

DEVELOPMENT OF ARC DETECTOR FOR cERL

Yoshiharu Yano¹, Dai Arakawa, Hiroaki Katagiri, Toshihiro Matsumoto, Takako Miura, Shinichiro Michizono, Shigeki Fukuda

High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801 Japan

Abstract

When we use the arc detector developed for STF, The power supply stops to interlock when the electrical discharge continues in the RF system at 50 microseconds. However, RF should be stopped within several microseconds after the electrical discharge occurs in the RF system of cERL. Therefore, the arc detector for cERL should react to the pulse at one microsecond. Therefore, the photodetector and the optical fiber were reviewed. The arc sensor module for STF is remodeled and the prototype is being produced now.

cERL用アークディテクターの開発

1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構の次期計画の一つであるERL (Energy Recovery Linac) 放射光源の実現に向けた要素技術開発と総合的な動作試験を行うための小型ERL装置 (コンパクトERL) が建設中である。高周波のハイパワー伝送路で起きた放電を感知しRFを緊急停止するためにアークディテクターが必要となるが、STFでは直径約50 μm の光ファイバケーブルと光電子増倍管を組込んだ光センサーモジュール (H5784) を利用したアークディテクターを開発し運転に使用している^[1]。H5784は高感度に特化したアンプ内蔵のモジュールのため周波数帯域がDC~20kHzと狭く検出パルス幅も50 μsec 以上が必要である。cERLではアーク発生後数 μsec 以内にRFを停止することが求められているので1 μsec 程度のパルスにも反応する検出器が必要である。光検出器と光ファイバの見直しを行いcERLで使用可能なアークディテクターの開発を行った。

2. アーク伝送用光ファイバケーブル

STF用に選定した光ファイバは安価ではあるがコア径が50 μm と小さく光量が不足するため検出器側の感度を上げる目的でPMTを使用した。選定したPMTはアンプ内蔵の汎用型で内蔵アンプの周波数特性から50 μsec 以上のパルス幅が必要になっている。

cERL用では高速に反応する必要があるため十分な光量が必要になる。新しい光ファイバにライトガイドファイバ (メレスグリオ社製) を採用する事にした。コア径600 μm の石英系大口径ファイバ両端FCコネクタ付 (24,900円/5m) である。任意の長さのものも製造可能で (106,800円/30m) を試験のため購入した。石英系大口径ファイバ (メレスグリオ社製) と光・メタル複合ケーブル (日本製線

株式会社製) のコア面積の比は144倍となるので十分な光量が期待出来る。写真1にケーブルと両者のFCコネクタ端面の拡大写真を示す。ファイバの逆端からLED光を当てているため断面積の違いが良くわかる。

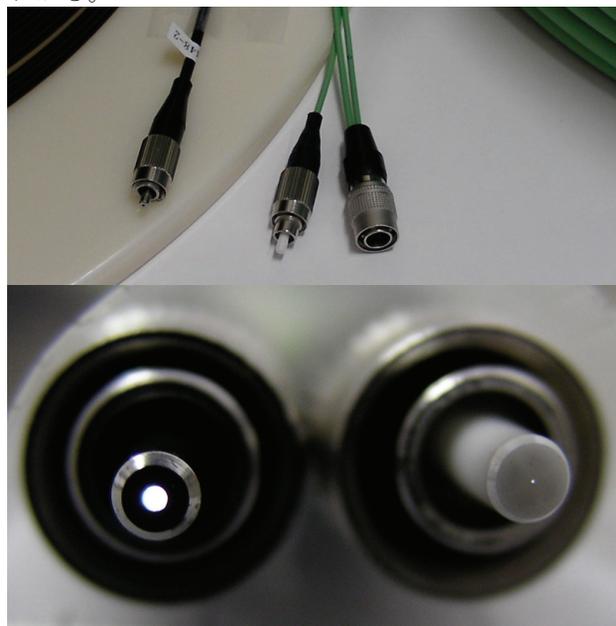


写真1 コア径600 μm (左)とコア径50 μm (右)

3. 光検出器

現在使用可能な光検出器には様々な物があるが、検出感度、応答速度、入手性、価格等を考慮するとフォトダイオードと光電子増倍管 (PMT) が候補として上がる。cERLではアーク発生後数 μsec 以内にRFを停止することが求められているので少なくとも1~2 μsec のパルスが検出出来なくてはならない。

