

平成 29 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「日本初となるチタン合金製航空機用スイベルジョイントの設計開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人静岡県産業振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）・・・・・・ 5
- 1-3 研究開発成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7

第2章 研究内容及び成果

2-1 研究テーマ【1】詳細

製品主材料をチタン合金（Ti-6Al-4V）とした航空規格に対応した製品設計の実施。

3D—CADモデリング設計による強度解析、熱解析の実施・・・・・・・・・・ 8

2-1-1【1-1】製品重量 100 g 以下を達成するための構造研究・・・・・・・・ 9

2-1-2【1-2】回転トルク 0.2 N・m 以下の軽トルク化を達成するための構造研究・・ 10

2-1-3【1-3】耐久性能の向上による動作保証 100 万回に対応するための構造研・・ 10

2-2 研究テーマ【2】詳細

設計された製品の試作加工の実施。難削材であるチタン合金の

薄肉・高精度加工方法の研究・・・・・・・・ 11

2-3 研究テーマ【3】詳細

JISQ9100 に基づく製品検査の実施。蛍光浸透探傷検査、磁粉探傷検査

に対応するための設備、人員育成の実施・・・・・・・・ 14

2-3-1【3-1】JISQ9100 に基づく製品検査の実施・・・・・・・・・・・・・・ 14

2-3-2【3-2】蛍光浸透探傷検査、磁粉探傷検査に対応するための設備、
人員育成の実施・・・・・・・・ 14

2-4 研究テーマ【4】詳細

試作開発品の各種性能試験の実施。検証結果の分析及び

製品形状へのフィードバック・・・・・・・・ 16

第3章 全体総括

- 3-1 事業成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
- 3-2 事業の成果に係る事業展開について・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
- 3-3 事業の成果に係る知的財産権等について・・・・・・・・・・・・・・ 20

参考：用語解説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究背景

現在の航空会社の航空機に対するニーズとして、経済効率性の優れた機体が求められており、航空機における「軽量化」は重要な課題となっている。しかし、航空機部品は単なる軽量化をすれば良いものでなく、厳しい品質管理の元で、必要な強度や精度を確保した上で行わなければならない。このため、高比強度かつ、耐熱性、耐食性に優れた素材である、チタン合金を素材とする部品が多く用いられるようになりつつある。

当社の航空機部品の納入先である国内航空機分野川下からの要望で、日本では初となる、国産の航空機用スイベルジョイントの開発について相談があった。製品を構成する材料としては、チタン合金を主材料としての開発を要請されている。

現在、航空機用のスイベルジョイント分野においては、国産の製品は流通が無く、ドイツ、アメリカ等の限られた一部の海外メーカーが独占的に生産している。これら海外製の製品を国内航空機産業で運用している中で問題とされているのが、製品納期、及び費用の問題である。

実際に、川下企業である国内重工殿が抱えている問題として相談を受けているのが、海外製であるが故の長納期、高コストに対する改善要求である。

これらの問題点を解決するために、川下企業から直接の依頼を受け、弊社で国産初となる航空機用スイベルジョイントを航空機分野特有の素材であるチタン合金で開発するものである。日本国内で製品を生産することにより受注から生産、納品までの時間を大幅に短縮することが可能となり、同時に海外からの高額な輸送費を削減することにより低コストでの製品提供が可能となる。

さらに、川下企業からは、既存海外製品に対するさらなる軽量化、軽回転トルク化、長寿命化の要求が挙げられており、これらの要求に対応する製品を開発することを目標とする。

開発にあたって、現在、弊社では一般産業向けにスイベルジョイントを製造販売しているが、これを航空機向けに開発する必要がある。

従来の製品は素材に鉄鋼を採用しており、これをチタン合金製としつつ、部品形状を薄肉化することにより、軽量製品化に対応する。数値目標としては約100g以下（乾燥重量）での製品化達成を目指す。

本研究開発は、特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応している。

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

3) 航空宇宙分野に関する事項

① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 高機能化（高剛性、高比強度、耐熱性、耐食性）

(2) 研究目的及び目標

①研究目的

国内航空機分野川下企業からのニーズを受け、日本では初となる、国産の航空機用スィベルジョイントの開発を行う。製品を構成する材料としては、川下からの要望により軽量化のため難削材であるチタン合金（航空機用）を主材料としての開発を行う。製品に関わる規格は航空機用規格に対応した設計とし、難削材であるチタン合金製の高精度・薄肉加工に対応することにより、川下要求に対応した製品を開発する。

②研究目標

【1】製品主材料をチタン合金 (Ti-6Al-4V) とした航空規格に対応した製品設計の実施。 3D-CADモデリング設計による強度解析、熱解析の実施。

航空機用製品として、以下の仕様に対応する製品設計を行う。

- ☑常用圧力：20.7MPa に対応する。
- ☑使用流体：MIL-H-5606（航空機用作動油）に対応する。
- ☑使用温度：-54℃～135℃の温度環境に対応する。
- ☑接続部形状：AS33514（航空機用接続ポート規格）に準拠する。
- ☑主材料：航空機用材料として AMS 規格に対応したチタン合金 (Ti-6Al-4V) とする。

上記仕様を満足し、以下の設計数値を満足する製品を設計する。

- ☑製品重量：目標重量 100g 以下を目標とする。
- ☑軸受け構造の研究：目標回転トルク 0.2N・m (20MPa 時) 以下とする。
- ☑動作保証：動作保証目標値 50 万回を達成可能な構造を設計する。

【2】設計された製品の試作加工の実施。難削材であるチタン合金の薄肉化・高精度加工方法の研究。

- ☑1 番厳格な径の誤差：0.00～+0.02
- ☑直角度：0.02
- ☑真円度：0.02
- ☑面粗さ：0.8μm (Ra)

