

ビーム位置モニター用信号取り出し端子の破壊現象

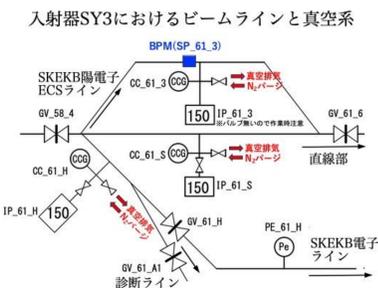
諏訪田剛*, 柿原和久, 宮原房史
KEK, 加速器研究施設 電子陽電子入射器

WEPO07

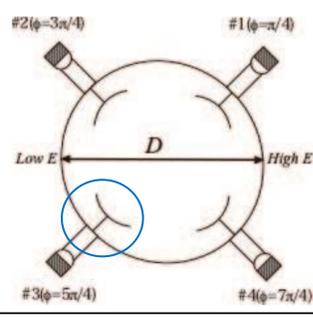
概要

- 2023.July.31夕刻(夏期保守中)、入射器第3スイッチヤードにあるSKEKB陽電子エネルギー圧縮部の中央に位置するビーム位置モニター(BPM)の信号取り出し端子から真空リークが発生した。
- ビームラインからBPMを取り出し当該リーク端子を取り外しSUS板を溶接することで真空封じをした後、3端子BPMとして元に戻すことにした。その後、予備機を至急発注し、冬期保守中に予備機と交換した。その後当該BPMは問題なくSKEKB運転に供している。
- 入射器では同様な120台以上ものBPMを運転に使用しているが、これまでBPM端子からのリークの経験はなかった。もし、原因が端子の構造問題に関わるのであれば、大きな問題に発展する可能性があり、早急に原因特定に取り組むことにした。
- 端子はSMAタイプのセラミック付き真空フィードスルーである。リークはセラミックの破壊によるものであった。以降、BPMのリーク端子他3端子を取り外し、また別に無垢の端子を準備し、端子に対し強度試験を実施した。この試験により、真空パーズ時、端子に激しい振動が加わり劣化を引き起こし破壊に至った、との結論が強く示唆された。

状況確認



当該BPM(SP16_3)の設置位置 第3SY/ECS部中央



当該BPMの破壊端子#3

当該端子除去後のBPM内外面

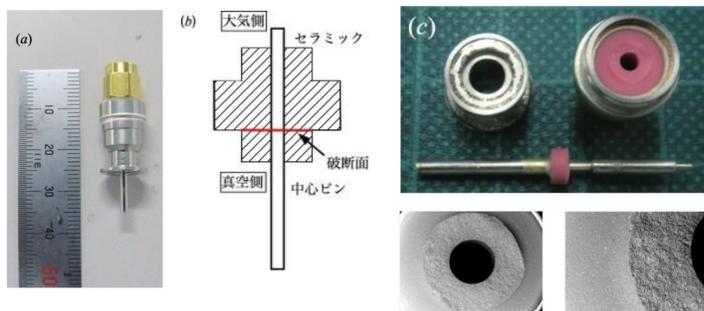


- 端子#3を取り外した後、SUS板で溶接
- ビームは右から左へと進行



- 中心ピンを引き抜き後のストリップライン電極
- ビームは手前から向こうへ進行

SMA端子の内部構造と破損状況



- SMA端子真空フィードスルー
- (a) 端子写真、(b) 内面セラミック部の構造

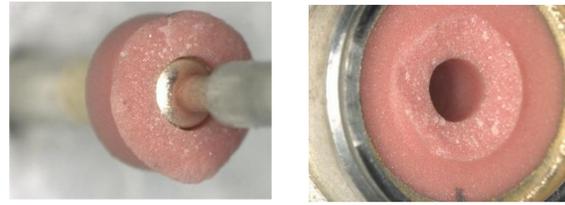
(c)セラミックの破損、破断面で見事に2分割している。(下) SEM画像、左下起点→右上に向けて力が動き、剥離したと考えられる。

まとめ

- 他Rad端子、無垢端子の荷重試験によると、セラミック破壊時の断面は破壊端子に比べその様子が異なるように見える
 - 絆創膏を剥がすような痕が見受けられた
 - このことは準静的荷重試験における端子破壊は、今回の端子破壊とは異なる破壊メカニズムによって考えて良さそうである
- 真空パーズ時の端子の高周波振動による破壊現象であることが強く示唆される

