

説明会質疑応答の内容を反映し、研究課題の記載を更新(P3, P4)

※期間・研究費は上限

## 研究課題

No.	募集区分	課題件名	該当頁
1	アイデア	極低温対応の円管状熱交換器の金属 3D 造形用設計手法の研究	3
2	アイデア	極低温対応バルブの金属 3D 造形用設計手法の研究	4
3	アイデア	作業効率の改善に資する XR 技術の機能研究	5
4	アイデア	評価作業効率化に資する自動データトレンド評価等の DX 技術の研究	6-7
5	アイデア	低コストな高耐熱の大型 CFRP 構造に向けたマトリクス樹脂材料の研究	8-9
6	アイデア	中温域 (1000℃以下) への適用を想定した低コスト耐熱材の研究	10-11
7	アイデア	極低温対応の複合材配管の実現に向けた研究	12-13
8	アイデア	極低温流体の蒸発を考慮したタンクシミュレーションツール研究	14-15
9	アイデア	ロケットエンジン用小型低コスト電動ポンプの研究	16
10	アイデア	ロケットエンジン燃焼器用点火器の低コスト化の研究	17
11	アイデア	極低温用小型低コストソレノイド製造技術の研究	18
12	アイデア	極限環境下で使用可能な摩擦駆動アクチュエータの研究	19
13	アイデア	低コストかつ軽量の宇宙輸送機用ワイヤレス通信システムの研究	20-24
14	アイデア	振動に強く小型軽量 (高エネルギー効率) な低コスト電池の研究	25-26
15	アイデア	周波数領域の柔軟性向上に向けたソフトウェア無線技術の研究	27
16	アイデア	分離衝撃緩和に向けた非火工品分離機構の研究	28-29
17	チャレンジ	着陸脚の展開/折り畳み機構技術の研究	30-31
18	アイデア	再使用輸送機の構造健全性評価のための欠陥検出技術の研究	32-33
19	チャレンジ	再使用輸送機の運用整備計画構築手法に関する研究	34-35
20	チャレンジ	洋上回収技術研究	36-37

#### 【共通する留意事項】

- ・ 1つの研究課題において複数の構成要素が示されている場合、特に記載されている場合を除き、そのうちいずれかの要素を満たす提案でも構いません。
- ・ 1つの研究課題に対して複数の研究提案を採択することがあります。また、採択がないこともあります。
- ・ 研究提案の内容に応じて、研究費額を調整することがあります。
- ・ 採択内定後、JAXAと研究体制を構築していただきます。このとき、JAXAより体制を提案することがあります。
- ・ 採択された研究提案については、年度末または共同研究終了時に研究進捗の評価を行います。研究継続の可否を決定します。また、年度評価や最終評価における評価結果によっては、当初の研究実施計画・研究期間にかかわらず、JAXAが研究実施計画の見直しや中止、延長等を判断することがあります。
- ・ 研究に際し、必要に応じてJAXAの研究設備を利用することができます。
- ・ 課題解決に向けて部分的にも対応できる研究テーマがある場合は、ご提案頂くことも可能です。ただし、全体的に対応できるテーマをご提案頂いた方が評価上は有利になります。

## ■ 課題概要

金属3Dプリンタ（Additive Manufacturing：AM）技術の進歩は目覚ましく、民間の各分野に適用されている。革新的将来宇宙輸送プログラムでは、宇宙輸送システムの製造コストダウンの実現に向けて、「3D造形に特化した設計の採用」、「品質安定化」など、金属3D造形を活用した製造・設計技術に関する研究を推進する。

宇宙輸送機への3D造形適用にあたっては、低温脆性や熱歪み量の大きさなど、極低温環境への適用が課題としてある。これらの課題にちえていくためには、金属3D造形品質や構造設計に加えて、流体及び熱構造に係る技術を統合して低温への耐性/変形、流力特性と軽量化を考慮していく必要がある。

本募集テーマは、熱交換器を例題に、上記の統一的な熱解析評価と3D造形特性を統合する設計手法(Design for Additive Manufacturing：DfAM)確立に向けたプロセスのアイデア提案を募る。ロケットエンジンの熱交換器は、耐圧は10MPaまでであり、高温ガス用の流路は圧力損失が小さく、内部の温度差は酸素98Kから高温水素483K（最大条件では：酸素100K、高温水素610k）ある。