上記寸法を含む、すべての寸法、幾何公差について加工精度を確保することを目標とする。

【3】JISQ9100 に基づく製品検査の実施。蛍光浸透探傷検査・磁粉探傷検査に対応するための設備、人員育成の実施。

- ☑航空宇宙分野の製品検査に携わってきた検査員による 3 次元測定機などを用いた寸法検査の実施。
- ☑非破壊検査実施のための設備導入 (蛍光浸透探傷装置 1 台、磁粉探傷検査装置 1 台)
- ☑上記検査装置を使用可能な Nadcap 認定検査員の育成を実施。

【4】JISQ9100 に基づく製品検査の実施。蛍光浸透探傷検査・磁粉探傷検査に対応するための設備、人員育成の実施。

製品性能の妥当性を検証するための性能試験を実施。

- ☑耐圧試験 / ☑耐久試験 / ☑破壊試験 / ☑回転トルク試験

各試験における結果をデータ化し、得られた情報の分析を行う。分析の結果、製品形状や構造に変更が必要な場合、直ちに試作品形状にフィードバックし、再試験を行うことで必要な製品性能の確保を追求する。

1-2 研究体制

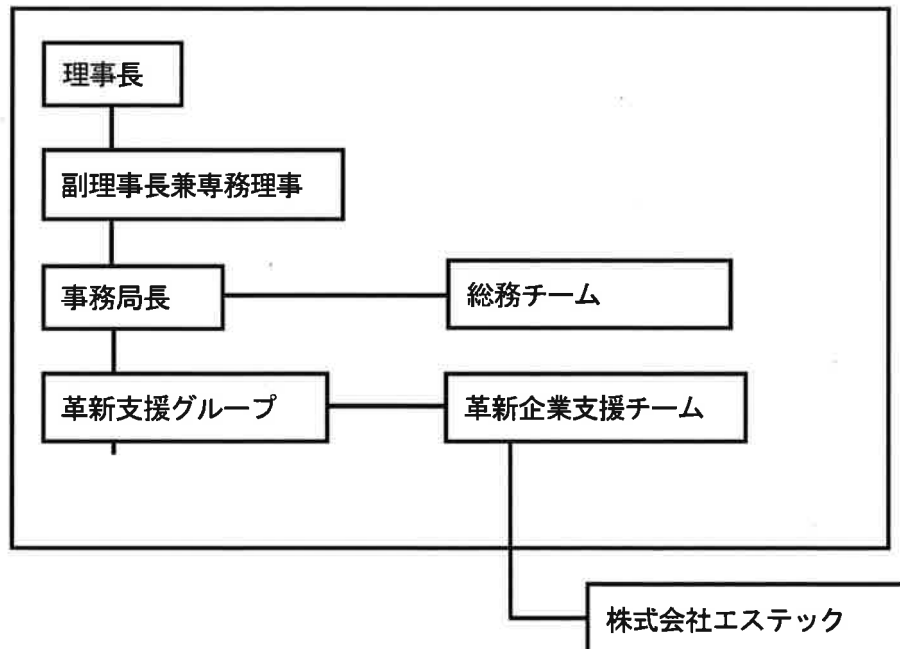
(1) 研究組織・管理体制

1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

事業管理機関（補助事業者）公益財団法人静岡県産業振興財団



(2) 研究者（管理者）氏名

事業管理機関（補助事業者）公益財団法人静岡県産業振興財団

氏名	所属・役職	実施内容
長井 善郎	革新支援グループマネージャー	業務管理
石山 鉄也	革新企業支援チーム主幹	業務管理
片瀬 美保	革新企業支援チーム主査	業務管理
井出 敬介	革新企業支援チーム主事	業務管理
山本 秀美	革新企業支援チーム主事	業務管理
兼子 知行	革新技術コーディネータ	業務管理
二條 みち代	革新企業支援チーム補助員	業務管理補助
太田 政江	革新企業支援チーム補助員	業務管理補助
岡野 佐知子	革新企業支援チーム補助員	業務管理補助
望月 徹	革新企業支援チーム補助員	サポイン業務管理員

研究実施機関（間接補助先）株式会社エステック

氏名	所属・役職	実施内容（テーマ番号）
鈴木 誠一	代表取締役社長	【1】、【2】、【3】、【4】
大津 勝	設計課長	【1】、【2】、【3】、【4】
鈴木 一成	製造部次長	【1】、【2】
鈴木 浩人	製造課	【1】、【2】
吉川 直之	製造課	【1】、【2】、【4】
金子 友和	品質管理課長	【3】
小野田 隆一	品質管理課	【3】
土居 希未	営業課	【1】

(3) 協力者

アドバイザー

氏名	主な指導・協力内容
酒井 克彦	データ分析協力・技術開発サポート（テーマ番号【2】）
鈴木 秀行	データ分析協力・技術開発サポート（テーマ番号【2】）
大澄 信行	データ分析協力・量産化技術開発サポート（テーマ番号【4】）
吉田 浩之	データ分析協力・量産化技術開発サポート（テーマ番号【1】）

1－3 研究開発成果概要

【1】製品主材料をチタン合金（Ti-6Al-4V）とした航空規格に対応した製品設計の実施。

国内航空分野川下からのニーズを反映した航空機用スイベルジョイントの設計を実施。3D-CADによるモデリングを行い、強度解析を実施。重量100g以下となる製品設計を実現し、軽回転トルク、長寿命を満たすための特殊軸受構造を構築した。

【2】設計された製品の試作加工の実施。難削材であるチタン合金の薄肉化・高精度加工方法の研究。

【1】にて設計された製作図面に基づき試作加工を実施。試作品形状において最も加工難度の高い「内溝部」について加工条件確立のため研究。寸法再現性及び工具刃持ちの両側面から研究し、工具刃幅1.5mmとした際の加工条件最適値が得られた。これにより、試作部品の加工は全て達成された。

