

# 真空用エラストマーの耐放射線性の調査

伊野 浩史<sup>1,A)</sup>、齊藤芳男<sup>B)</sup>、久保富夫<sup>B)</sup>、金正倫計<sup>C)</sup>、壁谷善三郎<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>三菱重工業(株)名古屋航空宇宙システム製作所

〒455-8515 名古屋市港区大江町 10 番地

<sup>B)</sup> 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

<sup>C)</sup> 日本原子力研究所東海研究所

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

## 概要

近年の加速器の大電流化は、発生する放射線の増大を意味しており、大強度陽子リニアックのSDTL(Separated Drift Tube Linac)においても放射線による各部品の劣化が予測される。特に、従来真空シールとして使用されていたフッ素ゴムは放射線による劣化が大きいと、今までと同程度の真空保持機能を得るためには、より放射線に強い材質に変更する必要がある。そこで、耐放射線が高いと考えられるエラストマー製品数種に対し、1MGy の線照射を行い、硬度及びガス放出速度等の測定を行い、劣化具合を調査したので、その結果を報告する。

## 1. 緒言

日本原子力研究所(原研)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で建設を進めている「大強度陽子加速器計画」用リニアックの50MeV~190MeV区間はSDTL(Separated Drift Tube Linac)で構成されている<sup>[1]</sup>。本加速器は従来の陽子加速器に比べてビーム強度が増大しているため、特にゴム製真空シールの放射線による劣化が設計段階から問題となっていた。この問題に対する対策としては、一般的には金属製真空シールの使用が考えられる。しかし、図1に示すように、ステムとタンクが接触する部分の真空シールについては、DT取り付け作業時、アライメント調整として締め付けと緩めを何度か繰り返すため、一度締め付けると再使用が不可能な金属製シールをこの個所に使用するのは現状不可能である。そこで、このような個所にも使用可能な真空シールとして、従来品よりも耐放射線性の高いエラ

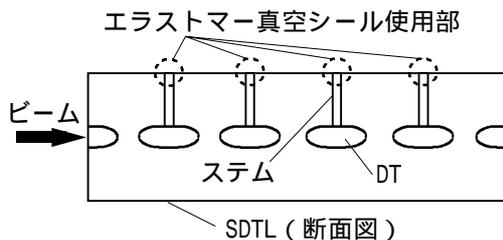


図1: エラストマー真空シール使用部

ストマー材の調査をすることになった。本論文では、市販及び開発中のエラストマーOリング数種に対し線照射を行い、真空シールとして使用可能かどうかを、従来品のフッ素ゴムと比較しながら評価した結果を報告する。高額な金属シールに代わるエラストマーが存在すれば、タンクと端版間等の大口径シールへの使用も今後検討する。

## 2. 照射サンプル選定

表1に照射試験に使用したエラストマーの種類を示す。形状はすべてG50(3.1×ID49.4)である。加速器用真空シールとして使用実績があるD0270(フッ素ゴム)を基準に、より耐放射線性に優れていると思われるOリング数種を選んだ。

表1: 線照射サンプル

商品名 or 型番	色	特徴
ピュアラバー (放射線架橋 フッ素ゴム)	透明	フッ素ゴムとフッ素樹脂が結合したポリマーからなる。放射線により架橋するため加硫剤を含まない。(開発中)
H0970(エチレン・ プロピレンゴム)	黒	耐放射線性に優れる。また耐オゾン性、耐熱性も良い。
カルレッツ 4001	黒	パーフロロエラストマー。フッ素ゴムよりも高い耐熱、耐薬品性を有する。
カルレッツ 8002	透明	充填材を含まない、透明なパーフロロエラストマー。
D0270(フッ素ゴム)	黒	従来品フッ素ゴム。加速器の真空シールに使用実績あり。

## 3. 線照射方法・条件

線照射は日本原子力研究所高崎研究所のCo-60照射施設にて行った。サンプルを出来るだけ均一に照射するために、図2に示すような丸テーブル状の治具を製作した。Oリングは中心の支柱部分に種類別に取り付けることができる。治具材質は、製作コストが低く、線透過性が良い木製とした。照射線源は治具の周りを囲むように設置される。線量率は

<sup>1</sup>E-mail: hiroshi\_ino@mx.nasw.mhi.co.jp

15kGy/h である。本試験では、すべて空気中照射で、1MGy までの照射を行った。

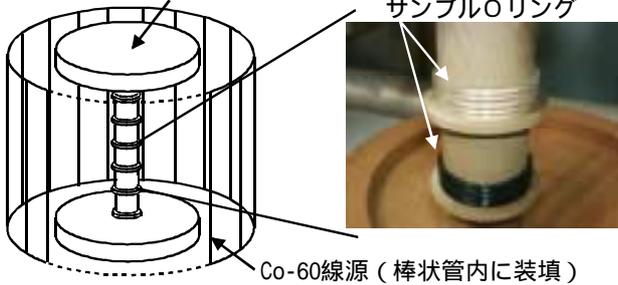
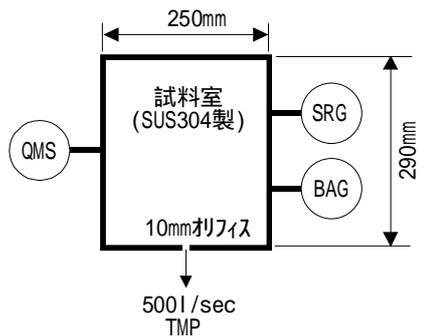


