

# RECOVERY EFFORTS OF VACUUM SYSTEM AT KEK ELECTRON-POSITRON LINAC DUE TO EAST JAPAN LARGE EARTHQUAKE

Kazuhiko Suzuki <sup>#,A)</sup>, Naoyuki Toyotomi<sup>A)</sup>, Shinji Ushimoto<sup>A)</sup> Kouichi Kimura<sup>A)</sup>,

Kazuhisa Kakihara<sup>B)</sup>, Takuya Kamitani<sup>A)</sup>,

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric System & Service Co.,Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization(KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

## Abstract

KEK electron-positron LINAC had serious damages by the East Japan Great earthquake on March 11, 2011. Due to an extraordinary large amplitude of oscillation in the accelerator modules, many beam ducts and vacuum endcaps were broken and almost all the accelerating structures were exposed to the atmosphere. Details of an investigation of damaged components and recovery works are reported.

## 東日本大震災からの KEK 電子陽電子入射器真空系の復旧作業

### 1. はじめに

KEK 電子陽電子入射器は 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により大きな被害を受けた。当日は 9 時に運転を停止し、夏期シャットダウン期間に入った。運転停止直後に保守モードに移行したため、全てのゲートバルブ (GV) は閉じてあり、クライストロンや電磁石関係の出力も OFF されていた。保守モードに移行した直後から入射器のアライメント測定や光軸管の取り付け等でトンネル内には多くの人が入域し、作業を行っていた。

14 時 46 分、著者がトンネル内で作業をしていたところ、これまでに経験したことのない大きな揺れに襲われた。加速ユニットが前後左右に大きく揺れて、ユニット間にある四極電磁石 (以下 QM) の架台とぶつかり、大きな音を立てた。

最終的に真空破壊に至り、揺れが収まったときには全加速ユニットのうち 3/4 が大気暴露されてしまった。この後、現場の被害調査と復旧作業が進められたが、本稿ではその詳細について述べる。

### 2. KEK 電子陽電子入射器の構成

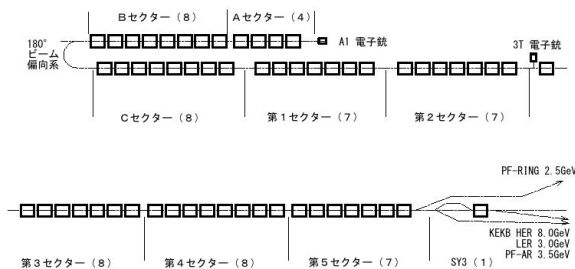


図 1 : KEK 電子陽電子入射器の構成

KEK 電子陽電子入射器は図 1 に示されるように

セクターと呼ばれる 8 つの領域に区分されている。1 つのセクターにはおよそ 7~8 台の加速ユニットが含まれる。各加速ユニットはそれぞれ独立の RF 源 (クライストロン) を持ち、これらから導波管を通して地下トンネル内の加速管に RF パワーを供給しビームを加速している。A セクター最上流部には KEKB 入射用の A1 電子銃があり、3 セクター先頭部分には PF と PF-AR 入射用の 3T 電子銃がある。PF-AR 用の電子銃は 2009 年 6 月末の運転時までには C7 下流部に設置されていたが、Super-KEKB 計画のための改造の一環として 2009 年 8 月、3T に移設された。便宜上、A セクターから 2 セクターまでを上流部、3 セクター以降を下流部と呼ぶ。上流部と下流部は 2010 年 8 月にシールドブロックで仕切られ、下流部が運転中でも上流部トンネル内での作業ができるようになった。

### 3. 被害状況の確認

震災直後、トンネル内に 15 分程度入域し、状況の把握を実施した (図 2)。

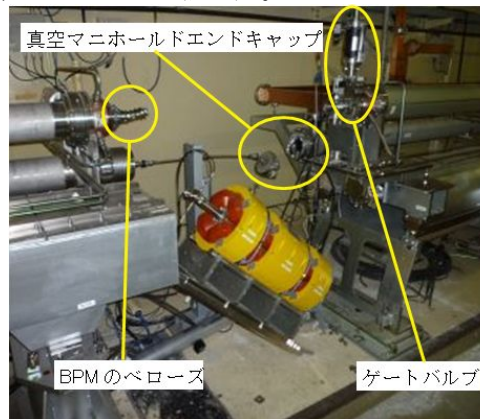


図 2 : 震災直後の様子

QM 脱落、QM 架台の板バネ脱落、光軸管の成形ベ

<sup>#</sup> suzukik@post.kek.jp

ローズ破損、加速管架台脚部損傷等が見てとれた。また、Beam Position Monitor (以下 BPM) のベローズ破損、真空マニホールドのエンドキャップ破損が確認され、多くの加速ユニットが大気暴露されたであろうことが容易に想像できた。更に、トンネル内に地下水が湧き出しているのも確認された。