【3】JISQ9100に基づく製品検査の実施。蛍光浸透探傷検査・磁粉探傷検査に対応するための設備、人員育成の実施。

【2】にて試作加工された各部品についてJISQ9100の品質保証体制に基づく製品検査を実施し、図面要求を全てクリアしていることを確認した。航空製品の生産に於いて必須となる非破壊検査（蛍光浸透探傷検査、磁粉探傷検査）の航空認証であるNadcapを取得するため、専用設備を導入し、作業員の人員育成を実施し、Nadcap認証の取得が完了した。今後は、認証された手順に基づき、試作品の非破壊検査を実施し、得られたデータを川下に提出予定である。

【4】試作開発品の各種性能試験の実施。検証結果の分析及びフィードバック。

【1】【2】【3】にて得られた試作製品について、耐圧試験、耐久試験、破壊試験、漏れ試験、トルク試験を実施し、試験結果を分析。分析結果より、製品性能の妥当性が確認された。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人静岡県産業振興財団

氏名	所属	Tel	FAX	Email
兼子 知行	革新企業支援 チーム	054-278-4434	054-251-3024	t-kaneko@ric-shizuoka. or.jp

第2章 研究内容及び成果

2-1 研究テーマ【1】詳細

製品主材料をチタン合金 (Ti-6Al-4V) とした航空規格に対応した製品設計の実施。
3D-CADモデリング設計による強度解析、熱解析の実施

弊社の航空機分野での川下企業からのニーズを受けて、航空機規格に対応するスイベルジョイントとして、製品に付与する性能・仕様値は下記の項目である。

- ☑主材料：航空機用材料として AMS 規格に対応したチタン合金 (Ti-6Al-4V) とすること。
- ☑常用圧力：20.7MPa に対応すること
- ☑使用流体：MIL-H-5606（航空機用作動油）に対応すること。
- ☑使用温度：-54℃～135℃の温度環境に対応すること。
- ☑接続部形状：AS33514（航空機用接続ポート規格）に準拠すること。

上記製品仕様に基づき、航空機用スイベルジョイントの製品設計を行った。また、既存海外製品に対する川下企業の改善要求事項を調査し、それらの改善要求に対して具体的な数値基準を定め、本研究開発において試作するスイベルジョイントにおいてその数値をクリアすることを目標とした。海外製従来製品と本事業で開発を目指した製品の機能比較を図1に示す。

