

日本ドイツ 国際共同研究「水素技術」
2022年度 年次報告書

研究課題名（和文）	環境適合性を向上させた水素適合シール材料：多様で安全な水素サプライネットワーク構築を支える基盤技術の探求
研究課題名（英文）	Sustainable and Hydrogen-Compatible Sealing Materials: Key Element for Ensuring Safety and Diversity of Hydrogen Supply Network
日本側研究代表者氏名	澤江 義則
所属・役職	国立大学法人 九州大学大学院 工学研究院 教授
研究期間	2022年4月1日 ～ 2025年3月31日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
澤江 義則	九州大学・工学研究院・教授	研究代表者
本田 重信	NOK株式会社・技術本部技術統括部・企画課長	主たる研究代表者
杉村 丈一	九州大学・大学院工学研究院・教授	ゴム材料のトライボロジー試験
八木 和行	九州大学・大学院工学研究院・准教授	分析データの解析
田中 宏昌	九州大学・大学院工学研究院・助教	ゴム材料のトライボロジー試験
森田 健敬	九州大学・大学院工学研究院・助教	樹脂材料のトライボロジー試験
陳 乾	九州大学・大学院工学府・D2	樹脂材料のトライボロジー試験
岡 泰生	九州大学・大学院工学府・M2	樹脂材料のトライボロジー試験
青柳 裕一	NOK株式会社・技術本部技術研究部・材料研究課長	材料開発指揮
佐藤 博幸	NOK株式会社・技術本部技術研究部・シール研究課長	トライボロジー試験/シール評価指揮
筒井 貴大	NOK株式会社・技術本部技術研究部シール研究課	トライボロジー試験/シール評価担当

安齋 貴寛	NOK 株式会社・技術本部技術研究部材料研究課	材料開発担当
小森 寛之	NOK 株式会社・技術本部技術研究部材料研究課	材料開発担当

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

Oリング用のゴム材料ならびに水素ガス圧縮機ピストンリング用の樹脂材料（樹脂複合材）を対象に、環境適合性を向上させた代替材料の開発を進め、トライボロジー試験用サンプルを提供する。トライボロジー試験では、Oリング用とピストンリング用のベンチマーク材について、高圧水素ガス中における摩耗・損傷に対する耐久性評価結果を取りまとめることを目標とする。

3. 日本側研究チームの実施概要

NOK 株式会社により、Oリング用ゴムのベンチマーク材としてシリコンゴム VMQ1、ピストンリング用樹脂ベンチマーク材としてブロンズと炭素繊維を含む PTFE 複合材を選定し、複数種類の比較材と共に水素ガス中におけるトライボロジー試験を実施した。またバイオベース原料を用いた環境適合材の検討を進め、Oリング用ゴム材料として天然ゴム系 2 種、ピストンリング用樹脂材料として POM 系 2 種を候補としてあげた。Oリング用材料については、封止したガスの昇圧と脱圧の繰り返し時に微少な動きが生じ、その表面に摩耗や損傷が生じる。この表面損傷が生じる摺動条件を特定するため、VMQ1 について大気圧水素中摩擦試験を実施した。その結果、VMQ1 は室温での試験において、比較材として評価した他のシリコンゴム VMQ2 および EPDM ゴムに対し優れた耐摩耗性を示した。また、VMQ1 は雰囲気温度 80℃、ストローク 3 mm 以上において過大な摩耗と表面損傷が生じることを確認した。この表面損傷が生じた 80℃と表面損傷の生じなかった室温において、VMQ1 の 40MPa 高圧水素ガス中での一方向摩擦試験を実施し、大気圧水素中の試験と同様の摩耗・表面損傷を確認した。ベンチマーク材 VMQ1 の摩擦摩耗プロセスを調査するため、ゴム試験片表面、および相手金属表面の表面トポグラフィ観察やラマン分光分析等を行った。その結果、相手金属表面にカーボンブラックの移着が確認できる試験において摩耗が大きいことが確認された。また、摩耗が大きい試験においてゴム表面は、アブレーションパターンと呼ばれる波状の荒れた表面を示し、時折大きなクラックも摺動方向に直交する方向に生じていた。これらの現象はゴムの表面強度に依拠していると考えられる。ピストンリング用樹脂材料については、吐出圧 82 MPa の 5 段式オイルフリーレシプロ型高圧水素ガス圧縮機最終段における、ピストンリングの摺動条件が接触圧 1-2 MPa、滑り速度 1-3 m/s、ガス温度 200℃程度に達することが明らかとなった。一方、九州大学の所有する高圧水素摩擦試験機の仕様では、最大接触圧 1.8 MPa、最大滑り速度 0.25 m/s、最大雰囲気温度 100℃となる。そこで、NOK 株式会社よりピストンリング用樹脂ベンチマーク材として供給された PTFE 複合材について、大気圧水素中摩擦試験により、PV0.45（接触圧 1.8 MPa×滑り速度 0.25 m/s）と PV2（接触圧 1 MPa×滑り速度 2 m/s）において、摩擦・摩耗に大きな違いが見られないことを確認した上で、PV0.45 の条件にて高圧水素ガス中の評価を実施した。その結果、ベンチマーク材の摩擦係数と比摩耗量は、それぞれ 0.4 と 2.6×10^{-7} mm³/Nm となった。これは大気圧の水素中と比較し、摩擦が高くなるものの、比摩耗量は同程度であった。各種表面分析の結果、PTFE 複合材表面での充てん材による接触荷重支持の形態と、相手面への移着膜形成に高圧水素の影響が認められた。これが、大気圧下の試験では認められなかった摺動相手材（SUS316L ディス

ク) の顕著な摩耗の一因と考えられる。