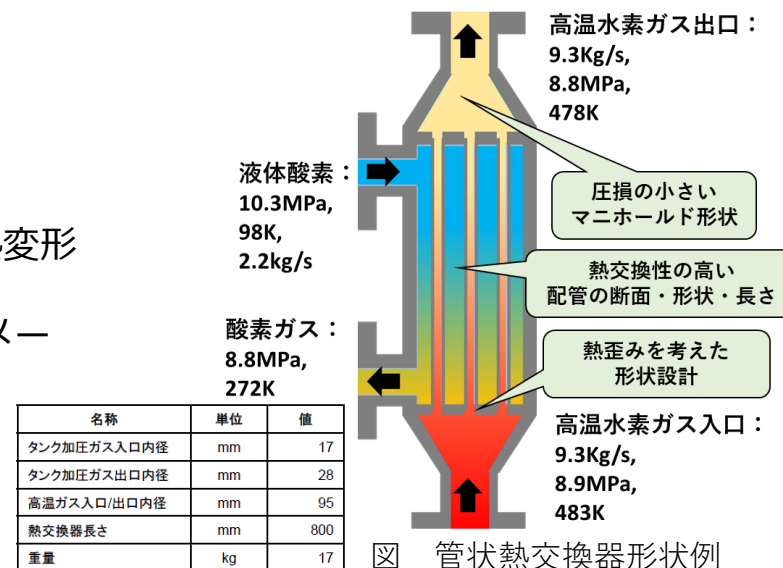
## ■ 研究目標

右図の様な管状熱交換器を題材にDfAMプロセスの確立を行う。

- 下記課題に対して3D造形ならではの形状設計の実施  
課題：大幅な軽量化、熱変形/圧力に対応可能な板厚、熱変形に対するロバスト性向上、圧損MIN化etc
- 上記形状を実現時に考慮すべき金属3D造形時品質パラメータ整理（温度に対する金属融解量、凝固時間など）
- レシピづくりに関して試作回数のMin化検討
- **DfAM確立に向けた設計検討及び実証・実現計画の立案**

## ■ 本研究課題実施の留意事項

- JAXAは宇宙輸送機製造メーカーとの極低温流体用の管状熱交換器の設計経験に関するヒアリング機会設定を適宜対応する。
- JAXAは熱交換器の性能試験にあたって、技術的・設備的サポートをご相談に応じて行う。
- **設計検討結果の妥当性を確認する実証については、課題解決型区分での研究にて実施予定。**



## ■ 課題概要

金属3Dプリンタ（Additive Manufacturing：AM）技術の進歩は目覚ましく、民間の各分野に適用されている。革新的将来宇宙輸送プログラムでは、宇宙輸送システムの製造コストダウンの実現に向けて、「3D造形に特化した設計の採用」、「品質安定化」など、金属3D造形を活用した製造・設計技術に関する研究を推進する。

宇宙輸送機への3D造形適用にあたっては、低温脆性や熱歪み量の大きさなど、極低温環境への適用が課題としてある。これらの課題にこたえていくためには、金属3D造形品質や構造設計に加えて、流体及び熱構造に係る技術を統合して高圧低温への耐性/変形、流力特性と軽量化を考慮していく必要がある。

本募集テーマは、宇宙輸送機の極低温対応バルブを例題に、上記の統合的な熱解析評価と3D造形特性を統合する設計手法(Design for Additive Manufacturing：DfAM)確立に向けたプロセスのアイデア提案を募る。

## ■ 研究目標

液体窒素対応のボールバルブを題材にDfAMプロセスの確立を行う。

- 下記課題に対して圧力10MPaの1inch配管規模のバルブ形状を検討  
課題：大幅軽量化、熱変形/圧力変化での面圧維持、熱変形/流体力の影響緩和によるバルブ駆動力最小化etc
- 上記形状実現時の考慮すべき金属3D造形時品質パラメータ整理（温度に対する金属融解量、凝固時間etc）
- レシピづくりに関して試作回数のMin化検討
- DfAM確立に向けた設計検討及び実証・実現計画の立案

## ■ 本研究課題実施の留意事項

- 宇宙輸送機製造メーカーとの極低温流体用のバルブ設計経験に関するヒアリング機会設定を適宜対応する。
- バルブ試験にあたって、技術的・設備的サポートをご相談に応じて行う。
- 設計検討結果の妥当性を確認する実証については、課題解決型区分での研究にて実施予定。