震災発生4日後の3月15日に、再度トンネル内の状況確認を実施した。このときの確認は3時間程度かけて行ったが、加速管架台脚部床プレートのみずれと、それに伴う加速管架台アライメントのみずれ、加速管架台脚部板バネの変形、QM 架台のアンカーボルトの抜け等が確認された。トンネル内への地下水の湧きは6箇所へのぼり、排水しきれない水が通路に大量の水溜りを作っていた。電力制限で空調機が停止しているために湿度が高くなっており、加速ユニット内部への悪影響が心配された。

17日にも5時間程度現状確認を実施し、被害状況の確認を終了した。図3~5に代表的な破損個所の例を示す。



図3：破損した BPM のベローズ

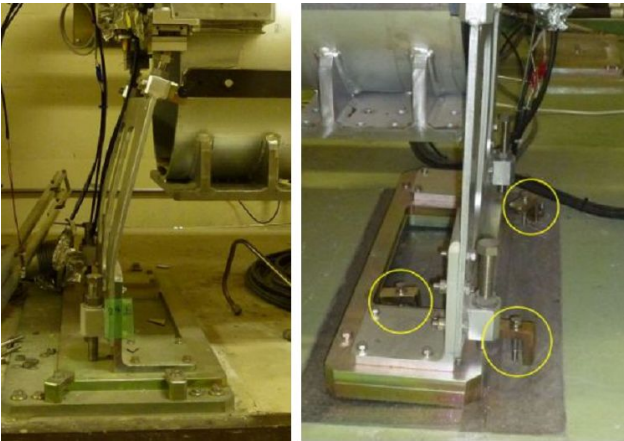


図4：大きく曲がった加速管架台脚部の板バネとずれて浮き上がった加速管架台のベースプレート部 (円内は外れた押さえ金具)



図5：飛び出した QM 架台のアンカーボルト

#### 4. 被害の状況

震災後の目視確認によるユニット毎の状況を図6に示す。また、破損個所の内訳を図7に示す。

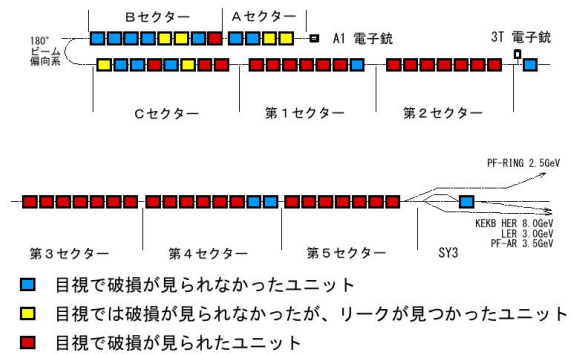


図6：ユニット毎の状況

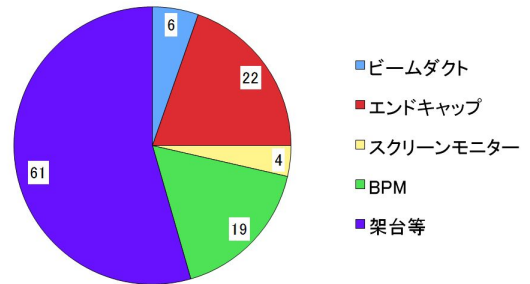


図7：損個所の内訳

目視点検の際にベローズや真空マニホールドのエンドキャップに異常が見られなかったユニットは全体の1/4にあたり、震災直後は真空保持されていたものと推測される。しかしながら、圧搾空気の供給停止により、GVのシールが不十分となり、

最終的に大気暴露に至ったものと思われる。

## 5. 復旧作業

5月中旬のPF入射再開を目標に、3月18日から復旧作業を開始した。全加速ユニット(58台)中、PF及びPF-AR入射に必要な3セクター以降の加速ユニット(24台)の復旧作業を最優先とした。しかし、電力制限により使用できる機器も限られ、GVへの圧搾空気の供給もなく、トンネル内への地下水の湧水、空調機の停止等、通常運転時では考えられない悪条件の中での復旧作業となった。

