

再処理施設におけるグローブボックスパネル用ガスケットの物性評価

Physical property of seal-gasket for glove box panel in reprocessing facilities

日本原子力研究開発機構	後藤 雄一	Yuichi GOTO	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	山本 昌彦	Masahiko YAMAMOTO	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	久野 剛彦	Takehiko KUNO	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	駿河谷 直樹	Naoki SURUGAYA	(Non-Member)

Abstract

Chloroprene rubber gaskets are often used to seal the glove box body and its panels. Such gaskets are deformed with compressive pressure and its elastic restoring force keeps sealing property. Therefore, gaskets play an important role in glove box sealing. However, physical properties of those used in glove box have not reported so far. In this study, hardness, elongation, tensile strength and compression set are investigated and its sealing performances are evaluated. The gaskets samples are taken from the glove box, which is used for 37 years. It is found that hardness, elongation and tensile strength of gaskets are changed due to the aging but its values are within the specification of chloroprene rubber. Also, the compression-set is less than the value that sealing performance is decreased. The results show that even the gaskets are used for long time, it has the property to keep sealing performances of glove box.

Keywords: glove box, chloroprene gasket, reprocessing facility

1. 諸言

核燃料再処理施設では、プルトニウム等の放射性物質を安全に取り扱うため、外気と遮断した状況に閉じ込めて作業が可能となるグローブボックス(以下、GB という)が使用されている。GB は、透明パネルやグローブ等を備えた箱型の密閉容器であり、その多くは、本体の材質にステンレス鋼、パネルには透明の樹脂が使用されている。GB 本体とパネル間の接合には、コの字型に半円形の突起(主リップ、副リップ)を有するクロロプレン製のガスケットゴムが使用されており、押さえ板をナットで締め付けてガスケットに圧縮変形を与え、その弾性復元力により接合面を密着させ、密閉性を確保している(図1)。

クロロプレンは、他の合成ゴムよりも機械的強度が高く、ガス透過性も小さく密着性に優れていることが知られている¹⁾。一方、酸素、オゾン、光、放射線などの様々な外的要因で物性が経年変化²⁾して、これによりガスケットの弾性復元力が低下した場合、GB の密閉性能に影響を及ぼすことが考えられる。しかし、これまでGB で長期間使用されてきたガスケットの物性値と密閉性能の評価については殆ど報告がない。そこで、本件では、日本原子力研究開発機構(JAEA) 東海再処理施設で実施したGB のパネル更新で得られた使用済みガスケットについて、その物性を調査し、密閉性能に与える影響を評価した。

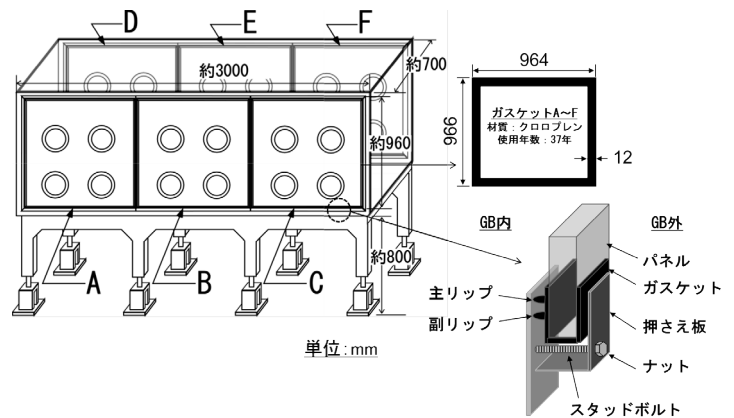


図1 パネルを更新したグローブボックスとパネル部断面の概要

2. 試験

2.1 ガスケット試料

試験で使用した試料は、図1に示すように東海再処理施設の分析所に昭和53年に設置されたGBのパネルA~Fから取り出したガスケットである。当該GBでは、これまで硝酸ウラン溶液及び硝酸プルトニウム溶液を用いて、施設の安全・安定運転に係る試験及び再処理技術の高度化のための試験など、様々な試験が実施されてきた。このため、本ガスケットは、37年間にわたり、ウラン、プルトニウム等からの放射線、硝酸及び抽出に使用するリン酸トリブチル、n-ドデカン等の溶媒に暴露されてきた。