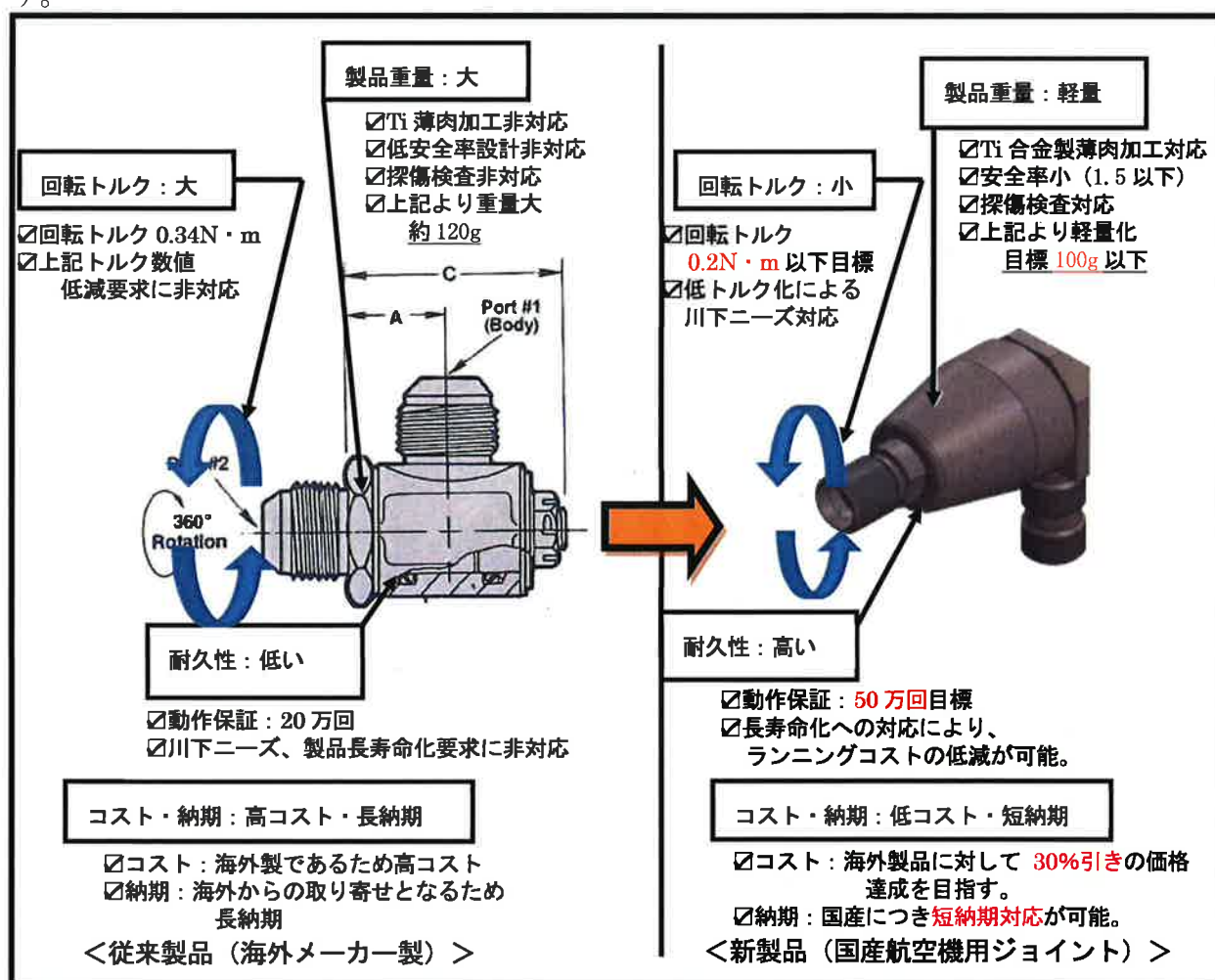


図1：従来製品と新製品の機能比較

2-1-1 【1－1】製品重量 100 g 以下を達成するための構造研究

従来の社内スイベルジョイント設計ノウハウをベースとしつつ、局所的な応力が作用しにくい構造の設計を実施した。また 3D モデリングにより、各パーツの強度解析を実施することにより、必要最小限の安全率での製品軽量化設計を研究した。構築した製品モデル外観図を図 2 に示す。

製品重量を段階的に軽量化していき、最終形状として製品重量約 100g に達する製品モデルを構築し、製作図面の作成が完了した。

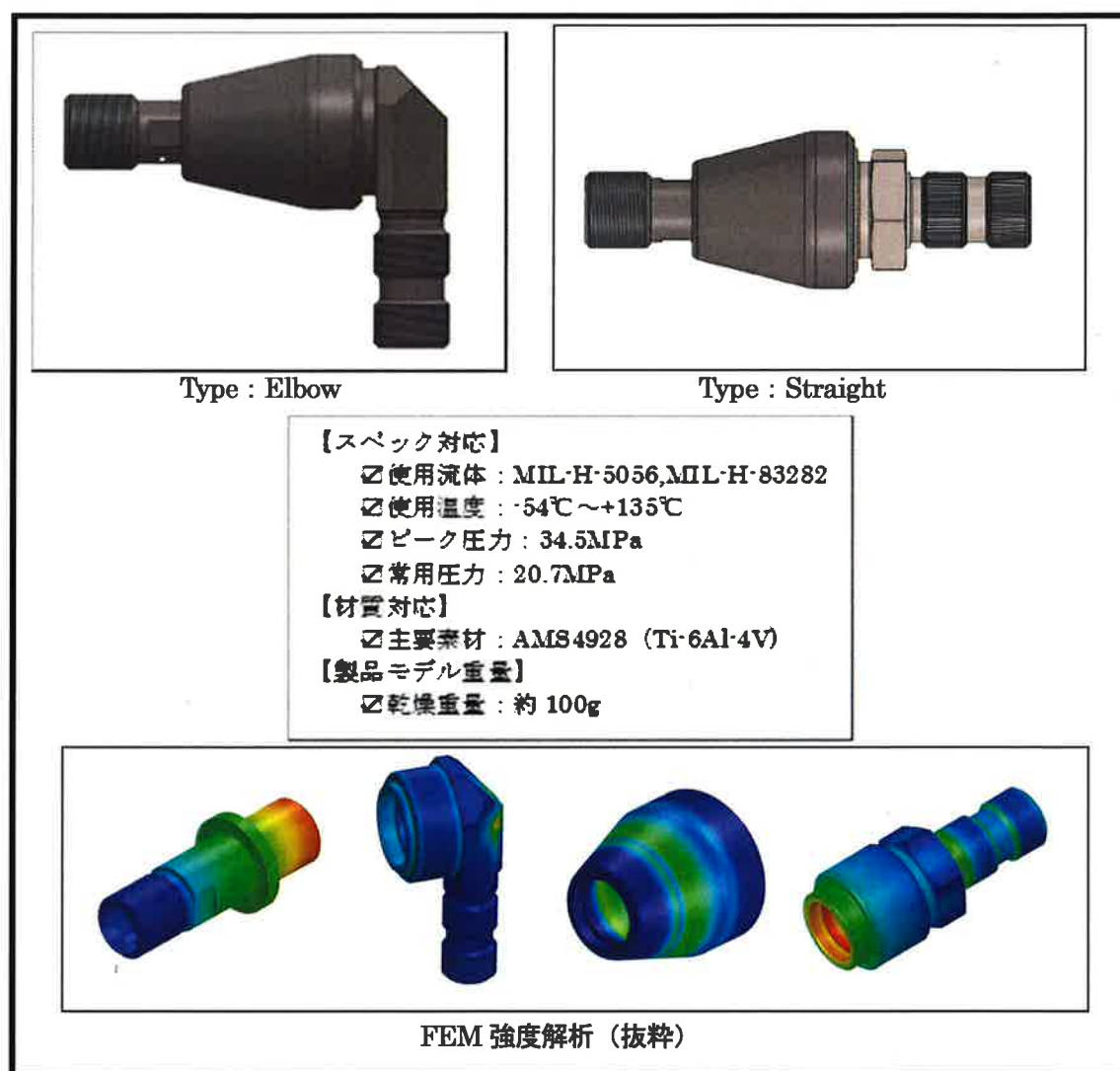


図 2 : 航空機用スイベルジョイント設計モデル

2-1-2 【1－2】回転トルク 0.2N・m 以下の軽トルク化を達成するための構造研究

当該製品の要求仕様として、既存海外製航空機用ジョイントの回転トルクと比較してより軽トルクで動作可能な製品の開発を求められている。既存海外製航空機用ジョイントの回転トルク 0.34N・m に対して、0.2N・m の回転トルクを達成するための構造研究を実施した。

航空機特有の幅広い温度範囲（-54℃～135℃）において温度変化の影響を受けにくく、摩擦係数の低い軸受け素材を研究し、同試作品の設計に反映した。採用した軸受け部構造の外観を図 3 に示す。

