

長期間使用したボールベアリングの破損と水素の関与

Prolonged Use of Damaged Ball Bearings and the Effects of Hydrogen Involvement on Material Degradation

東陽テクニカ/東京電機大（正）*松本 謙司

Kenji Matsumoto*/**

*Toyo Corporation, **Tokyo Denki University

1. はじめに

CO₂削減は、乗用車も含め大型輸送システムでも実施が求められている。その中で、水素を燃料とした内燃機関は有効な手法であり、大型車両（トラックや船舶等）向けに基礎研究をスタートしている。現時点では既存の単気筒ディーゼルエンジンを改造し、水素と軽油を直接筒内に噴射、点火プラグにて着火する事で燃焼を実現するレベルにある。今後、様々なエンジンメーカーがこれら水素燃焼エンジンの開発に着手する予定である。その中で課題の一つである水素脆化について、ある程度先行して把握したいと考え、研究を開始している。

2. 目的

一般に水素脆化は高温では起こり難いが、燃料噴射装置のノズルやピストンリング、ピストンにおいて高圧になる為、水素脆化による損耗・摩耗が懸念されている。我々も今まで、水素中に部品を暴露した試験を実施して来たが、大気中の水素と供給した燃料としての水素の切り分けが難しく、様々な手法を検討して来た。今回は、大気中に存在する水素との切り分けをする目的で三重水素(トリチウム)¹⁾による水素捕捉試験を実施したので紹介する。

3. 実験方法

水素は介在物付近にトラップされるが、今回の供試体では、その介在物の濃度は低くなっている可能性が高い。その為、介在物周辺にトリチウムを濃縮していても、BIXS 法(β -ray induced X-ray spectrometry)で検出できない可能性がある。そこで、BIXS 法の感度を確認するため、既知量の硫化物介在物を含有する Fe 試験片²⁾にトリチウムガスを導入し、BIXS 測定を行い、試料中の水素捕捉特性を評価し、その有効性を確認後、供試体について水素捕捉試験を実施した。供試体は 32 万 km 走行した車から取り外したボールベアリングとし、内輪、外輪に切り出し試験片とした。

3.1 トリチウムの曝露

硫化物介在物を含む Fe 試料に不純物として存在する水素を除去するため、真空中で 910 °C に加熱した。次にトリチウム曝露装置(Figure 1)を用いてトリチウムガスを曝露した。トリチウム曝露装置は、試験片を入れる石英管と石英管内を真空にするターボ分子ポンプ及びスパッタイオンポンプ、真空度を測定する隔膜型真空計、トリチウムガスを放出するゲッターから構成される。

超音波洗浄をした試験片を石英管に入れ、曝露装置に取付け、排気を行い、試料温度を 180 °C まで 10 °C 刻みで昇温、180 °C で 5 時間真空排気を行った。真空排気を止め、ZrNi 合金ゲッターを加熱し、試料温度 180 °C で 2 kPa の D-T 混合ガス(T/D = 0.04)で 5 時間曝露を行った。その後、ZrNi 合金ゲッターを冷却し、トリチウムガスを回収。この試験片からの β 線誘起 X 線スペクトルを BIXS 装置で測定した。この実験は放射線管理区域にて実施した³⁾。

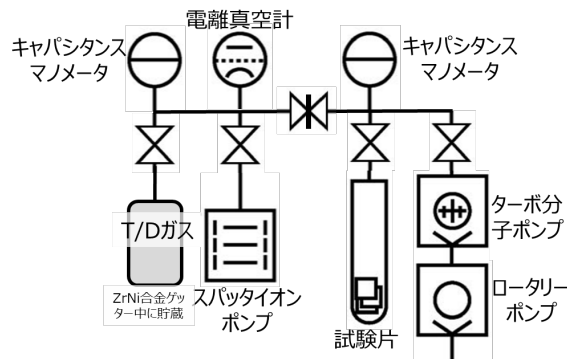


Fig.1 トリチウム曝露装置

3.2 トリチウムの検出(BIXS 装置)

BIXS 装置は、トリチウムガスから放出された β 線がエネルギーを失う時に放出される制動 X 線や β 線が周辺原子の軌道電子にエネルギーを与え、放出される特性 X 線を検出する事により、固体表面及び内部のトリチウム量と分布を測定する装置である。検出器には厚さ 8 μ m のベリリウム X 線入射窓を持つ SSD を用いた。1 keV 以下の X 線はベ

リリウム窓に吸収されるため、検出不可能である。この BIXS 法を用いて、既知量の硫化物介在物を含有する Fe 試料を大気中で測定し、水素捕捉特性を評価した。切り出した試験片は検出器の前に配置して測定し、各特性 X 線のピークを識別するのに十分な信号対雑音(S/N)比が得られるまで計測を実施した。

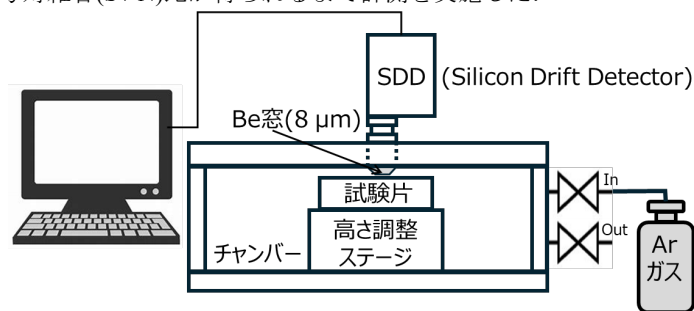


Fig.2 BIXS 装置

4. 実験結果(BIXS 測定)

