

高圧水素用Oリングのシール耐久性に関する研究

古賀, 敦

<https://doi.org/10.15017/1470596>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 古賀 敦

論 文 名 : 高圧水素用 O リングのシール耐久性に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

二酸化炭素の排出による地球温暖化、化石燃料資源の枯渇が世界的な社会問題として議論されている。このようなエネルギー問題を同時に解決する手段として燃料電池を活用した水素エネルギー社会が注目されている。高圧ガス環境下でゴム・エラストマー材料をシール部材として使用する場合、ブリスタ破壊と呼ばれる材料内部での破壊が発生し、シール性を著しく低下させる懸念がある。ゴム材料を激しく破壊することから、**Explosive Decompression Failure (XDF)** と呼ばれることもある。これまでに、炭酸ガス、窒素ガス、アルゴンガスなどでゴム材料のブリスタ破壊が **Briscoe** らにより報告されているが、**70MPa** クラスの高圧水素ガスによる **XDF** の研究はもとより、加減圧が繰り返される環境下での **O** リングの破壊挙動としての研究事例はない。このため、高圧水素シール耐久性やその判定基準、耐久性改善指針に関する知見は得られていない。

本研究は、高圧水素ガス環境下においてゴム **O** リングのシール技術を系統的に検討し、高圧水素用 **O** リングの実用化・高機能化に向けて、シール耐久性に関する知見を得ることを目的に推進したものである。

以下、本論文の内容を要約する。

第 1 章では研究背景と実施目的を示し、高圧水素ガスシールの技術課題および研究推進意義について述べた。

第 2 章では、高圧水素ガスによるゴム **O** リングの状態変化、透過性、加減圧サイクルによるシール耐久性と破壊現象に関する研究結果を述べた。

高圧ガス環境試験を実施できる試験機を開発し、**O** リングが高圧水素ガスの溶解に伴う顕著な体積膨潤発生後、元の寸法に回復する状態変化挙動を確認した。高圧では **O** リング形状変化のため透過面積、透過距離の見積もりが困難であるが、形状に依存しない測定量である透過因子、拡散因子を考慮することで、通常のゴムシートでは測定困難な高圧での透過、拡散挙動の評価が可能であることが明らかとなった。100 サイクルの加減圧によるシール耐久性評価を行い、シール性の維持とともに **O** リングの破壊の発生を確認した。破壊状態の温度圧力依存性を検証すると、高温高圧ほど **O** リングのブリスタ破壊が顕著になり、加えて通常は見られない破壊形態として、高圧側である **O** リング内周部側の破壊が認められた。高圧水素シールの場合、**O** リング内周部側破壊の抑制もシール耐久性の面で重要な因子となることを確認した。

第 3 章では、破壊メカニズム、特にブリスタの発生と成長挙動の解明について述べた。

保圧時間（ガス溶解量）、ガス種（水素、ヘリウム、窒素）、減圧時間（短時間減圧、長時間減圧）、ゴム材料種（エチレンプロピレンゴム、シリコーンゴム）を評価因子とし、ガス加圧→保圧→減圧→大気圧保持の過程による O リングの挙動をその場観察するシステムを構築した。ブリストは、ガス種、ゴム材料種で異なる発生挙動を示し、ガス拡散係数と相関があることを明らかにした。本検討から、拡散係数に着目した材料選定のほか、減圧の長時間化および O リングに溶解するガス量の低減化がブリスト破壊対策となることを示唆した。

第 4 章では、O リングの高圧水素ガスシールに影響を及ぼす実使用環境因子を考慮した破壊要因の評価について述べた。

影響を及ぼす実環境の制御因子は多岐にわたるため、タグチメソッドを適用し統計的に高圧水素耐久試験機を用いた実験、解析を行った。O リングの破断強度変化率を計測因子として定量化した要因効果図、分散分析表を作成し、O リング破壊に対して寄与率が高い要因を感度解析した。結果、O リングの破壊に対して、ゴム材料、環境温度、O リング溝充てん率および減圧速度の寄与率が高いことを明らかにした。また、高圧水素ガスシールの場合には、ガス溶解に起因する体積膨潤が O リングの破壊に影響を与えることから、従来の溝設計基準では基準内でも O リングの破壊が発生する可能性があることが判明した。

第 5 章では、燃料電池自動車高圧水素ガス容器の仕様として要求される加減圧サイクルによるシール耐久性評価を実施した。水素ステーションでは、3 分での水素充填が求められている。シール耐久性評価は 1 サイクル 3 分の連続加減圧による評価が必要となり、これまで設備、時間の制約のため実施困難であった。そこで、水素ステーションにおける充填プロセスを模擬した圧力サイクルを再現可能な試験機を開発し、評価時間短縮のため、サイクル時間がガスシール性および O リングの破壊に及ぼす影響を把握した。その結果、3 分以下の加減圧サイクルでは O リングの破壊挙動がサイクル時間の影響を受けないことが判明し、燃料電池自動車用高圧水素ガス容器の実使用条件を 6 秒の加減圧サイクルとしてモデル化した。モデル化した条件により要求される 5,500 回の連続加減圧試験を実施し、O リングのシール耐久性を明らかにした。モデル化した評価条件は O リングによる高圧水素ガスシールの長期耐久評価の一般的な指針となる評価方法として設定されることが期待され、試験方法の簡素化、寿命予測などに役立つ技術であることが示唆された。

第 6 章では本論文を総括した。

以上

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。