

SICORP 日本-ドイツ
「水素技術」領域 事後評価報告書

1 共同研究課題名

「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」

2 日本ー相手国研究代表者名（研究機関名・職名は研究期間終了時点）：

日本側研究代表者

澤江 義則（九州大学 大学院工学研究院・教授）

ドイツ側研究代表者（研究代表者退職のため 2023 年 7 月より変更）

トマス・グラート（ドイツ連邦材料研究・試験所 トライボロジー
・摩耗保護・部門長）

ジェラルディン・タイラー（ドイツ連邦材料研究・試験所
・研究リーダー） ※2023 年 7 月より変更

3 研究概要及び達成目標

本研究は、液体水素と高圧水素ガスに対して確実な密閉性（シール性）を発揮し、優れた低摩擦性・耐摩耗性を示し、かつ環境適合性も向上させた樹脂ならびにエラストマーを、水素適合シール用先進材料として探求する。特に、水素サプライネットワークの多様性、長期的な安全性と健全性の鍵となる、静的ならびに動的シール要素への応用を目指す。企業メンバーにより提案された候補材料について、日本側は高温高圧水素ガス環境において、ドイツ側は液体水素環境において耐久性を評価する。また液体水素と高温高圧水素ガス中の接触・しゅう動界面での現象支配メカニズムを抽出する。熱力学的に両極にある水素中での知見を総合することで、極限条件下の水素に対するシール技術を確立するとともに、これを企業メンバーにフィードバックし、候補材料のさらなる改善を行う。

4 事後評価結果

4.1 研究成果の評価について

4.1.1 研究成果と達成状況

シール部材は、配管や機器のつなぎ目から水素が漏洩することを防ぐために用いられ、水素インフラの安全性と信頼性を担保する極めて重要な役割を担っている。しかし、その多くは石油由来のゴムや樹脂を原材料とし、特にしゅう動を伴うシールには、環境中での分解性の低いフッ素系材料が広く使用されている。本研究において、日独のシールメーカー（NOK および FTI）が環境適合性向上を考慮したシール材料を試作し、九州大学（KU）において高温高圧水素ガス環境、ドイツ連邦材料試験所（BAM）において、低温水素環境のシール材料の性能を調査する連携体制のもと研究がすすめられた。本共同研究では、4 つの研究課題（WP1~4）が設定された。

- WP1. 環境適合性を向上させたシール材料の開発とサンプル作製
- WP2. 高圧水素ガス中における耐久性と機能性の評価
- WP3. 低温水素中における耐久性と機能性の評価
- WP4. 水素中における高分子トライボロジーに関する科学的知識ベースの構築

WP1 では、静的なシール部品である O リング等に用いられるゴム材料、および圧縮機ピストンリングをはじめとする動的シール部品に用いられる樹脂材料を対象に、製造過程における CO₂ 排出量や有害成分の排出量を抑制し、環境負荷を低減させた環境適合性向上材について研究開発が行われた。その結果、フッ素フリー材を基材とする樹脂複合材の開発や植物由来原料を利用した環境適合性が向上した総計 14 種のゴム材料と 12 種の樹脂材料を試作され、着実な成果が挙げたと評価できる。また、原料製造時の CO₂ 排出量計算における日独二国間で共通して適用できる手法が試行されたことも今後の共同研究開発に資するものと認められる。

WP2 では、九州大学において、比較対象用のベンチマーク材とともに、WP1 で開発された環境適合性向上材のしゅう動試験が行われ、大気圧および高圧水素ガス中における耐久性と機能性が評価された。本共同研究にて開発したゴム材料の環境適合性向上材が高圧水素用途に適用可能で、水素利用機器への適用が見込まれる候補材が見つかったことは高く評価できる。また、樹脂材料では、開発されたフッ素フリー材のいくつかにおいて、高圧水素ガス用に適していると判断される材料が見いだされたことは良好である。関連する特許 1 件の出願がなされている。

WP3 は、ドイツ側の BAM での評価試験である。提案時には、液体水素環境における耐久性評価（しゅう動試験）が提案されていたが、装置の都合で低温水素中（-150℃）の実験にとどまったことは残念である。開発された樹脂材料について室温と低温（-150℃）における耐久性が調べられ、その指標として摩擦係数が測定された。結果として、低温水素ガス用途への適用可能な複合材などの知見が得られたことは良好である。今後、当初目的であった液化水素下でのシール材のデータが収集されることを期待する。