Figure 3 に内輪切断面の BIX スペクトル, Figure 4 に外輪切断面の BIX スペクトルを示す。Si K α 線は検出器, Ar K α 線は大気由来と考えられる。使用済軸受の方が未使用軸受より信号強度が大きい。未使用軸受, 使用済軸受共に軸受の主成分である Fe 及び Cr の K α 線, K β 線が確認できた。その他の元素は S K α 線が使用済軸受外輪のみで確認された為、切断面において水素は介在物ではなく、母相である Fe や Cr に捕捉されていると考えられる。

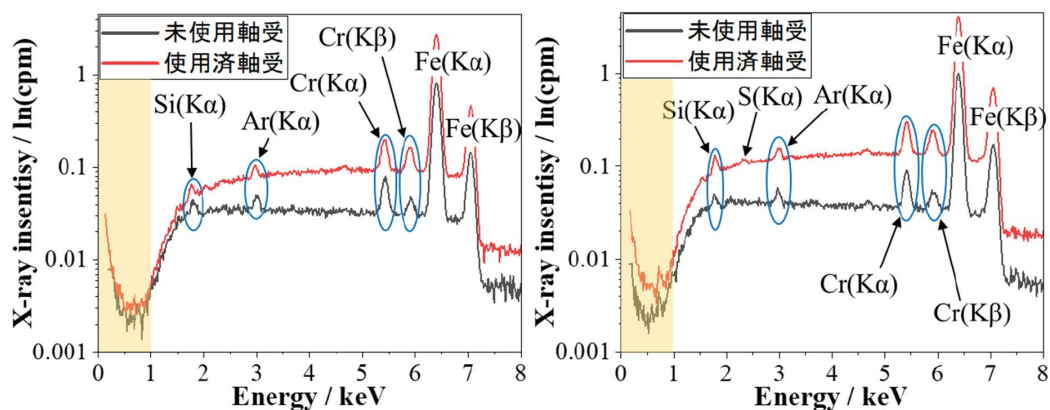


Fig.3 内輪切断面の BIX スペクトル

Fig.4 外輪切断面の BIX スペクトル

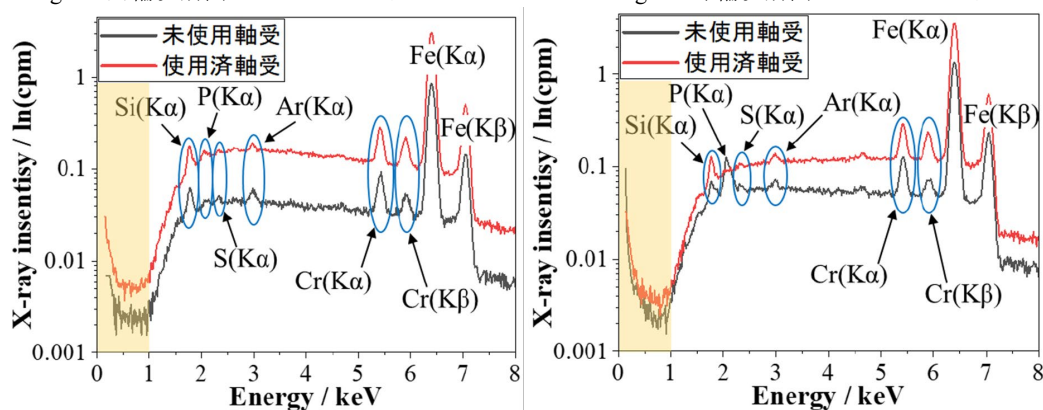


Fig.5 内輪軌道面の BIX スペクトル

Fig.6 外輪軌道面の BIX スペクトル

Figure 5 に内輪軌道面の BIX スペクトル, Figure 6 に外輪軌道面の BIX スペクトルを示す。軌道面の BIX スペクトルは使用済軸受の方が未使用軸受より信号強度が大きい。軸受の主成分である Fe 及び Cr の K α , K β 線が未使用軸受, 使用済軸受共に確認された。この結果、トリチウムの一部が介在物に捕捉されている事を示唆している。これらの結果より、高濃度に捕捉されたトリチウムは軸受けを使用する事で形成された転位や空孔などの格子欠陥及び亀裂先端の歪場に捕捉されていると思われる。この詳細な説明は講演時に行う予定である。

文献

- 1) 波多野雄司, “トリチウム実験入門”, J. Plasma Fusion Res. Vol.96, No.6 (2020)300-304
- 2) 日本鉄鋼標準試料分析成績表, 社団法人日本鉄鋼協会 鉄鋼標準試料委員会 1985.
- 3) 松山政夫, “水素同位体科学研究センターにおける最近のトリチウム研究”, J. Plasma Fusion Res. Vol.78, No.12 (2002)1301-1307