連絡先:後藤 雄一、〒319-1194 茨城県那珂郡東海村
村松 4-33、核燃料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター 施設管理部 分析課
電話:029-282-1111、E-mail: goto.yuichi@jaea.co.jp

2.2 外観・寸法調査

各ガスケットA～Fについて、目視によるひび割れ、変色等の損傷状況を観察した。また、ノギス、マイクロメータ等を使用してガスケットの外寸、リップ部分の寸法を測定し、潰れなどの変形量を調査した。

2.3 物性値(硬さ、伸び率、引張り強さ、圧縮永久ひずみ)の測定方法

外観・寸法の調査結果を基に、ガスケットA～Fのうち、ひび割れ等の損傷が最も多かったものと少なかったものについて、ゴムの弾性及び強度の指標となる硬さ、伸び率、引張り強さ、及び密閉性能へ直接影響を及ぼす圧縮永久ひずみを測定した。測定にあたっては、図2に示すサイズに各辺を150mm程度にカットした後、シール面、背面、押し面の各面に切り離して試験片とした。その後、図3に示す手順にて硬さ、伸び率、引張り強さ、圧縮永久ひずみを測定した。

硬さは、JIS K6253³⁾に準じて試験片を6mm以上になるよう重ねて、タイプA デュロメータ(テクロック製GS-779G)で測定した。なお、シール面は、リップ部分を含みデュロメータでの硬さ測定が困難であったため、背面、押し面の硬さのみを測定した。

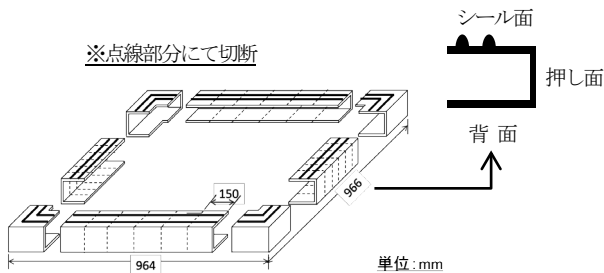


図2 試験用ガスケットの製作

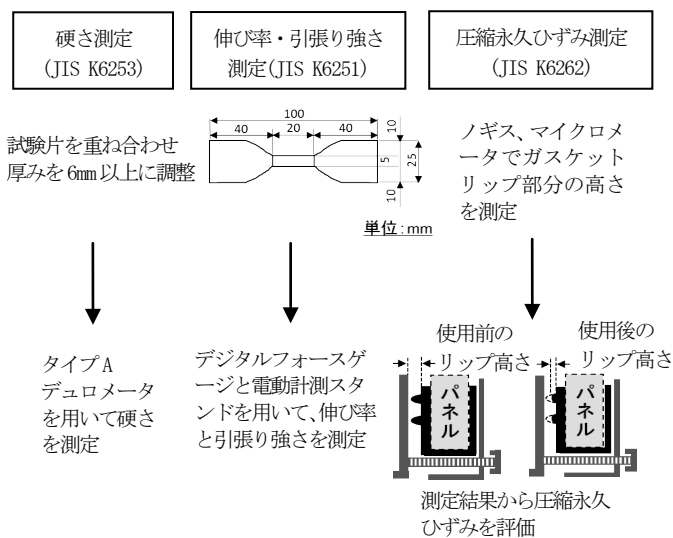


図3 各物性値の測定手順

伸び率と引張り強さは、JIS K6251 に準じて⁴⁾ 試験片を試験片打抜き機(Asker 製試験片打抜き機)でダンベル 3号形に打抜き、デジタルフォースゲージ(IMADA 製DS2-200N)、電動計測スタンド(IMADA 製MX2-500N)で標線間の伸びと力を測定して式(1)、(2)を用いて求めた。なお、押し面の試験片については、ダンベル 3号形に打抜くために必要な幅を有していなかったため、シール面と背面のみについて測定を行った。

$$E_b = \frac{L_b - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

E_b 切断時伸び率(%)
 L_b 切断時の標線間距離(mm)
 L_0 測定前標線間距離(mm)

$$TS_b = \frac{F_b}{Wt} \quad \text{式(2)}$$

TS_b 切断時引張強さ(N/mm²)
 F_b 切断時の力(N)
 W 試験片の幅(mm)
 t 試験片の厚み(mm)