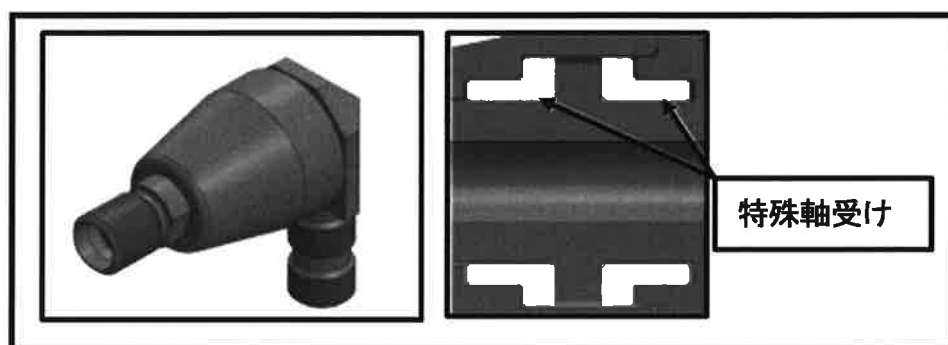


図 3 : 航空機用スィベルジョイント軸受構造

軸受け形状は図面化し、外注加工にて製作が完了した。製作した軸受け外観を図 4 に示す。



図 4 : 航空機用スィベルジョイント軸受構造

本軸受構造の開発により、目標値である回転トルク 0.2N・m 以下の性能が確認された。
（2－4 参照）

2-1-3 【1－3】耐久性能の向上による動作保証 100 万回に対応するための構造研究

当該製品の要求仕様として、既存海外製航空機用ジョイントと比較してよりライフサイクルの長い製品の開発を求められている。既存海外製航空機用ジョイントの保証動作回数 20 万回に対して、50 万回の動作保証を可能とする製品開発を実現するための構造研究を実施した。

製品耐久性は流体シール部構造の影響が大きいため、外部からのダストが流体シール部に入り込むことを防止する「ダスト防止構造」とし製品仕様温度範囲でも対応可能な、特殊ゴム弾性体を採用することにより、効果的なダスト防止構造を構築し、製品設計に反映した。

また、流体シール部自体の形状、材質について、航空規格に対応した素材の中から、よ

り耐久性、耐候性に優れた素材を選定し、製品設計に反映した。2-1-2の特殊軸受の高耐久性能との相乗効果もあり、目標値の倍である100万回の耐久試験をクリアする結果が得られた（2-4参照）。

2-2 研究テーマ【2】詳細

設計された製品の試作加工の実施。難削材であるチタン合金の薄肉・高精度加工方法の研究

【1】で製作した製作図面に基づき、社内にて部品加工を実施した。当該製品は航空機用に設計される精密機械部品であり、その加工には精密加工が必要となる。以下、寸法公差・幾何公差について特に管理が厳しくなる箇所の値を具体的に示す。（該当部位 「内溝部」 図5）

- ☑ 1番厳格な径の誤差： $0.00 \sim +0.02$
- ☑ 直角度： 0.02
- ☑ 真円度： 0.02
- ☑ 面粗さ： $0.8 \mu\text{m}$ (Ra)

当該製品の加工には、難削材であるチタン合金の、薄肉、高精度加工が必須である。チタン合金を薄肉加工する場合、以下の要因により、高精度加工が極めて難しくなる。

☑ 熱伝導率が非常に小さい金属であるため、加工熱が工具と被削物間にたまり易い。そのため、工具の摩耗が大きくなる。また、引張り強度が強い素材であるため、加工負荷が工具刃先に働き、工具の欠損、摩耗が発生しやすい。これにより、高精度加工が困難となる。

☑ チタン合金はヤング率が小さい（たわみやすい）ため、加工時の負荷により、びびりが生じ易い。特に薄肉加工の場合、その影響が顕著に現れるため、高精度加工が難しい。

試作品図面に於いて最も加工難度が高い「内溝部」について、加工条件確立のため、加工方法を研究（図6）。

結果として、工具刃幅1.5mm、回転数 $S=60$ 、送り速度 $F=0.12$ にて安定した加工条件を確立した

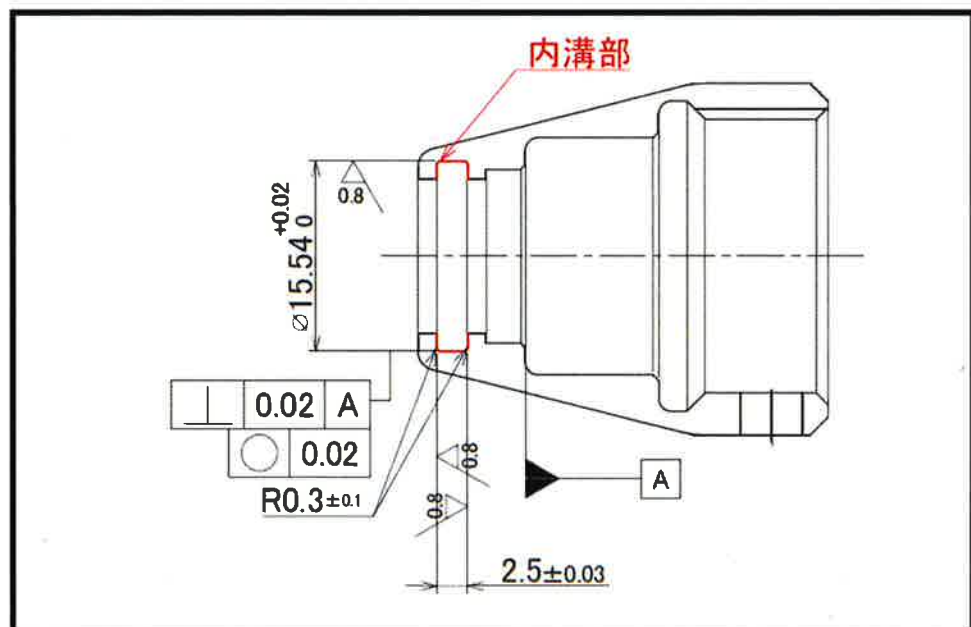


図5：内溝部形状

- 判定条件・・1. 図面要求寸法の再現性（20溝切削し、寸法安定性を確認）
2. 工具刃持ち性能の確保。（20溝切削し、刃先状態確認）

A. 従来加工条件による検証・・溝入れ工具刃幅 2mm

回転数 S(min-1)	30	40	50	60	65	70	75
送り速度 F(mm/rev)	0.15	0.15	0.12	0.12	0.1	0.1	0.08
寸法再現性	×	×	×	×	△	△	△
刃先形状	欠け	欠け	欠け	欠け	摩耗	摩耗	摩耗