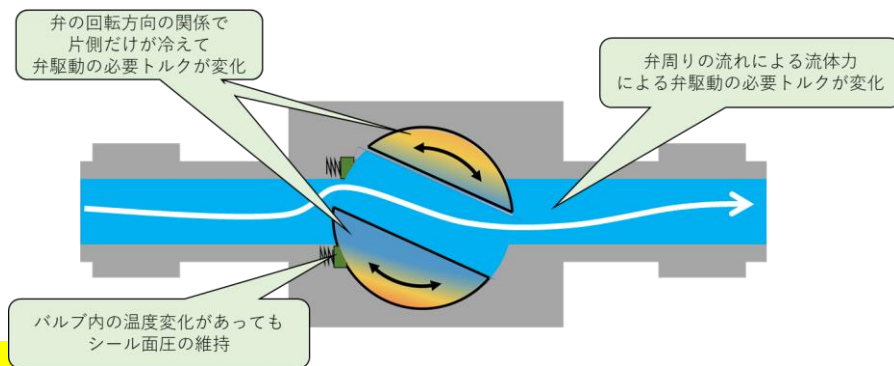


図 ボールバルブ内部形状例

## ■ 課題概要

宇宙輸送システムは部品点数が多く製造や組立の作業工程が多い。その上、過去の飛行結果の反映等により都度仕様変更が加えられたり、機体の再使用による損傷状況が異なる為、号機毎に内容が異なる作業が追加される。これらの作業を実施するに当たっては、手順書準備・他作業との干渉制約・注意事項の確認等の多大な事前作業を要し、これらの作業負担の軽減や作業時間の短縮を実現する必要がある。

本テーマでは、号機毎で内容が異なる作業に対応する際に、的確な作業指示による作業品質確保や不具合箇所の明確な状況共有が行える様に、MR（複合現実）グラスなどのXR技術の活用を検討する。例えば、グラス式の作業支援機器であれば、ハンズフリーで情報を得る事ができて作業効率があげられる上に、MRを組合せる事で直感的理解を促進する事ができる。本研究では、人間工学的にどうグラス上に表現すれば直感的に理解しつつ製造組立作業を行えるか検討していく。

## ■ 研究目標

- MR（複合現実）グラス等のXR技術の活用により、作業効率改善に資する機能について検討を実施する。また、複数企業をまたいだ連携についても検討を行う。
- 上記機能を実現するXR技術システムのフィージビリティ検討と、そのシステムの導入費用見込みを検討する。

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定しております。
- 運用期間にわたり変化する工場、射場、機体/設備仕様に順応する方策、セキュリティ対策に対する配慮事項を記載するようにしてください。

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- 製造現場の作業改善も踏まえた研究提案。

## ■ 課題概要

- 宇宙輸送機では、多数のサプライヤの工場での単品の検査データ(\*)、整備作業時に取得する機能試験のデータ(\*)、各工程で生じる不具合のデータ、飛行データ(\*)等、多々データを取得しつつ、規定値との合否判定を行いながら製品の品質を確保している。現状は上記品質確認を、個々の作業員/企業が規定値との比較確認やトレンド確認を個々のデータベースにて実施している。機体の再使用や高頻度な打上げを実現する為には、品質を保証する為の大量の合否判定を短期間かつ低負荷で行える様になる必要があり、データの入力負荷の軽減やサンプル数にバラツキがある中でのトレンド評価などを実現し、効率的なデータ評価を実用化していく必要がある。
- 本テーマは、データの自動トレンド評価による評価作業の効率化、サプライヤ情報の迅速な共有、柔軟な製造運用プロセスへの反映を実現するDX（デジタルトランスフォーメーション）技術の検討に取り組む。また、各データのトレンドを予知整備技術やAI等により評価することにより、閾値に対する合否判定に加えてトレンドからの外れ値の確認等を自動で行えることを目指す。

(\*) 検査データは地上での、飛行データは宇宙輸送機の時々刻々と変わる条件下でのデータである。

また、飛行データは飛行状況に応じて取得できるデータに限りがある。評価の際には、こうしたデータの特性の違いも考慮する必要がある。

## ■ 研究目標

- データの自動トレンド評価による評価作業の効率化、サプライヤ情報の迅速な共有、柔軟な製造運用プロセスへの反映を実現するDX技術のシステムコンセプトを検討する。
- そのシステムのフェージビリティ確認をデモンストレーションの実施によって示す。
- 今後の開発・整備導入計画案を立案する。