¹ E-mail: Yoshiharu.yano@kek.jp

3.1 フォトダイオード

フォトダイオードは光起電力効果を用いた光検出器として広く用いられているが、内部利得が無いので感度が低い。増幅動作を付加したフォトトランジスター、アバランシェ・ブレイクダウンを用いたアバランシェ・フォトダイオードなどもあるが、使い易さの観点からフォトダイオードを使用する事にした。この場合、大口径の光ファイバーを使用して受光量を上げる必要がある。コア径600 μ mの大口径ファイバーと受光素子にフォトダイオードを使用した初期型アークディテクターを組み合わせた試験では十分な感度があることを確認した。今回選定した素子の遮断周波数は0.1~1.0 GHzであるため充分高速なアークディテクターを作る事が可能である。

3.2 光電子増倍管 (PMT)

本来、PMTはフォトンカウンティングに使用されるほど高感度で高速対応可能な検出器である。PMT単体では時間特性（上昇時間）が約1nsecなので十分な高速応答が可能である。しかし、STF用に使用した光センサーモジュールH5784^[2]は汎用タイプでアンプ内蔵型のため周波数帯域がDC~20kHzと狭く今回は使用することが出来ない。そこでH5784と同じパッケージでアンプ非内蔵のH6780を使用する事にした。H6780はPMTの性能がそのまま出せるので後付けの回路次第で十分な高速応答が可能である。両者はアンプの内蔵or非内蔵の違いだけでサイズ、電源、制御方式等が全く同じなのでSTF用のアークディテクターを改造して試作機を製作する。H6780を写真2に示す。

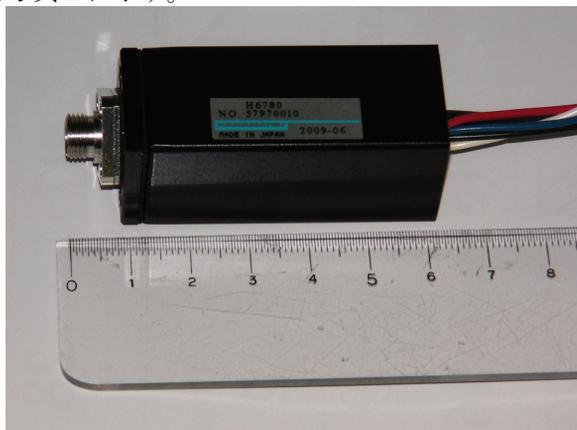
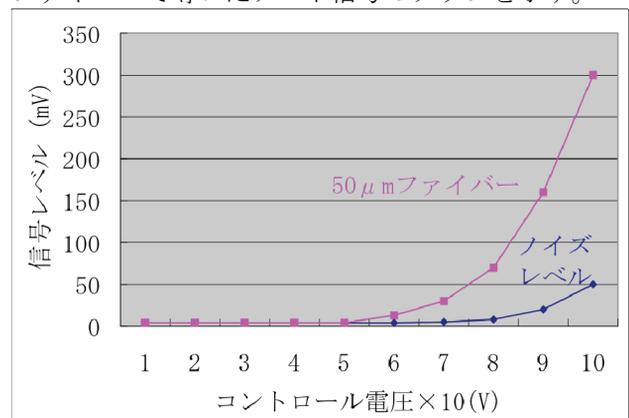


写真2 PMT (H6780 ; 浜松フォトニクス製)

可視域用汎用タイプ	
外径寸法 (W×H×D) ;	22.0×22.0×60.0mm
有効光面サイズ ;	φ 8mm
電流電圧変換係数 ;	1V/ μ A
時間特性 (上昇時間) ;	0.78nsec
感度波長範囲 ;	300nm~650nm
感度調整範囲 ;	1:10 ⁴
電源電圧 ;	±15V