従来の社内標準である工具選定では寸法を再現することは出来なかった。

B. 加工条件変更による検証・・溝入れ工具刃幅 1.5mm

難削材である航空機用チタン合金は、切削時に刃先にかかる負荷が高く、刃先摩耗が著しくなる。刃幅を狭くし、単位面積当たりの刃先負荷を低減することで刃先摩耗が改善されるものと推測し、刃幅 1.5mmの工具にて加工条件を研究した。

回転数 S(min-1)	30	40	50	60	65	70	75
送り速度 F(mm/rev)	0.15	0.15	0.12	0.12	0.1	0.1	0.08
寸法再現性	×	△	○	○	○	△	△
刃先形状	欠け	欠け	欠け	摩耗	摩耗	摩耗	摩耗

工具刃幅 1.5mmとすることにより、寸法精度を確保できる領域を確認。

上記データより、S=60 で回転数を固定し、送り速度を 0.08 に落とすことで工具摩耗を確認。→刃先摩耗量も少なく良好な結果を得られた。

結果・・溝入れ工具刃幅 1.5mm、回転数 S=60、送り速度 F=0.12 にて安定した加工条件を確立。

図 6：チタン合金加工技術研究結果

図6の結果より、試作品加工の目途が立ち、試作部品の加工を実施した。各部品の加工条件について最適な条件を追及し、量産時の生産についても充分対応可能な体制を構築することが出来た。加工を実施した試作品のチタン合金部品の外観を図7に示す。

各部品加工段階においては、難削材の切削加工に造詣の深いアドバイザーに助言を頂き、チタン合金の精密加工についてアドバイスを頂き、試作を進めた。



図7：チタン合金製試作部品（抜粋）

試作が完了したチタン合金部品と、外注加工により製作した特殊軸受け、並びに小物部品の準備が全て完了し、製品の組立て作業を実施した。組み付け後の試作品外観を図8に示す。

組み付け後の製品重量（乾燥重量）を測定し、【1－1】＜製品重量 100g 以下を達成するための構造研究＞にて設定していた目標重量を達成していることが確認された。

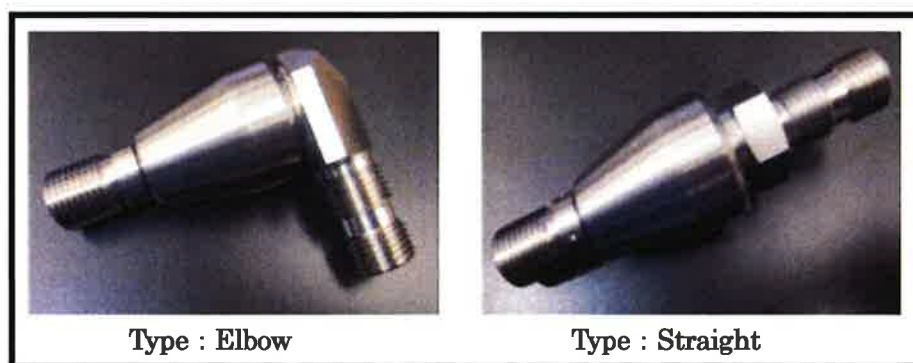


図8：スイベルジョイント試作品外観

2-3 研究テーマ【3】詳細

JISQ9100 に基づく製品検査の実施。蛍光浸透探傷検査、磁粉探傷検査に対応するための設備、人員育成の実施

2-3-1 【3-1】 JISQ9100 に基づく製品検査の実施

航空機用製品の製品検査には、JISQ9100 の品質保証体制に基づく製品検査の実施が必須となる。既に JISQ9100 は認証取得済みであるため、当該製品の製品検査に必要な検査方法、検査工程について、検査担当者を中心に協議し、その手法を構築した。

【1】で設計された製作図面に基づき、【2】にて社内製作を実施したチタン合金部品について製品検査を実施し、図面要求を満たしていることが確認された。

2-3-2 【3-2】 蛍光浸透探傷検査、磁粉探傷検査に対応するための設備

航空分野では、機体の軽量化による燃費性能の向上を得るため、搭載される個々のパーツについても、安全率を極限まで抑えた軽量化を要求される。このような背景から、加工された製品の材料状態の安全性を把握することが重要であり、表面に介在する可能性の有るクラックなどの異物を検査する工程が必須とされている。

当該製品は、航空機用の装備品となるため、このような材料状態を検査する工程に対応する必要があり、検査用の設備の導入、並びに航空規格に対応した検査認証（Nadcap）を取得する必要がある。

事業遂行により、本サブテーマで導入を計画した検査用の設備は全て設置が完了し、Nadcap 認証を取得するための人員育成時の実務訓練設備として活用した。検査用設備の社内設置状況並びに実務訓練状況を次ページの図9に示す。