### 5.1 加速管内部を窒素置換するための前準備 (3/18~3/25)

通常、加速ユニットの真空部の大気暴露を伴う作業を行う際には、乾燥窒素を導入して加速管内部の表面を保護することを事前に行う。しかし今回は震災により通常の大気に直接さらされてしまった。加えて空調機の停止とトンネル内の湧水によりトンネル内の湿度がかなり上昇していたことから、早急に加速ユニット内部を乾燥窒素で置換し、大気暴露の影響を最小限にとどめる必要があった。そこで次の作業を行った。

#### 5.1.1 損傷を受けた機器、部品の取り外し

目視で損傷が確認されたBPMや真空マニホールドのエンドキャップを取り外した。

#### 5.1.2 真空開口部封じ (3/18~3/24)

真空マニホールドのエンドキャップは予備品と交換し、不足分については応急的にブランクフランジで対応した。しかし、予備品のエンドキャップと交換したもののうち幾つかは、4月11日と16日の余震により再度リークが発生し、ブランクフランジに交換することとなった。

また加速ユニット両端にもブランクフランジを取り付けた。これによりユニット毎に真空を区切ることが可能となったが、この時点では圧搾空気が復旧しておらず、GVを閉じることが不可能であった。

#### 5.1.3 GVへの圧搾空気供給 (3/18~)

GVが正常に閉じていないとユニット毎の切り分けができず真空排気ができないため、真空立ち上げ作業上重要なGVに直接圧力をかける事でその動作を保証した。当初は窒素ポンプを用いてGVに窒素を供給していたが、その消費が激しく、ポンプが空になったことに気付かないとGVの動作が保証できないため、途中からは小型のエアコンプレッサーを用いて常時圧搾空気を供給する事にした。これによりGVの動作の保証ができるようになった。

上記の作業を行う事により、加速ユニットの排気準備が整った。

### 5.2 窒素置換作業 (3/18~3/28)

排気準備の整ったユニットから順次窒素置換を行った。まず加速ユニットを1000 l/minスクロールポンプで排気した。数Paまで排気した後、乾燥窒素を導入し窒素置換を実施した。10日間で58台の加速ユニットの窒素置換を終了した。

### 5.3 リークテスト及びリーク箇所への対処 (3/25~4/22)

窒素置換が終了した加速ユニットのうち、PF及びPF-AR入射に必要な3セクター以降の加速ユニット(24台)のリークテストを実施した。リークテストにはターボポンプを主ポンプとした粗排気装置3台とヘリウムリークディテクタ2台を用いて、2組6人で順次リークテストを実施した。