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定しております。
- ・ 運用期間にわたり変化する工場、射場、機体/設備仕様に順応する方策、セキュリティ対策に対する配慮事項を記載するようにしてください。

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 製造現場への具体的なデジタルデータ取得方法も考慮した研究提案。

## ■ 課題概要

ロケットの再使用のためには、着陸装置等の追加の装備が必要で質量の増加が見込まれることから、従来の使い切りロケット以上の軽量化が機体構造には要求される。このため、現在のアルミ合金より軽量・高強度の樹脂系複合材料（CFRP）の適用領域の拡大が必須であり、製造コストの低減についての研究・開発が多くの分野で実施されている。

一方、打上げ時のロケット先端のフェアリングや、大気圏再突入時の機体外表面は空力加熱に晒されることから、機体構造を保護するために機体外への断熱材の施工が必要であり、機体の質量増加と製造コスト増の要因となっている。

以上の課題に対し、現在研究・開発されている低コストな製造方法が適用可能で、かつ、耐熱温度が400℃を超える軽量なCFRP材料が実現できれば、フェアリング部等では機体外への断熱材の施工が不要となり、低コスト化・軽量化を実現する事が可能となる。

## ■ 研究目標

本テーマは、低コストな製造方法に適用可能な高耐熱CFRP材料の実現性確認に向けて、候補となるマトリクス樹脂材料に関して要素試験により下記を評価・確認する。

- 400℃以上の温度環境下でも強度低下の小さいこと
- CFRP化が可能であること
- 低コストな製造方法が適用可能なこと（CFRP化したときの製品コストがポリイミドCFRPの1/5以下、もしくはエポキシCFRP等の見込みがある製造方法が適用可能なこと）

また、上記の結果を踏まえ、2022年度募集の課題解決型研究提案に向けて、大型構造（代表長5m以上）への適用に向けた技術課題の抽出と、それに対する開発計画の設定を行う。



## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定。
- ・ 高温での材料評価設備の空き状況の確認が必要（航空部門と要調整）

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 耐熱性は高いほど良い。
- ・ CFRP化したときの製品製造コスト見込みは低いほど良い
- ・ 大がかりな新規製造設備が不要であること（例えば、1次硬化を通常のオートクレーブ/オーブンで対応な温度で実施し、フリースタンドイングのポストキュアで耐熱性を確保する、等）

## ■ 課題概要

米国Space Shuttleのように軌道から帰還する再使用輸送系機体の外表面には、再突入時の空力加熱から機体を守るために熱防護システム（TPS）が装着される。このとき、最高温度が1500℃以上となる部位も存在するが、大部分は1000℃以下（機体表面積の85%。800℃以下であれば75%程度）となる。また、エンジンノズルエクステンションの高開口比側も温度は1000℃以下である。

このため、耐熱温度が800～1000℃程度でも低コストかつ構造部材に適用可能な強度を有する軽量耐熱材料があれば、エンジンの軽量化・低コスト化に寄与するのみでなく、将来の上段再使用輸送システムの機体軽量化・コスト低減に非常に有効である。

## ■ 研究目標

本テーマは、低コスト／軽量の耐熱材料の製造方法確立に向け、候補となる耐熱材料に関して要素試験により下記を評価・確認する。

- 800℃以上の温度環境下でも十分な強度（曲げ強度200MPa以上。300MPaが目標）を有すること
- 密度が3g/cm<sup>3</sup>以下であること
- 800～1000℃の酸化雰囲気でも材料劣化の無いこと
- 低コストに製造可能な見込みがあること（1m<sup>2</sup>、厚さ2mm程度の平板で100万円程度）

また、上記の結果を踏まえ、2022年度募集の課題解決型研究提案に向けて、大型（代表長1m程度）の供試体製造に向けた技術課題の抽出と、それに対する開発計画の設定を行う。

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定。
- ・ 高温での材料評価設備の空き状況の確認が必要（航空部門と要調整）

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 耐熱性は高いほど良い（コスト上昇の無い範囲で）。
- ・ 3次元曲面が製造可能であること（エンジンノズルへの適用を想定）
- ・ 大がかりな新規製造設備が不要であること（例えば、大型なHIP装置が不要、等）