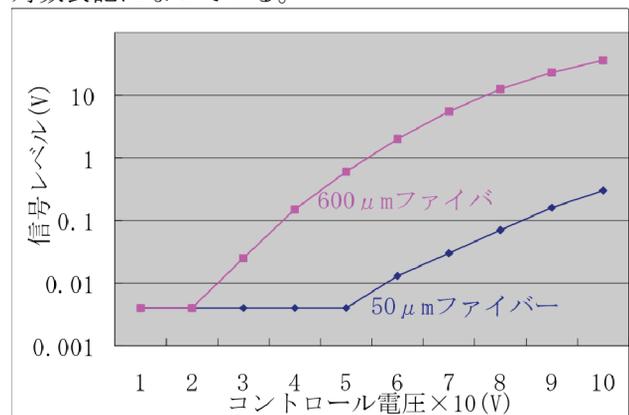
H6780は時間特性が良いためにH5784では検出さ

れなかった γ 線も信号として見えてしまう。最大感度で出力信号を50 Ω 終端した場合約20mV、20nsec (半値幅) 程度の信号が毎分1回程度検出される。STFで使用しているビューポートにコア径50 μ mのファイバーをセットしテスト信号を同じ条件で見た場合約2mVの信号レベルしか無いので検出は不可能である。ただし γ 線による信号はパルス幅が20nsec程度と狭くアーク検出の場合は1 μ secのパルス幅の信号を検出する事を目標としている。増幅回路の前段に適切なフィルターを挿入するか積分回路を設けて γ 線による信号をフィルタリングする事で目的とするアークのみに反応する検出器を作る。10k Ω 終端の場合ガンマ線レベル50mVに對してテスト信号ON時のシグナルレベルは300mVが得られた。グラフ1にコントロール電圧に對したノイズレベルとアークセンサのビューポートから50 μ m×50mのファイバーで導いたテスト信号のグラフを示す。



グラフ1 信号レベルとノイズレベル

グラフ2には50 μ m×50mのファイバーと600 μ m×30mのファイバーを用いた場合の信号レベルのグラフを示す。信号レベルの差が桁違いのため縦軸は対数表記になっている。



グラフ2 50 μ mと600 μ mファイバーの比較

これらのグラフからインターロックレベルの調整機能を持たせる事で50 μ mのファイバーでも600 μ mのファイバーでも使用できるアークセンサーモジュールを作る事が出来る。特に600 μ mのファイ

バーとの組合せでは非常に微弱な光を検出できるのでインターロックをかけるためのアークディテクターとしてはもちろん放電に至るまでの微弱な発光が観察出来ないか期待している。cERLのRFはCWなので一度放電が発生するとそのまま成長しインターロックレベルまで大きくなるが、STFの場合は1.5msec、5HzのRFなので条件によっては微弱な発光を観測出来るかもしれない。

4. アークディテクター

4.1 ビューポート用アダプターと集光レンズ

写真3にICF34のビューポートとアダプター及び集光レンズを示す。



写真3 ビューポート、アダプター、集光レンズ

集光レンズは光コネクタ付属のカバーに焦点距離10mmのレンズが仕込んである。レンズの評価については未完であるが光軸上では2倍程度の集光率の向上が見られたが試験用LEDの光軸合わせが困難なため現在は使用していない。

光ファイバーの入射角は 18° 程度^[2]であるが使用中のビューポートは管長が80mmあり受光端から導波管側のフランジまで120mmの距離がある。フランジの内径が17mmであるため現在は画角の約半分しか利用していない。導波管側のフランジを含めビューポートの再検討が必要である。

4.2 アークセンサーモジュール

フォトダイオードを使ったアークセンサモジュール(初期型)とH5784モジュール4個を2幅のNIMモジュールに組み込んだモジュール(H5784型)を写真4に示す。現在H5784型を改造し試作機を製作中である。コスト重視でSi PINフォトダイオード(S5973; 浜松フォトニクス製)を受光素子に使ったものと感度重視のPMT(H6780)を使ったダイナミックレンジの広い2つのタイプを開発中である。両モジュールともに受光系のゲイン調整とインターロックレベルの調整機能を持たせ、ゲイン調整はフロン

トパネルのポテンシオメーターで、インターロックレベル調整はモジュール内部のポテンシオメーターでそれぞれ設定出来る様にした。



写真4 初期型(左)とH5784型(右)

写真のモジュールはチャンネルを切替えて1チャンネルのみをモニターする方式であるが4チャンネル同時のモニターも必要のため全チャンネル分のコネクタを取り付ける予定である。インターロックに直接反応したチャンネル以外もモニターする事でアーク発生箇所の特定に役立つ情報を得ることが出来るかと期待している。

4. 今後の課題

アークセンサーモジュールを使用する制御ラックはモジュレーター側の側に設置するため非常にノイズ環境が悪い。初期型はノイズによる誤動作が非常に多くH5784型を作る場合は対ノイズ性を高めノイズによる誤動作は起きていない。しかし、 $50\mu\text{m}$ のファイバーを使って $1\mu\text{sec}$ のパルスを検出する場合ノイズによる誤動作が懸念される。モニター側のノイズ対策には限界があるので発生源であるモジュレーター側の対策とアースラインの分離を充分考慮しなくてはならない。

参考文献

- [1] 矢野喜治ほか“光電子増倍管を利用したアークディテクターの開発” 第34回リニアク技術研究会、和光、2007
- [2] <http://jp.hamamatsu.com/index.html>
- [3] <http://www.sei.co.jp/fbr-prdcts/03/index.html>