リークテストでリークが見つかった数を図8に、その内訳を図9に示す。

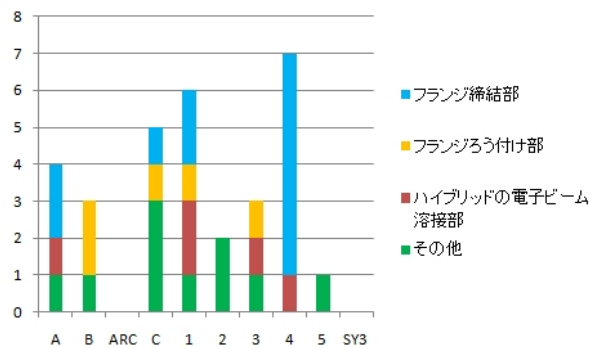


図8：リークテストで見つかったリークの数

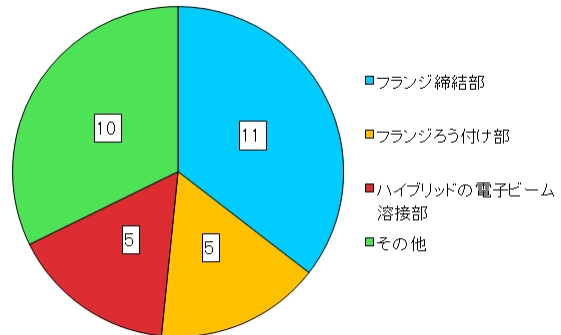


図9：リークの内訳

リークが見つかったフランジ締結部は増し締めを行った。増し締めでリークが止まらなかったものについてはガスケットの交換を実施した。

フランジのろう付け部分からのリークについては、ビーム試運転までの時間を考慮してバックシールでの応急処置を施した。

ハイブリッドの電子ビーム溶接部のリークに関しては、これまでに改造等で取り外した予備品との交換を行った。リーク対処の内訳を図10に示す。

また、目視で確認された破損箇所とリークテストで見つかったリーク箇所を入射器の標準的なユニット上に表したものを図11に示す。



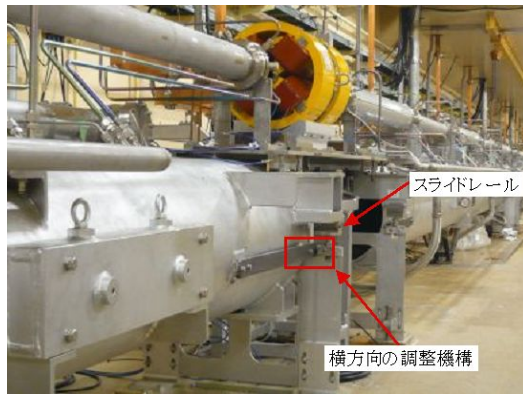


図 14：加速管架台の横方向調整

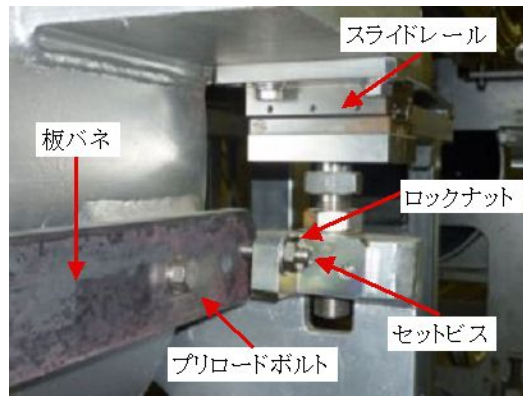


図 15：横方向調整機構の拡大図

架台の胴体横にある板バネと胴体の隙間を設計値 (10 mm) になるようプリロードボルトを調整後、ダイヤルゲージの値を確認しながら左右のセットビスを調整して横方向の調整を行った。横方向の調整が済んだ後、セットビスを規定量押し込み、ロックナットを締め付けて調整を終了した。

## 6 余震対策 (4/22~5/2)

度重なる余震による被害の拡大を防ぐため、応急処置として、被害が大きかった加速管架台のビーム進行方向への振動抑制器を設置した (図 16)。



図 16：加速管架台の下に設置された制振器

加速管架台の胴体下部に取り付けたケースと床に溶接されたケースの間に厚さ 10 mm のゴムシートを厚さ 10 mm の鉄板で挟んだダンパーを入れる事で、ビーム進行方向への動きを制限することを狙いとした。この制振器は 3 セクター後半から 5 セクターの奇数ユニット、計 10 台に設置された。

また、制振器を設置したユニットと前のユニットの間に鉄製の渡り板を設置し、2 つのユニットが一緒に動くよう改修を加えた。(図 17)



図 17：ユニット間に設置された渡し板

## 7 ビーム運転と今後の修復作業

真空の立ち上げ後、RF コンディショニングを経て、5 月 10 日にはビームの試運転を実施した。約 1 週間の調整期間の後、16 日には無事に PF へのビーム入射を開始することができた。現在は 7 月 7 日に運転を停止し、保守期間に入っている。前回対応ができなかった残りの A~2 セクター部分の復旧作業を進めており、特に加速管架台の脚部に関しては、応力計算、振動計算、固有振動数の測定等を実施し、強度不足対策を進めている。

## 8 まとめ

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により KEK 電子陽電子入射器の真空系は大きな被害を受けた。真空マニホールドのエンドキャップ破損、BPM のベローズ破損等により多くの加速ユニットが大気暴露された。他にも加速管架台の脚部損傷等、目視点検で見つかった損傷箇所は 112 箇所、その後のリークテストで見つかったリークは 31 箇所にとどまった。

その復旧作業は損傷を受けた機器の取り外しに始まり、加速ユニットの窒素置換、リーク対処、真空立ち上げ、加速管架台のアライメントというように、加速器の建設時と同等の作業が行なわれた。電力制限やトンネル内への湧水等、悪条件の中で進められた復旧作業ではあったが、3 セクター以降の 24 ユニットのみとはいえ、震災発生から数えて 2 カ月でビームが出せるまでに回復した。

ただし、あくまでも応急処置的対処であり、今後は根本的な対処を行なわなければならない。