図 2 : 線照射方法

## 4 . 耐放射線性評価方法

### 4.1 ガス放出速度測定方法

加速器システムの安定化と長寿命化のためには、真空部品のガス放出速度は出来る限り低いことが望ましく、真空シールを評価する上で重要なパラメータとなる。測定は、各サンプルにつき、線照射前と 1MGy 照射後の 2 回行った。測定系概要を図 3 に示す (KEK 設備)。SUS304 製の円筒形の容器 (250mm x 290mm) に試料を入れ、10mm のオリフィスを介して真空を引き、圧力を測定する。真空計については、 $10^{-3}$ Pa ~  $10^{-5}$ Pa の範囲では SRG(Spinning Rotor Gauge)を使用し、それ以下の圧力では BA ゲージを使用した。また、放出ガスの種類を確認するため QMS(Quadrupole Mass Spectrometer)を付けた。ガス放出速度は、試料を入れた容器内の圧力から、あらかじめ測定しておいた試料を入れない場合の圧力を引き、コンダクタンスとの積により求めた。



QMS: Quadrupole Mass Spectrometer  
BAG: BA Gauge  
SRG: Spinning Rotor Gauge

図 3 : ガス放出度測定

### 4.2 真空リーク試験方法

線照射後、Oリングの真空維持機能を確認するために、ヘリウム (He) ガスによるリーク試験を行った。リークディテクタの真空引き口から短いニッ

プルを介して取り付けした真空フランジでリングを締め込み、He ガスを吹きかけ、Oリングとフランジとの隙間の有無を確認した。また、He がエラストマー内部を透過してくるまでの時間も測定した。

### 4.3 硬度測定方法

真空用エラストマーOリングの重要な特性の一つは、適当なゴム弾性を保持することである。そこで、放射線照射による各サンプルの劣化進行具合を、硬度の変化により評価した。硬度測定器は、定圧・定速荷重が可能なものを使用した。また本測定では、図 4 に示すようにOリングの形状に沿って溝を掘った専用の台を製作し、これを測定器の台に固定することにより、常にOリングの一定の位置にデュロメータの押針を当てる工夫をしている。

各サンプル共 線の照射前 ~ 1MGy 照射までの間の数点で測定を行った。エラストマーの種類毎に 2 個を硬度試験に使用し、押針接触後 15 秒後のデータを 1 個につき 3 点、位置をずらしながら取り、2 個の平均値 (3 点 x 2 個 / 6) をその硬度の値とした。

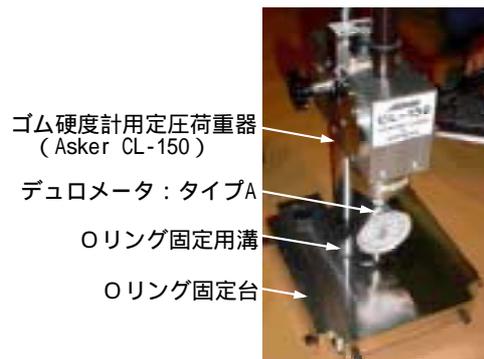


図 4 : 定速・定圧・定点硬度測定器

## 5 . 線 1 MGy 照射試験結果

### 5.1 線照射後外観変化

表 2 に 線 1MGy 照射後における各サンプルの外観上の変化を示す。H0970 以外は、表面を触ると粘り気 (表面粘着) があつた。これは主に 線により材料内に発生したフリーラジカルと空気中から透過してきた酸素の結合 (放射線酸化) によって起こる分子切断が進行したためと考えられる<sup>[2]</sup>。色の変化については、ピュアラパーとカルレッツ 8002 以外は元々黒色のため変化の有無は不明である。また、カルレッツ 4001 については他の Oリングと比べて劣化具合が著しく悪かったため、以降の試験・評価の対象から除外した。

表 2 : 線 1MGy 照射後外観変化

商品名 or 型番	表面粘着	その他
ピュアラパー	有 (強)	薄茶色に変色。

H0970 (エチレン・プロピレンゴム)	無	-
カルレッツ 4001	有(強)	全体に発砲状の凸凹多数。リング同士が融着。
カルレッツ 8002	有(強)	主に内部に気泡多数。薄茶色に変色。
D0270(フッ素ゴム)	有(弱)	-

## 5.2 ガス放出速度測定結果

図5に線照射前と1MGy照射後で測定した、各サンプルのガス放出速度の排気時間に対する変化を示す。ピュアラバーは、ガス放出速度が一桁以上大きくなったが、これは質量分析から見て表面粘着によって付いたゴミの影響が大きいと考えられる。H0970は、照射前後でガス放出速度の変化がほとんど無かったが、他のサンプルと比べて放出速度の値は元々高い。カルレッツ8002は約1桁ガス放出速度が大きくなった。これを質量分析すると、水が支配的であった照射前に比べて、照射後は20(分解生成物のフッ化水素)が支配的であった。D0270は、ガス放出速度が約2倍大きくなった。質量分析では、照射前には無かった20が若干出ていた。