圧縮永久ひずみは、寸法測定で調査した主リップ及び副リップの高さ測定結果を基に、JIS K6262⁵⁾に準じて式(3)から評価した。また、リファレンスとして新品のガスケットの硬さ、伸び率、引張り強さを測定し、使用済みガスケットの値と比較した。

$$CS = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

CS 圧縮永久ひずみ(%)
 h_0 使用前のリップ高さ(mm)
 h_1 使用後のリップ高さ(mm)

3. 結果

3.1 ガスケットの外観・寸法

ガスケットA～Fの外観調査の結果、全てのガスケットにひび割れ、変形があり、特にパネル下部に位置する部分には、著しい変色、汚れ等が見られた。各ガスケットの中で最も損傷が著しかったものは、ガスケットCであり、最も損傷が少ないものはガスケットDであった。これらのガスケットの外観写真を図4に示す。

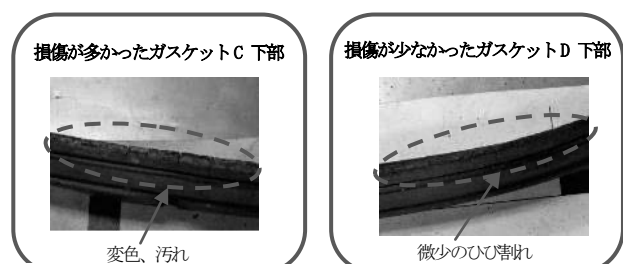


図4 ガスケットの外観

当該GBで過去に実施してきた試験では、パネルC近傍に抽出試験器(ミキサセトラ)を設置し、プルトニウム等の溶媒抽出を行っていた。ガスケットCは、この時に使用していた有機溶媒の影響で多くの損傷が発生したと推測された。ガスケットDは、ミキサセトラからの距離が離れていたため、損傷が少なかったと考えられる。また、ガスケットA~Fの寸法調査の結果、外寸は、縦966~982mm、横977~981mmの範囲であり、設計値(縦966mm×横964mm)よりも最大で約2%伸びていた。リップ部分は、ほぼ全ての位置で設計値(2.5mm)と比較して潰れており、その高さは0.8mm程度であった。これは、ナットの締め付けトルクにより長期間GBに押さえつけられていたためと考えられる。さらに、リップの一部は、長期間に及ぶ硝酸、有機溶媒の影響でGBに固着していた。

なお、クロロプレンは、 $10^4 \sim 10^5 \text{Gy}$ の放射線で劣化するが⁶⁾、本GBの線量率は、 $12.5 \mu\text{Sv/h}$ 以下で管理されており、37年間使用したガスケットの吸収線量は、最大でも4Gy程度と放射線による影響は殆どないものと考えられる。

3.2 ガスケットの硬さ

ガスケットの硬さは、ひび割れ等の損傷が最も多く見られたガスケットCと最も少なかったガスケットDについて、上部、右部、下部、左部の4箇所に分けて測定した。測定した硬さは、図5に示すように全て約 80° であり、取付け部位及びガスケット面の違いによる有意な差は確認されなかった。また、測定した硬さは、リファレンスの測定結果(58°)と比べると4割程度高く、GBでの使用によりガスケットが硬化していることがわかった。なお、ガスケットの硬化は見られたものの、その値はクロロプレンゴムの硬さの仕様範囲内($10 \sim 90^\circ$)であり⁷⁾、素材としての性能は維持していると考えられる。高橋らは、南極昭和基地で35年間使用した構造用ガスケットについて硬さを測定し、走査電子顕微鏡による表面観察を実施している⁸⁾。その結果、35年間の使用でガスケットは、 80° に硬化していたが、表面の状態は良好であり、密閉性能にも影響を及ぼさないことを報告している。このため、本ガスケットの硬さも、GBの密閉性能へ影響を及ぼすことはないと考えられる。