図 9：非破壊検査設備設置状況及び実務訓練実施状況

Nadcap 認証の取得には、航空機分野における検査員の高い専門知識、技能が要求されるとともに、運用に対する詳細な規定、手順書等が明確に定められている必要がある。担当検査員は専門家からの講習を受講し、認証習得に必要な技能の習得、規定・手順書の整備に努めた。結果として、航空機分野における非破壊検査の認証「Nadcap 認証」の取得が認められ、目標が達成された。（図 10）

現状では、取得した Nadcap 認証の手順に基づく試作品の非破壊検査を開始するための前段階として、チタン合金製のサンプルピースによる検査を実施し、検査データを分析、整理している段階である。今後、本研究開発にて製作した実際の試作部品に対する非破壊検査を実施し、得られたデータについて、試作開発したスィベルジョイントと共に川下企業について提出し、評価頂くことを予定している。



図 10：専門家による講習及び Nadcap 認証証明書

2-4 研究テーマ【4】詳細

試作開発品の各種性能試験の実施。検証結果の分析及び製品形状へのフィードバック
上記、【1】～【3】の項目に対応した試作製品について、製品性能の妥当性を検証するために、社内試験機を用いて各種性能試験を実施した。試験項目として以下の性能試験を実施した。

- ☑耐圧試験（圧力 34.5MPa にて 5 分間保持。液漏れ無きこと）
- ☑耐久試験（常用圧力 20.7MPa にて 100 万回動作実施。液漏れ無きこと）
- ☑破壊試験（油圧ポンプ性能上限 160MPa まで昇圧し、製品破断時の圧力を計測）
- ☑回転トルク試験（常用圧力 20.7MPa にてトルク測定。0.2N・m 以下のこと）

社内試験の実施状況を図 11 に示す。試験による検証の結果、各判定基準値における試作品の性能は確保されていることが確認された。これにより、設計段階における製品性能の妥当性が検証された。

なお、破壊試験に於いては、油圧ポンプ性能上限の 160MPa まで昇圧したが製品破断が発生しない状況であったため、その記録を残し、データを川下に提出する。今後、必要に応じて更なる高圧試験を実施するものとする。

<回転トルク試験実施状況>

判定条件・・回転トルク 0. 2N・m以下



S/N	回転トルク (N・m)	判定
001	0.11	○
002	0.12	○
003	0.13	○
004	0.13	○

<耐久試験実施状況>



判定条件・・滴下（液漏れ）無きこと。（圧力 20.7MPa）

S/N	1 万回	10 万回	100 万回	判定
001	滴下無し	滴下無し	滴下無し	○
002	滴下無し	滴下無し	滴下無し	○

<耐圧試験実施状況>

判定条件・・漏れ無きこと。（圧力 34.5MPa）



S/N	圧力 34.5MPa	判定
001	漏れ無し	○
002	漏れ無し	○
003	漏れ無し	○
004	漏れ無し	○

図 1 1 : 社内試験実施状況

第3章 全体総括

3-1 事業成果概要

本研究開発の成果となる、チタン製航空機用スィベルジョイントは、国産としては初の製品化となり、また、国内航空機分野川下からの要望を受けて開発するものである。川下からのニーズを確実に捉えて開発に着手するものであるため、開発が成功した暁には、現在、航空機用に使用されている海外メーカー製のスィベルジョイントのシェアを弊社が獲得することが可能となる。

本事業を実施したことにより、試作品の開発において、顧客ニーズを反映した製品設計を行い、下記の性能を有する航空機用スィベルジョイントの試作が完了した。

<要求性能>

- ☑常用圧力：20.7MPaに対応する。
- ☑使用流体：MIL-H-5606（航空機用作動油）に対応する。
- ☑使用温度：-54℃～135℃の温度環境に対応する。
- ☑接続部形状：AS33514（航空機用接続ポート規格）に準拠する。
- ☑主材料：航空機用材料として AMS 規格に対応したチタン合金（Ti-6Al-4V）とする。

<既存海外製品と比較した改善性能目標>

- ☑製品重量：目標重量 100g 以下を目標とする。
- ☑軸受け構造の研究：目標回転トルク $0.2\text{N} \cdot \text{m}$ （20MPa 時）以下とする。
- ☑動作保証：動作保証目標値 50 万回を達成可能な構造を設計する。

事業開始前の課題であった、Nadcap 認証に基づく非破壊検査の実施について、事業期間内で Nadcap 認証の取得が完了し、航空機用スィベルジョイントの生産～検査・出荷までの一貫生産に対応可能な体制が構築された。今後は、取得した Nadcap 認証手順に基づき、試作開発品の非破壊検査を実施し、データを取得した。試作品と共に川下企業に提出し、内容について評価頂きながら、必要に応じて設計変更や改善に応じていく予定である。

3-2 事業の成果に係る事業展開について

当初の目標である航空機用スィベルジョイントの試作開発において、各目標値を達成する試作品の開発が完了した。

本年度の取組の中では海外マーケティングにも力を入れた。国内航空機メーカーの要望を基に始めた開発であるが、開発を進める中で当初に想定された用途だけでなく、油圧駆動される脚部や羽根のフラップ部にも使用する箇所が複数あることがわかった。国内メーカーにおいては、新たな部品の採用は慎重なケースが多いのに対し、海外メーカーは比較的柔軟である。

ただ、これまでは航空機分野の重要な試験規格である Nadcap による検査ができていなかったため、具体的な商談に入ることができなかった。

3年間の取組を経てようやく試作品の完成と Nadcap 資格を得たことから、自社で行う長期性能試験などと共に Nadcap 試験の結果を持って各社に訪問できるようになった。

今年度のマーケティング活動においても、多くの情報収集やサンプル提供のチャンスが得られ、新たにストレート型の試作につながるなど事業化に向けた環境が整った。試作品とともに、非破壊検査データを川下企業に提出し、今回の開発品の良さを積極的にアピールしながら、国内外の川下との連携を密に取り、まずは試作品の製品販売実現に向けた取り組みを行っていく。

