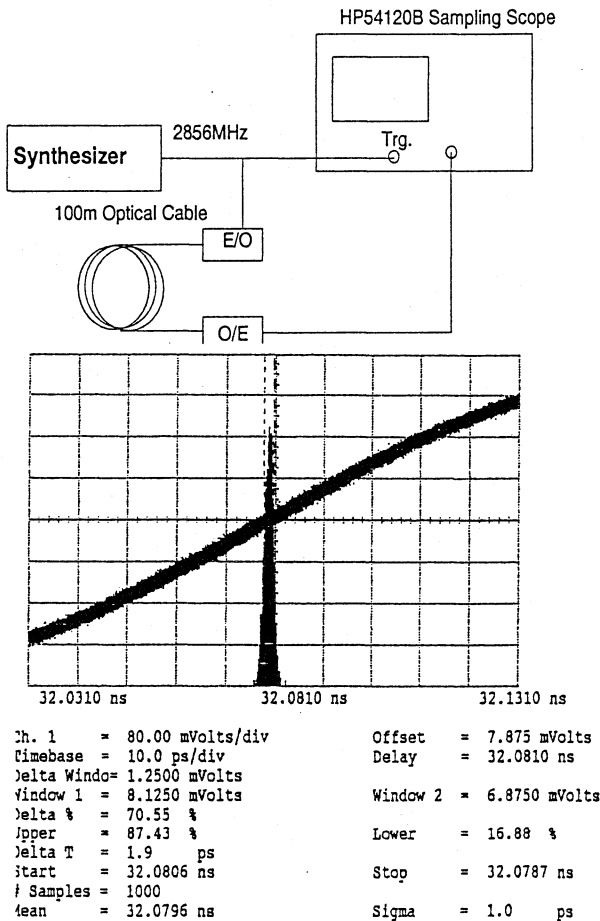


図2 E/O,O/Eの短時間変動の測定

### b) 長時間変動

E/O,O/Eを恒温槽に入れ温度を変化させたときの特性を測定した。トランスミッターは、比較的安定な温度特性を持っているが、レシーバーはトランスミッターに比べ変動が大きい。これは、トランスミッターのレーザーダイオードの出力を安定にするためにレーザーダイオードチップの中にペルチェ素子が入っており、ドライブ回路も温度変化に対してFeedbackがかかるようになっているためである。トランスミッターの温度特性を図3に示す。レシーバー

4512Aが比較的変動が大きいので、ピンダイオード素子にペルチェ素子をつけたレシーバー(2510A)を製作しその特性を測定した。それぞれの温度特性を図4に示す。

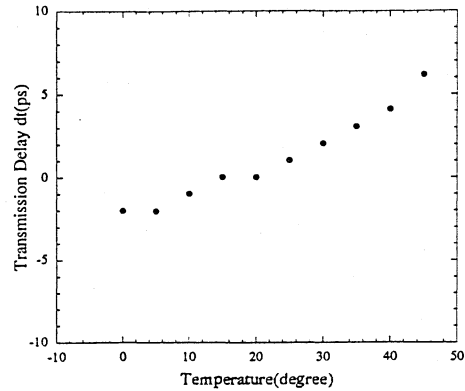


図3 E/Oの温度特性

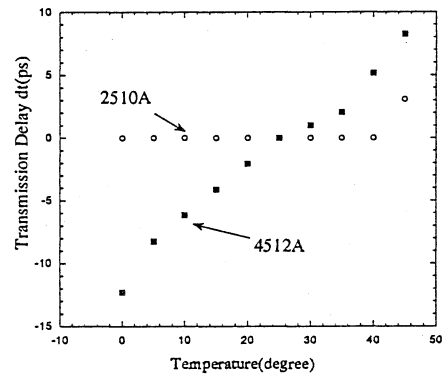


図4 O/Eの温度特性

ATFで使用している4512Aレシーバーは、30℃付近では、5℃の温度変化に対して1~2psの変動がある。

## 3. 実際のシステムでの特性

実際のATFの運転では、ダンピングリングへの入射を安定に行うためには24時間運転している間にライナックのクライストロンの位相を10~20°調整しなければならなかった。この変動には、30分位の短周期のものと、一日の温度変化と思われる2種類の変動が観測された。短周期のものは、冷却水の温度変動に依るものであることが解っている<sup>3)</sup>。

ライナックのクライストロンの基準信号は、シンセサイザーから直接2856MHzの高周波信号が光伝送システムを通して各クライストロン制御ラックまで送られている。実際の長期位相変動を測定するためにクライストロンの制御ラック側から対称的な構成となるような戻りの光ケーブルを用いて、位相