WP4 は、水素中における高分子トライボロジーに関する科学的知識ベースの構築であり、WP2 および WP3 におけるしゅう動試験後の材料表面の化学組成分析が実施された。高圧水素ガス雰囲気下と低温水素ガス雰囲気下では、炭素の移着現象に違いがあるなどの新たな知見が得られている。

研究成果は国際シンポジウムで共同発表（3 件）され、また、共著論文も作成とのことであり、早期の発表を期待したい。

以上のように、十分な共同研究の成果が得られていると判断される。

4.1.2 国際共同研究による相乗効果

日本側とドイツ側のメーカー（NOK と FTI）が情報を共有することにより、原材料や CO₂ 排出量削減の手法について、リサイクル材等の利用による CO₂ 排出量低減のアイデアなど、より多様な情報とアイデアが蓄積され、

結果として当初の計画よりも多様かつ多種の環境適合性向上材を開発し、候補材料が得られたことは国際共同研究による相乗効果として評価できる。一方で、シール部材の LCA（ライフサイクルアセスメント）については、日独両国の評価基準（原材料の CO₂ 排出量データベース等）の違いが明確化したが、それを踏まえた上で、両国間での評価結果の比較が可能な手法を確立されたことは共同研究が行われたからこそその成果といえる。

特殊環境下（高圧および低温）での水素雰囲気下でのシール材料の開発と摩擦摩耗に関する性能評価は、日独の 4 機関が協同することでできたことと評価できる。低温水素ガス（-150℃）での試験設備は BAM にしかないこととであり、KU での高圧環境でのデータと比較できたことは、国際共同研究として意義深い。将来的には当初目的の液体水素下での試験ができるようになり、さらなるデータが蓄積されることを期待する。

4.1.3 研究成果が与える社会へのインパクト、我が国の科学技術協力強化への貢献

安全に水素を取り扱うためにシール材料の研究は欠かせない技術基盤である。本共同研究で開発され、調査された各種ゴム材料および樹脂材料の耐久性（比摩耗量）および機能性（摩擦係数）のデータは、環境適合性材料の利用の観点から、今後水素用シール材料選定の指標として活用されるであろう。候補材料の今後の製品化も見込まれるとすることで、将来の水素社会を支えるインフラ構築の基盤的技術としての貢献が期待される。

本共同研究で構築された日独研究ネットワークは、代表者の九大澤江教授が実施中の NEDO 事業「水素ステーション低コスト化・高度化基盤技術開発」に展開されており、ドイツ側の研究者と協力して、水素雰囲気において使用する樹脂しゅう動材の評価に関する国際規格（ISO 規格）の策定を行っている。また、日独共同研究において多くの若手研究者・技術者が交流しており将来に資する協力関係が構築されている。これらは、技術協力強化への貢献として評価できる。

4.2 相手国研究機関との協力状況について

本共同研究においては、年 1 回の相互訪問やオンラインを含む日独間のプロジェクトミーティングが計 15 回開催されており、研究交流や人的交流が非常に活発に行われた。その中で若手研究者・技術者の交流も行われており、良好な協力関係が構築された。4 機関（KU、BAM、NOK、FTI）の協力関係は、今後も水素利活用に資する先進技術の分野で協力することが確認されている。本共同研究では、ドイツ側プロジェクトが終了する 2025 年末までは、日本側チームは自己資金を用いて共同研究と相互訪問を継続するとあり、良好な協力状況が継続されていると評価できる。特に、九大澤江教授が実施中の NEDO 事業に BAM の Theiler 博士が外部有識者として参画しており、一方で、Theiler 博士の国際規格制定事業に澤江教授が参画するなど、両者の協力関係は今後も継続、発展していくと期待される。

4.3 その他

本共同研究では、ドイツ側の正式な研究開始が 1 年遅れたこともあり、共同研究論文の発表も遅れているが、共同研究の学会発表はすでに行われているので、今年中には学术论文も発表されるものと思われる。また、前述のとおり、日独のリーダーは、水素雰囲気において使用する樹脂しゅう動材の評価に関する国際規格（ISO 規格）制定に深くかかわっており、今後の ISO 規格策定においても、日独がイニシアティブをとっていくことが期待される。