以下に、事業化に向けたスケジュール等を示す。

製品等の名称		チタン製航空機用スィベルジョイント				
開発事業者		株式会社エステック				
想定するサンプル出荷先		国内外航空機メーカー、部品メーカー、等				
スケジュール	事業年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 年度
	サンプルの出荷	→				
	追加研究		→			
	設備投資					-----→
	製品等の生産			→	→	→
	製品等の販売			→	→	→
	特許出願	→				
	出願公開		→			
	特許権設定		→			
	ライセンス付与					-----→

	事業化の根拠	【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】 国内需要としては、民間用・軍事用共に、小型ジェット機、リージョナルジェット機、ヘリコプターへの搭載が可能となる。既存海外製品と比較しても、コスト及び納期のメリットがあり、軽量・軽トルク・高耐久性といった川下要求に適合した性能により、既存製品のシェアを獲得可能である。 【川下企業（顧客）ニーズ】 本事業は、弊社の航空機分野の川下企業からの直接の要望を受けて実施するものであり、製品の開発を達成した暁には、製品販売先の確保が可能となる。 【販売促進戦略】 販売ルートとしては、販売代理店及び川下の航空機メーカーへの販売を予定している。 当該製品の需要について、その軽量性から、中小型機向けに製品売上げが見込まれる。まずは、国内需要に対応をしつつ、海外メーカーへの提案営業を重ね、シェアの獲得を目指す。 また、本技術の確立は当社の航空機部品の競争力をあげることにもつながり、競合他社の参入障壁となることも期待できる。 【販売先、川下製造業者等の事業化の体制】 当該分野は、もともと見込で量産をするものではなく、計画生産が基本であることから、本開発への要望、期待が出た時点で事業化を前提として社内体制を立てている。 【事業化への実現性】 本開発は、海外勢に占められている部品を国産化するものであり、国産化によるコストや納期、性能面で明らかに優位となることから、技術の確立により事業化は確実である。 【その他】 この分野にはいくつかの認証過程を必要とし、それが一種の参入障壁となっている。本事業ではその部分にも対応する事で事業化への道筋を立てられることに大きな意義があるので、期待が大きい。
	事業化による経済効果	本開発の成果は、研究実施企業の利益にとどまらず、同社が主体的にかかわる共同受注体である浜松航空機産業プロジェクト「SOLAE」のメンバーにも利用される。静岡県航空機産業振興につながり地域創生への効果など県内の経済波及効果が期待できる。

3-3 事業の成果に係る知的財産権等について

本事業実施期間中に知的財産の出願は行わなかったものの、試作品内部構造について知的財産権の出願を検討しており、その方針について弁理士と協議している状況である。

一方、加工技術と加工条件などのノウハウは高度な秘匿技術として権利化せずに社内にとどめておくことも必要と考えている。試作品の製品販売化に向けた動向・進捗に併せて今後も知的財産戦略を策定していく予定である。

参考：用語説明

スィベルジョイント：回転（揺動）継手。主に装置や機体の油圧ラインに用いられる。回転もしくは運動部分の油圧ホースラインに接続し、回転継手でホースの運動を吸収することで、油圧ホースにかかる負荷やねじれを軽減する目的で使用される。

AMS規格：米国自動車協会の航空部門が、航空機材料について制定した航空宇宙材料仕様（Aerospace Material Specification）の略。

MIL規格：米国軍需省標準局から発行された米国規格（Military Specification）。

MS規格：米国標準規格（Military Standard）。

特殊工程：プロセスの結果がその後の検査やチェックでは検証できない工程に対して、通常と異なる管理、たとえば作業条件のほかに、設備や作業する人の認定などを行うことで対応する工程。特殊工程の例としては、熱処理、溶接、表面処理、非破壊検査など。

Nadcap：ボーイング、エアバス、ロールスロイス、GE等の航空機メーカー、及びエンジンメーカーのプライム各社がメンバーとして管理するPRIという機関が開発し、1990年から運用を開始した、品質保証及び特殊工程の監査・認証プログラム。航空宇宙製品の特殊工程を含む製造に携わるためには、この認証が必須となる。

非破壊検査：“物を壊さずに”その内部のキズや表面のキズあるいは劣化の状況を調べ出す検査技術のこと。

蛍光浸透探傷検査（PT）：非破壊検査のひとつ。試験対象の材質にかかわらず無く、殆ど全ての材料、製品の表面検査に使用可能。試験体の表面に開口している微細なキズに、見えやすい色や輝きを持たせた浸透性の良い液体（浸透液）を浸み込ませ、再度表面に吸い出すことによりキズを拡大して見つけ出すことができる検査手法。

磁粉探傷検査（MT）：非破壊検査のひとつ。鉄鋼など強磁性材料の表面近傍のキズを検出するのに適した探傷試験方法。試験体を磁化し、表面のきずなどの磁気的な不連続の影響を利用。試験体表面に磁粉を散布するとキズ部分に付着した磁粉によって、実際のキズの幅が増幅され、磁粉模様がで、容易に目視観察でキズが検出できるようになります。

3次元測定機：プローブと呼ばれる球体で製品を点測定、若しくは線測定して、得られた3次元の座標値を高精度に検出可能な測定機器。

引張り強度：材料に引張り応力（荷重/断面積）を与えていくと、材料は破断する。その破断する時の応力を引張り強度（ N/m^2 ）という。

ヤング率：材料の弾性率。弾性限度内において、応力 S （ N/m^2 ）とひずみ a （無次元）の比であり、定数 E （ N/m^2 ）で表される。

$$E = S / a$$

熱伝導率：熱の伝わり易さを表す値。物質の両面に1度の温度差があるとき、 1 m^2 あたり1時間にどれだけの熱量が伝わるかを数値化し、熱伝導率として表現される。