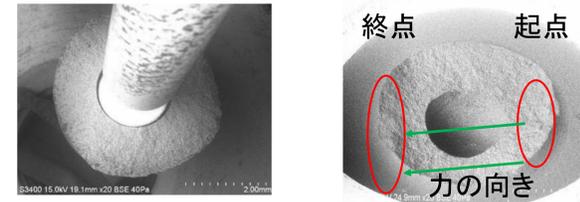
破壊端子(#3)の顕微鏡及びSEM画像

デジタルスコープ写真



- SEM画像及びデジタルスコープ写真で破壊面を観測
- SEM画像をよく観測すると起点と終点を確認できる

SEM画像



想定される三つ要因

(1) 欠陥残存説

- 素材の段階(焼結前)で圧力を掛け欠陥を除去する工程が不十分。この結果、素材の中に比較的大きな欠陥が残存した状態で焼結、何らかの原因でこの欠陥を起点として破壊に至った。通常、カラーテストで確認できる欠陥の大きさは0.5mm程度である。工場出荷検査ではセラミック外部にある欠陥の有無を確認するが、内部であれば発見は困難。

(2) 微細欠陥説

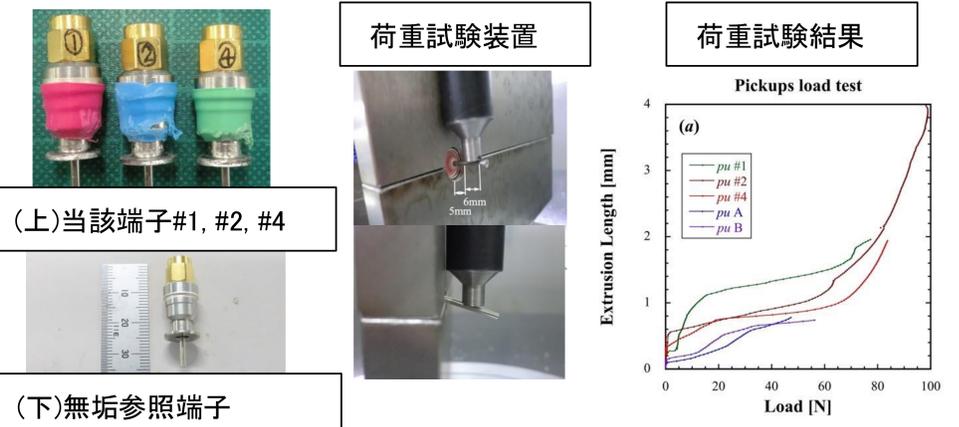
- 焼結後(型に入れて焼結)、欠陥検査(カラーテスト)を行うが、このテストに引っかからない程度の小さな欠陥が多数残存し、何らかの原因でその欠陥を起点として破壊に至った。残存欠陥は~10micronと言われている。
- (1)、(2)の仮説において、欠陥を大きく拡大させる力は、真空パーズ時の立ち上げ(又は立ち下げ)直後の~5分程度の空気の流れ(乱流)が生じ、この乱流がストリップライン電極を高速に震動させ、欠陥を拡大した。

- パーズ履歴: 3回、2021年夏設置後の粗排気(大気→真空)、2023年夏真空作業前の大気曝露(真空→大気)、GV_61_6交換後の粗排気(大気→真空) *このときリーク発見

(3) 放射線劣化説

- 陽電子運転時のビームロスに伴う放射線劣化が考えられる。特に当該BPMはECS中央でEnergy FBを行なっている。ビーム状態によっては他の直線部にあるBPMに比べビームロスが大きいと考えられる。
- 2021夏期保守に設置、設置から約2年、リークまでの実質運転時間は約10ヶ月

セラミック端子の耐荷重試験



(上)当該端子#1, #2, #4

(下)無垢参照端子

- 無垢端子の最大荷重(~50 N)は、Rad端子3個に比べ小さい(80~100 N)
 - 無垢端子セラミックの方が破壊相当応力が小さいことを示す
- 荷重ゼロ点における曲がり開始点に対し、無垢端子はRad端子3個に比べ変位量は小さい
 - このことは無垢端子ピンの方が硬いことを示す
 - セラミック破断面に働く相当応力はピンの硬軟によらない
- Rad端子3個の劣化が見られない、無垢端子の方がむしろ弱い
 - この結果をどのように解釈したら良いのか?

(c)セラミックの破損、破断面で見事に2分割している。(下) SEM画像、左下起点→右上に向けて力が動き、剥離したと考えられる。