放射線照射下におけるターボ分子ポンプの 耐久性試験

成島 勝也*・白石 成之**・琴浦 貞行**・曾我美 晋**

(受付1992年4月30日, 掲載決定1992年6月6日)

Endurance Test of Turbo-molecular Pump Exposed to Radiation

Katsuya NARUSHIMA*, Shigeyuki SHIRAISHI**

Sadayuki KOTOURA** and Susumu SOGAMI**

*(National Laboratory for High Energy Physics, 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki)

** (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 4-6-22, Kan-on-shinmachi, Nishi-ku, Hiroshima)

(Received April 30, 1992, Accepted June 6, 1992)

1. はじめに

大型ハドロン計画¹⁾等の大強度, 重イオンビームの加速器を設計する場合, 残留放射線のレベルが高くなることが予想される²⁾ので, ビーム損失の低減に関する研究と共に加速器を構成する機器の耐放射性に対する対策を考慮する必要がある。

また, 近年, 前記のような加速器のみならず, SORリング, X線分析装置及び核融合装置など放射線環境でかつ超高真空を必要とする用途の真空排気系にターボ分子ポンプが使用されることが多い。

しかしながら一般に使われるターボ分子ポンプの構成要素, 構成材料の耐放射線性には制約があり, 放射線環境によっては特殊な材料が要求されたり, メンテナンス性の面で制限されることが多いためターボ分子ポンプの耐放射線限界を見極める必要がある。

その一環として, 永久磁石とビボット軸受で支承されたメンテナンスフリーのターボ分子ポンプ(三菱重工社製 PT-50R)について実証試験を行った。

2. 供試ターボ分子ポンプ

2.1 ターボ分子ポンプの構成

供試ターボ分子ポンプ PT-50R は, 一般用途向けの三菱重工社製 PT-50に使用材料変更等の耐放射線性改良を加えたもので, 構造及び排気性能はいずれも同じである。その概略構造を Fig. 1 に, 排気性能を Fig. 2 に示す。また主要構成部品の使用材料を Table 1 に示す。

これらの材料の耐放射線限界値は, 種々の文献値^{3,4)}からある程度推察可能であるが, 特殊な部品については, 単体の放射線照射による確認評価が必要である。中でもオイル, ゴムなどについてはターボ分子ポンプでの評価が報告⁵⁾されており, 特に従来より, 高粘度・低飽和蒸気圧の軸受油として使用実績の多いフッ素系潤滑油は, 高エネルギーの放射線照射による分解反応で発生するフッ素系ガスが金属材料の腐食をひき起こ得ること及び軸受油としての性能劣化を生じ得ることが指摘されている。

これらの示唆を得て, フッ素系潤滑油については, さらに放射線照射に対する改良が進められており, MgO の超微細粉末をコロイド状に添加することにより, 潤滑性能を阻害することなく, 放射線照射に伴うフッ素系腐食性ガスの拡散抑制が可能な改良油が報告⁶⁾されている。

* 高エネルギー物理学研究所 (茨城県つくば市大穂1-1)

** 三菱重工株式会社 (広島市西区観音新町4-6-22)

Fig. 1 Construction of Turbo-molecular Pump PT-50R.

Fig. 2 Pumping Speed (N_2 gas) of Turbo-molecular Pump PT-50R.

2.2 予察試験

(1) ターボ分子ポンプ部品の放射線照射試験

Table 1 に示す構成部品のうち、文献調査等での推察が困難なハーメチックシール、冷却ファン及び上部軸受用永久磁石については、日本原子力研究所高崎研究所の施設を利用し γ 線照射による評価を行い、ターボ分子ポンプの耐放射線性を予察した。

その結果 2×10^4 Gy (2×10^6 rad) の吸収線量に対して下記のとおり良好であることを確認できた。

ア. ハーメチックシールは He リークディテクタによるリークチェック及び相間の絶縁チェックともに異状は認められなかった。

イ. 冷却ファンは外観異状もなく、照射後の 1 ヶ月間連続運転でも異状は認められなかった。

Table 1 TECHNICAL DATA OF TURBO-MOLECULAR PUMP PT-50R

No.	MATERIAL	COMPONENT
1	Stainless steel	Casing, Shaft, Emergency bearing
	Aluminum alloy	Rotor blade, Stator blade
	Magnetic steel sheet	Motor rotor
	Aluminum die castings	
	Titanium alloy	
	Copper alloy	Pivot bearing shell
2	Rare-earth magnet	Magnetic bearing (Permanent magnet)
3	Fluorine oil	Lubricant oil for pivot bearing
4	Disulfuration molybdenum (MoS_2)	Composite of emergency bearing
5	Polyamideimide insulated wire	Coil of motor
6	Cross-linked polyethylene insulated cable	Lead wire of motor
7	Epoxy resin	Adherence of motor coil end
8	Polyvinyl chloride insulated cable	Output cable
9	Silicone rubber	O-ring
10	(Cooling air fan is composed of many parts, so it is difficult to classify the fan into the material.)	
		Cooling air fan
11	Glass	Seal of hermetic connector