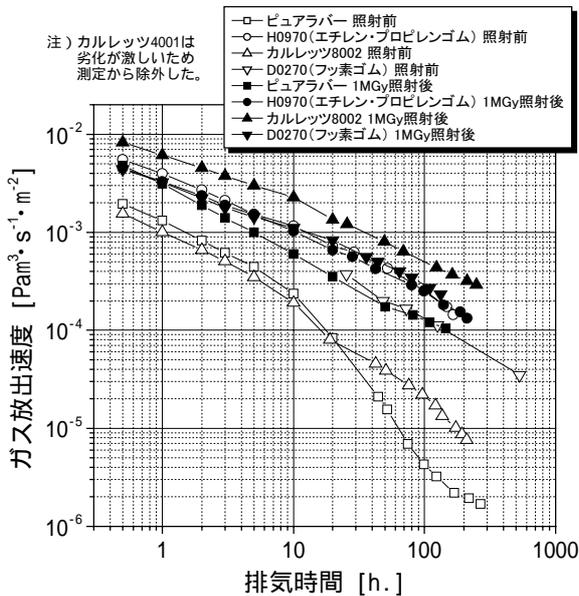


図5：ガス放出速度 線照射前後比較

## 5.3 真空リーク試験結果

表3に各サンプル1MGy照射後のリークの有無、及びHeがサンプル内部を透過するまでの時間を測定した結果を示す。各サンプル共、リークは無かった。He透過については、カルレッツ8002が最も早く、1分30秒後に透過が確認された。

表3：1MGy照射後真空リーク試験結果

商品名 or 型番	リーク有無	He透過時間 [分]

ピュアラバー	無	3.5
H0970(エチレン・プロピレンゴム)	無	3.5
カルレッツ 8002	無	1.5
D0270(フッ素ゴム)	無	8
カルレッツ 4001	劣化激しく、測定不能	

## 5.4 硬度試験結果

図6に各サンプルの線照射時間に対する硬度の変化率を示す。表2で示したように、H0970以外は表面が分解しているにもかかわらず、硬度は大きく(硬く)なっている。これは高線量率照射(短時間で高線量を照射)のため、空気中の酸素が材料の内部まで浸透せず、その結果ごく表面では放射線酸化による分解が進行したが、内部では酸素が不足し、逆に架橋が進行した結果と考えられる<sup>[2]</sup>。

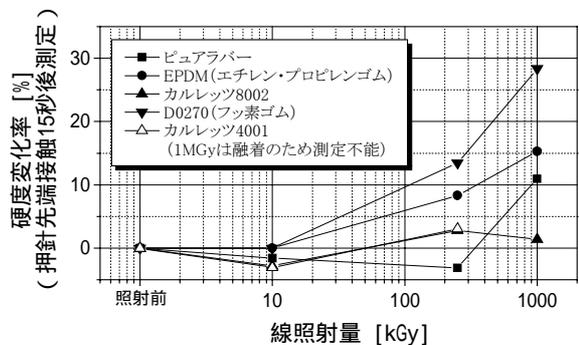


図6：線照射に対する硬度変化

## 6. 結論

表4に各試験項目について順位を付けた結果概要を示す。この表より、従来品フッ素ゴムのD0270を上回る評価(少ない合計点)が得られたのは、ピュアラバー(放射線架橋フッ素ゴム)とH0970(エチレン・プロピレンゴム)である。両者を比較した場合、H0970のガス放出速度はピュアラバーの約2倍あり、真空用としてはあまり好ましくない。一方、ピュアラバーはH0970には無かった表面粘着が発生したが、これは線の照射条件(線量率、空気中照射 or 真空中照射)によっては別の状態になる可能性もある<sup>[2]</sup>。したがって、今回の試験では、従来品フッ素ゴムのD0270に代わる真空用エラストマーとして有望なのはピュアラバーであると判断した。今後は、他の新たなサンプルと共により実際の使用環境に近い条件(酸素が無い状態)での照射を行う。

表4：線1MGy照射エラストマー評価結果

商品名 or 型番	ガス放出速度 (小さい順)	ガス透過時間 (長い順)	硬度変化 (小さい順)	外観変化 (小さい順)	点数計
ピュアラバー	1	2	2	3	8

H0970 (エチレン・プロピレンゴム)	2	2	3	1	8
カルレッツ 4001	測定 不能	測定 不能	測定 不能	5	-
カルレッツ 8002	4	4	1	4	13
D0270 (フッ素ゴム)	3	1	4	2	10

## 参考文献

- [1] 長谷川 和男, “大強度陽子加速器計画用リニアック”, 第 26 回リニアック技術研究会, p91 ~ p94, Aug.2001
- [2] 瀬口忠男, “放射線環境における高分子材料の寿命”, マテリアルライフ, Vol.9, No.1, p20 ~ p27, Jan.1997