比較を行った。そのセットアップを図5に示す。24時間の位相変動の測定結果を図6の右側に示す。クライストロン制御ラック側の周辺温度変化約5℃に対して高周波位相は約25°、往復なので実際には約12.5°、変動している事が確認された。E/OやO/Eへの接続光コードは制御ラック内を通すためにフレキシブルな特性を持つ通常の光ケーブルを用いていたのが位相変動の大きな原因と考えられる。そこで、空調のされていないクライストロン制御ラック側のフレキシブルな通常の光コードを温度安定化光コードに変更した。その測定結果が、図6の左側である。周辺温度変化約4℃に対して、位相変動は約8°、往復なので実際には約4°、に改善された。温度安定化光ケーブルの測定データからすると位相安定度は、さらに改善されるべきである。原因を調べた結果、空調がされているシンセサイザー側の周辺温度も1日、約2℃の変化をしていた。シンセサイザー側のフレキシブルな通常の光コードを同様に変更する事で、図6の点線で示される程度に抑えられると計算できる。この場合には、周辺温度変化約4℃に対して、位相は約2.7°に改善されると思われる。

基準信号の長期位相変動の改善

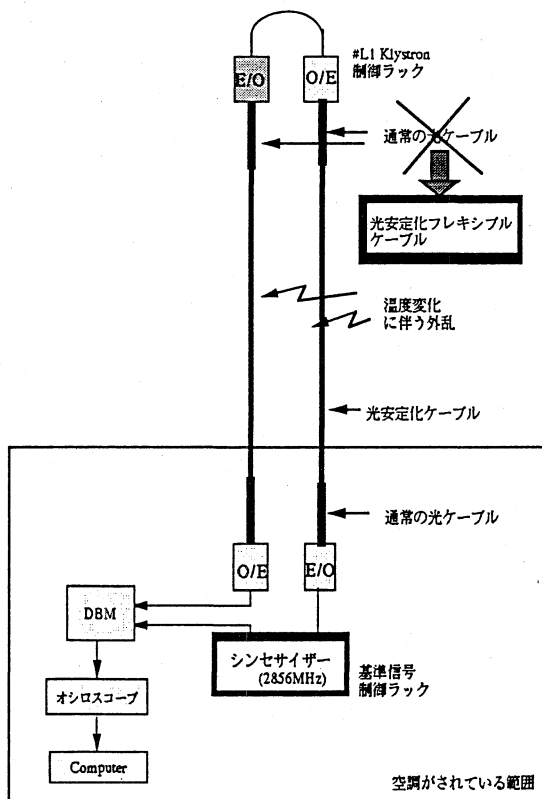


図5 基準信号の変動測定セットアップ

## 5. まとめ

ATFリニアックで採用した光伝送システムは、クライストロンの基準信号において当初設計した性能が達成されていないことが今回測定された。その原因は、温度安定化光ケーブルからE/O,O/Eまでの光コードの特性によるものであることが判明した。今後、すべての光コードを温度安定化光コードに変更することにより特性が改善されるものと思われる。

また、当初E/O,O/Eの環境は空調されているものとして設計していたが、空調のない環境ではその温度特性も無視出来ないことが解った。これは、ペルチェ素子等で対応できることも解った。

上記、対処を行えば空調のない環境でも十分Sバンドの基準信号を安定に伝送するシステムが可能であると思われる。

## 6. 謝辞

今回の測定に関し、ATFオペレーショングループの協力に感謝致します。木原施設長、高田総主幹をはじめとした関係者の方々のこのプロジェクトに対しご尽力いただき感謝いたします。

## References

- 1) 内藤 他、"ATFのタイミングシステム", '96 ライナック研究会
- 2) 坂本 他、"ATFリニアックのクライストロンf安定化", 東北学院大報告
- 3) S.Tanaka et. al., "Precise Timing Signal Transmission by a New Optical Fiber Cable", KEK Report 90-5 May '90

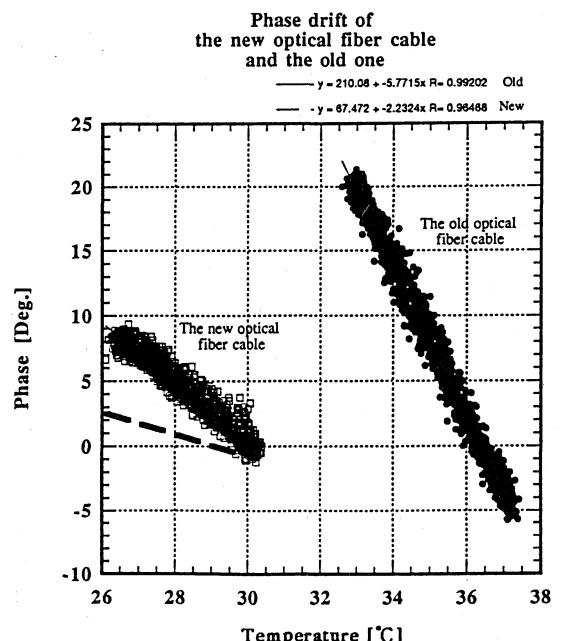


図6 基準信号の変動測定