ウ. 永久磁石は外観及びガウスメータによる供試前後の減磁チェックともに異状は認められなかった。

(2) 改良軸受油による回転性能試験

γ 線照射前後のフッ素系改良軸受油をターボ分子ポンプに供試し、各々約 2000 時間の連続運転を行った結果、何ら異状なく良好な回転性能が得られることが確認できた。

3. 高エネルギー物理学研究所 (KEK) に おける放射線照射実証試験

3.1 フィールド試験の概要

陽子シンクロトン (KEK-PS) の主リング (12 GeV) の粗排気系増強のために予定されているターボ分子ポンプの設置場所の中で、比較的残留放射線量の高いと考えら

Fig. 3 Turbo-molecular Pump (PT-50R) Installed in KEK-PS Main Ring (II-1F~I-7B').

れているビーム取出し部に近いII-1F（四極電磁石）とI-7B'（偏向電磁石）の間に、ほぼビームレベルで、ビーム軸から約30 cm離れた場所（Fig. 3）にPT-50Rを設置し、2233時間被曝させた。さらにブースターリング（500 MeV）の入射部のS1直線部の床面に設置し、1318時間被曝させた結果、 $5 \times 10^2 \text{ Gy}$ ($5 \times 10^4 \text{ rad}$) の放射線量を被曝させたことを確認した。KEK-PSは主リング（12 GeV, $2 \sim 3 \times 10^{12}$ PPP）、. . . ブースターリング（500 MeV, $0.8 \sim 1.5 \times 10^{12}$ PPP）の比較的高強度で運転されているが、以上の結果、最近ではロスの少ない運転がなされていると考えられる。3週間連続運転モードの運転終了のたびにターボ分子ポンプの起動テストを繰返し行なったが異状は見られなかった。さらに、これらのテストの後にブースターリングの取出し部のS3真空チャンバーのビームレベルの位置に設置して、743時間で $1 \times 10^5 \text{ Gy}$ ($1 \times 10^7 \text{ rad}$) 被曝させたが、ターボ分子ポンプPT-50Rの起動性能に異状は認められなかった。

しかしながら、ターボ分子ポンプに外付けの空冷用冷却ファンはコネクタ部に異常を生じ、回転しなくなった。なお、 $1 \times 10^4 \text{ Gy}$ ($1 \times 10^6 \text{ rad}$) では冷却ファンに異状は無かった。

3.2 試験結果及び考察

ターボ分子ポンプPT-50Rは $1 \times 10^5 \text{ Gy}$ ($1 \times 10^7 \text{ rad}$)

の被曝で異状はなく、設置が予定されている主リングでの1年間の被曝結果は $5 \times 10^2 \text{ Gy}$ ($5 \times 10^4 \text{ rad}$) 程度であるので、KEK-PSに於いて使用する程度では問題ないことが確認された。

ブースターS3に於けるテストは現在も継続されている。

なお、冷却ファンの故障については、今後さらに検討して対処する必要がある。

4. ま と め

永久磁石とフッ素系改良潤滑油を使用したピボット軸受で支承されたターボ分子ポンプPT-50Rについて放射線照射試験を行なった結果、 $1 \times 10^5 \text{ Gy}$ ($1 \times 10^7 \text{ rad}$) の吸収線量に対しても良好な耐久性を有することが実証できた。本ターボ分子ポンプは油による有効なダンピングを有し、また、軸受の制御を必要としない本質的に安定な構造であることから、小さな渦電流損ダンピングと電氣的制御力により支えられた一軸制御型ターボ分子ポンプに比して、外乱に対する安定性、メンテナンスフリー性、遠隔操作性等のすぐれた特性が生かされるので、放射線環境下でのターボ分子ポンプの有用性はさらに高まると考えられる。

なお、ターボ分子ポンプ本体とコントローラ間の距離を大幅に長くする場合においても三菱ターボ分子ポンプPT型は、ケーブル長によるモータ駆動電圧の低下をカバーするのみで運転可能であり、約200 mまでの遠隔操作仕様（オプション）の対応ができる。

〔文 献〕

- 1) 山崎敏光：日本原子力学会誌 Vol. 31 No. 9 (1989) p47~52
- 2) 渡辺 昇：日本原子力学会誌 Vol. 31 No. 9 (1989) p33~39
- 3) 電気学会技術報告Ⅱ部 Vol. 85 (1979)
- 4) 上羽勝邦他：大日本電線時報 Vol. 47 (1971)
- 5) 百瀬 丘, 石丸 肇：真空 Vol. 32, No. 2 (1989)
- 6) 西村 淳他：日本潤滑学会トライボロジー会議予稿集 (1991)