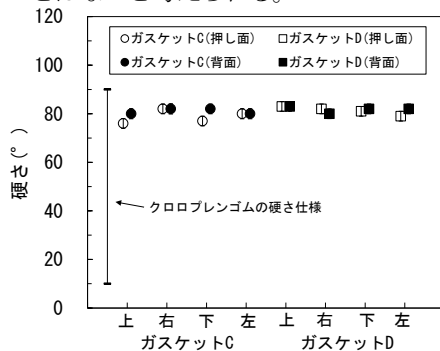


図5 ガスケットの硬さ

3.3 ガスケットの伸び率、引張り強さ

測定したガスケットの伸び率と引張り強さを図6に示す。伸び率と引張り強さも硬さ測定と同様にガスケットC、Dの上部、右部、下部、左部の4箇所に分けて測定した。その結果、全ての部位でガスケットの伸び率は約100%、引張り強さは約 5N/mm^2 であり、硬さと同様に取付け部位及びガスケット面の違いによる有意な差は確認されなかった。リファレンスの測定結果(伸び率:530%、引張り強さ: 13.4N/mm^2)と比較すると、測定した伸び率は8割、引張り強さは6割低下しており、物性値の経年劣化が見られた。しかし、伸び率、引張り強さともにクロロプレンゴムの仕様範囲内(伸び率: $100 \sim 1000\%$ 、引張強さ $4.9 \sim 24.5 \text{N/mm}^2$)であり、固定シール材として使用するOリングに要求される物性値(伸び率60%以上、引張り強さ 3.4N/mm^2 以上)⁹⁾は満足する値であった。これらの結果より、本件の使用済みガスケットは、密閉材として必要な性能は十分に有していると考えられる。

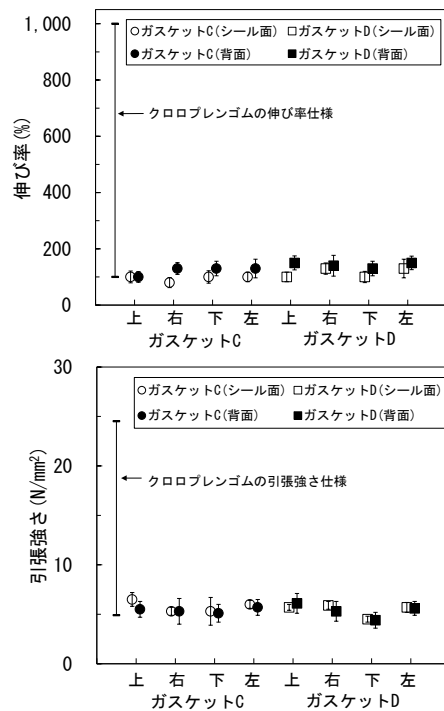


図6 ガスケットの伸び率(上)、引張り強さ(下)

3.4 ガスケットの圧縮永久ひずみ

ガスケットの寸法測定結果から、ゴムの復元性能の指標となる圧縮永久ひずみを評価した。圧縮永久ひずみもガスケットC、Dの主リップと副リップについて上部、右部、下部、左部の4箇所に分けて評価した。その結果、図7に示すように圧縮永久ひずみは、43~70%の範囲であ

