

安全保障技術研究推進制度 令和6年度終了課題 終了評価結果

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：極超音速飛行における可変機構の耐熱性・気密性向上に関する研究
- (2) 研究代表者：株式会社ネッツ 東野 和幸
- (3) 研究期間：令和4年度～令和6年度

2. 終了評価の実施概要

日時：令和7年11月7日

場所：TKP新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員

東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

横浜国立大学 名誉教授

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ 主幹研究開発員

上野 誠也

東京科学大学 工学院 電気電子系 教授

梶川 浩太郎

近畿大学 名誉教授

京極 秀樹

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

航空利用拡大イノベーションハブ 主幹研究開発員

嶋 英志

日本大学 理工学部 航空宇宙工学科 特任教授

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 名誉教授

嶋田 徹

金沢工業大学 情報理工学部 教授

東京工業大学（現 東京科学大学） 名誉教授

藤田 政之

広島大学 大学院先進理工系科学研究科 教授

山本 元道

公共投資ジャーナル社 論説主幹

吉葉 正行

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

本研究の目標は、高温環境下で使用するバルブ等で実現している気密性保持シールの温度の上限を販売品 600℃から 1400℃程度に大きく引き上げることににより、極超音速飛行の温度環境に適合する超高温シール設計技術を確立することにある。具体的には、超高温酸化雰囲気における気密性能を確保することを目的に、従来の高温用のパッキン素材である膨張黒鉛やカーボン繊維等に代わり、耐酸化性に優れるニッケル系合金や白金系等を使用する必要がある。また、軸と軸封装置を同一の材料とすることにより、線膨張係数の違いによる気密性能の低下を防止することができ、繰り返し使用することによる気密性能の劣化や摺動抵抗の増加を低減するためには、シール面の変形量を弾性変形の範囲に極力限定する必要がある。

成果の概要

- (1) 有限要素法による弾塑性解析を適用したシール部の形状の最適化に関する検討
弾塑性解析結果を踏まえてシール部の形状の候補を 50 種類から選択し、そのうちの 5 種類（シール形状 3 種、締め代 1～2 種）についてシールの供試品を試作した。また、(3)で示す量子力学の観点から Ni 系および Pt 系合金について、第一原理計算及び統計力学を基盤とする熱力学計算を行い、高温環境下に於いて示す特性を理論的に明らかにするとともに、白金シールを素材とするシールの設計を進めた。白金シールによる 1400℃の高温試験を複数実施し、7 分以上の高温定常データとのデータ取得ができ、外部リークによる内部減圧なしの良好な結果がえられた。
- (2) シール部クリープやサイクル疲労等による気密性能への影響評価
JAXA 角田宇宙センターにて、主に Hastelloy X のシールで段階的に昇温試験を行い、試験中及び試験間におけるリークのないことや、クリープやサイクル疲労等のデータを取得した。その結果 800℃まで昇温してもリーク等がないことや 36 回の熱サイクルを掛けてもリークがなくシール形状を解析と試験で立証できた。さらに 500℃ - 1250℃ 11 回の高温サイクル試験でもリークがなく、点検結果も異常なしであった。手法や解析結果の妥当性も確認できた。
目標温度 1400℃における白金シールについても 7 分間以上高温でも安定しており、外部リークないことを試験データで確認立証できた。

(3) 1400℃の白金等の機械的特性把握のため実施した解析について

第一原理計算による超高温における状態図作成と弾性特性解析を実施した。

合金状態図は全ての合金開発プロセスにとって必要不可欠なツールである。通常、状態図は計算熱力学(CALPHAD)法に基づき熱力学データベースを参照して計算されるため、熱力学データベースの構築には膨大な時間とコストがかかり、データベースに含まれる限定的な実験データの精度に結果は依存する。その上、Pt-Rh合金のように1400℃という超高温における熱力学データは限られており、さらに実験値がほとんど無いのが現状である。本研究では、このような従来のデータベース参照型の状態図作成を刷新し、且つ有限要素法による弾塑性解析に用いるインプットデータとして利用するため、実験パラメータフリーで、密度汎関数に基づく第一原理計算のみでPt-Rh二元系合金の状態図と弾性特性(弾性定数、体積弾性率、ヤング率、剛性率、ポアソン比)の温度依存性を評価した。

4. 終了評価の評点

B 一定の成果があった。

5. 総合コメント

シール材の設計や短時間・10サイクルまでの高温耐久性の実験的成果は評価できるが、新規高温材料の探索ではなく、既知の高温材料の実験的確認にとどまっている。材料選定が特に工夫されたものではなく、物性値の計算に特に新規性はない。高温用シール材の試験と構造解析を実施した一例であり、汎用的な成果とは位置づけ難い。

発表済の論文が1件と少ないうえ、その論文も当該研究の直接的成果とはみなし難いことから、今後、論文発表及び学会発表についても積極的に行い、成果の公表に努めていただきたい。

6. 主な個別コメント

- 部品開発の工夫はしていたが、その成果は既知の領域であり、新規領域を拓く研究要素は乏しかった。未知への挑戦に取り組んでいただきたかった。
- 揺動部の潤滑の調査が殆どなされていない、極超音速機にむけたサイクル疲労の評価がなされていないなど、申請書に書かれた項目が十分には実現されていない。
- 一定の研究成果が得られているが、十分に整理、検討がなされていない。重要な研究であることは認めるが、アプローチの方法を明確にしていきたい。
- 最終的な成果は良いが、弾塑性シミュレーションのみではなく、粘弾性的な挙動も考慮する必要がある。さらに適用材料の探索と最適化、材料物性、諸特性の検証面などにおいて不備な点が多い。
- Science と Engineering との連携が不十分であり、単なる Technology の域を出ていないきらいがある。