り、密閉性能が低下してリーク発生の可能性が急激に高まる80%¹⁰⁾には到達していなかった。原子力安全基盤機構の報告では、ガスケットの圧縮永久ひずみが84%に到達してもGBからのリークは確認されていない¹¹⁾。このため、本ガスケットでもGBの密閉性能は十分に担保されていたと考えられる。また、主リップの圧縮永久ひずみは、副リップよりも約10%高い値を示した。これは、主リップがGB内の試料及び有機溶媒等と接触していたために、復元性能が低下して圧縮永久ひずみが増加したと考えられた。圧縮永久ひずみのデータから、GBで使用するガスケットの寿命の評価を試みた。クロロプレン等のゴムの寿命推定方法としては、熱加速試験で得られた各温度の圧縮永久ひずみに、温度と時間を関数とするラーソン・ミラー・パラメータを適用して求める方法がある¹¹⁾。本法により当該GBの使用温度(25°C)において、評価したガスケットの使用可能年数を評価した結果、図8に示すように約48年であり、本ガスケット(37年使用)は、使用可能期間内を超えるものではなかった。なお、圧縮永久ひずみが大きくなるとゴムの復元力が低下するため、GBの密閉性能の維持には、ナットの定期的な増し締めが必要と考えられる。

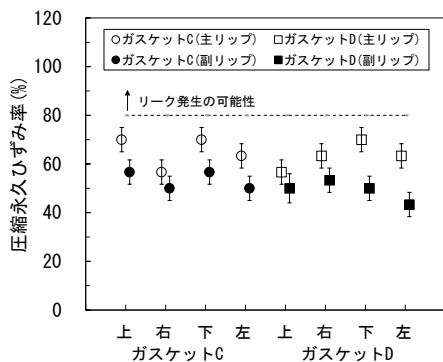


図7 ガスケットの圧縮永久ひずみ

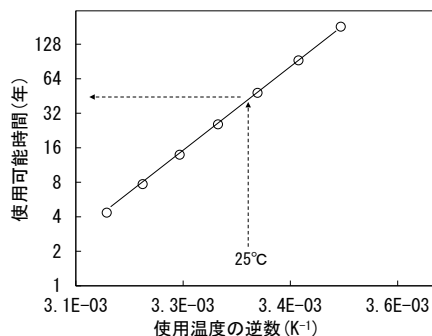


図8 圧縮永久ひずみとラーソン・ミラー・パラメータの関係式

4. 結言

GB使用済みガスケットの物性調査を実施した結果、経年変化によるガスケットの硬化、伸び率及び引張り強さの低下、圧縮永久ひずみの増加が確認された。しかし、硬化の程度は、密閉性能に影響を及ぼさないレベルであり、伸び率と引張り強さは、固定シール材用Oリングに要求される物性値を満足していた。圧縮永久ひずみも密閉性能が低下し始める80%を下回っており、本GBのガスケットゴムによる密閉性は担保される結果であった。なお、圧縮永久ひずみは、時間の経過に伴って増加するため、GBの密閉性を長期間確実に維持するには、ゴム復元力の低下に伴う適正なトルク管理による定期的なナットの増し締めが有効と考えられる。

参考文献

- 1) 谷藤正延：“ガスケットのシール用材料” 真空, 2, pp.362-367 (1959).
- 2) 山下晋三：“ゴムの劣化とその防止”，日本ゴム協会誌, 42, 661-690 (1969).
- 3) JIS K6253-3:2012 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-硬さの求め方-第3部:デュロメータ硬さ.
- 4) JIS K6251:2010 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-引張特性の求め方.
- 5) JIS K6262:2013 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-常温、高温及び低温における圧縮永久ひずみの求め方.
- 6) 町末男：“ゴムの耐放射線性”，日本ゴム協会誌, 52, pp.115-121 (1979).
- 7) 日本分析化学会編：改訂版 化学便覧基礎編 pp. I-718~722, 丸善(2004).
- 8) 高橋弘樹 半貫敏夫, 鮎川勝, 武智義加, 大塚徹：“昭和基地観測棟で35年間使用した構造ガスケットの硬さ調査”，南極資料, 58, 42-51 (2014).
- 9) 日本ゴム協会：“ゴム工業便覧 第4版”，957 (1994).
- 10) 加藤浩, 三枝利有，“輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価”，電力中央研究所報告, 研究報告U97101 (1998). 日本ゴム協会：“ゴム工業便覧 第4版”，957 (1994).
- 11) 原子力安全基盤機構：“平成19年度MOX燃料加工施設閉じ込め性能等調査・試験-グローブボックスの閉じ込め性能に係る調査報告書-”，08基シ報-0001 (2008).