## ■ 課題概要

極低温推進薬を利用する宇宙輸送システムは耐圧要求の異なる配管を各所に多数設置しており、その総質量は推薬を含めない機体質量の約1割を占める。この多数設置している配管を、単位長さあたりの質量を軽くし価格を安くする事ができれば、宇宙輸送システムの軽量化と低コスト化を実現する事ができる。

単位長さあたりの質量を軽くする手段の一つとして、配管素材をCFRP等の複合材に見直すことがある。複合材配管を採用する場合は、機体組立や整備の都合上必須となる配管継手の設置を考えなければならず、配管継手周辺の熱応力を考え、適切な信頼性を持たせる必要がある。特に、革新的将来宇宙輸送システムは繰り返し使用を前提とする為、1MPa程度の耐圧、220K程度の熱サイクルに耐える必要がある。

本研究テーマでは、上述の使用環境に対して、配管継手を含めた単位長さあたりの配管質量の軽量化。その配管構造を低コストに成形する技術研究に取り組む。

## ■ 研究目標

本研究テーマは、まずは液体窒素温度(77K)を対象に、図1に示す様な供試体の製作と熱環境試験の実施により、適用性確認と課題抽出を行う。

- 複合材配管と組み合わせる事で軽量となる配管継手機構の検討と試作
- 100Kの熱サイクルを加えた際の気密健全性の確認
- 極低温対応の複合材配管の製造費低価格化の課題の抽出
- ロケットエンジン等の推進システムへの適用に向けた課題の抽出

上記の結果を踏まえ、2022年度募集の課題解決型研究提案に向けて、極低温対応の複合材配管の実用化と製造費低コスト化の研究開発計画(研究期間2年)の策定を目指す。

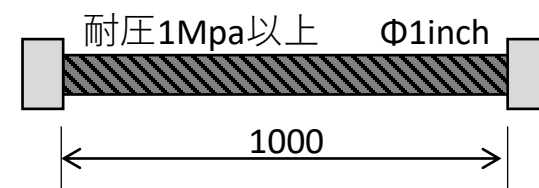


図1 供試体イメージ

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- 熱膨張差を抑えたCFRP と金属との接着技術
- 液体酸素での使用に向けたコンパチビリティ技術
- 超真空での耐気体透過性技術
- 構造数学モデル等で要素試験の規模を抑える技術
- 自動車部品等への製造や設計の技術の共有

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- JAXAは宇宙輸送機製造メーカーとの極低温流体用の継手規格等に関するヒアリング機会設定を適宜対応する。

## ■ 課題概要

革新的将来宇宙輸送システムは打上げ費用の削減を目的に機体を再使用する。機体を再使用する為には射点から打ち上げた機体が地上に帰還する必要がある、その過程では機体は姿勢変更を行い、液体推進剤（燃料と酸化剤）を封入したタンクは振らされる。このような環境では液体推進剤の揺動が生じる為、タンクと推進剤との熱交換による蒸発促進、重心位置の時間変位・減衰を把握し機体設計に反映する必要がある。

液体と気体が共存する流体シミュレーションは、気液間相変化や表面張力を精度良く再現する為に、拡大率が小さく連続的な構造格子で計算領域の形成が必要となる。その為、推薬タンクの計算領域で再現するには高度な技術を必要とする。

本研究テーマは、推薬タンクを拡大率が小さく連続的な構造格子で自動メッシュ生成する技術の研究に取り組み、それ用のユーザーインターフェースを整える事で、流体シミュレーションの知識を持たない人でもタンク内での揺動による推薬蒸発・重心変動・減衰性の結果が得られる様にする。

## ■ 研究目標

本研究テーマは、以下の研究・作業に取り組み、地上産業と宇宙輸送で共通利用できるシミュレーションツールの実現化検討に取り組む。

- 推薬タンクを拡大率が小さく連続的な構造格子で自動メッシュ生成する技術の研究
- ユーザーインターフェースにて入力されたタンクの形状や使用環境の情報を流体シミュレーションのインプット情報への変換機能の検討と試作

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- 液体水素や液体メタンなどの燃料タンカーへの解析対象の拡張技術

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- 本研究で求める格子生成機能は6面体の構造格子になります。
- 推薬タンクを構造格子で形成する際のノウハウは開示します。
- JAXAの流体シミュレーションの使用許可します。
- JAXAの流体シミュレーションのインプットデータの開示します。  
(研究提案時はFluentなどのVOFシミュレーションのインプット情報を想定してください。)
- 液体ロケットのタンク設計における仕様・要求などの情報開示します。

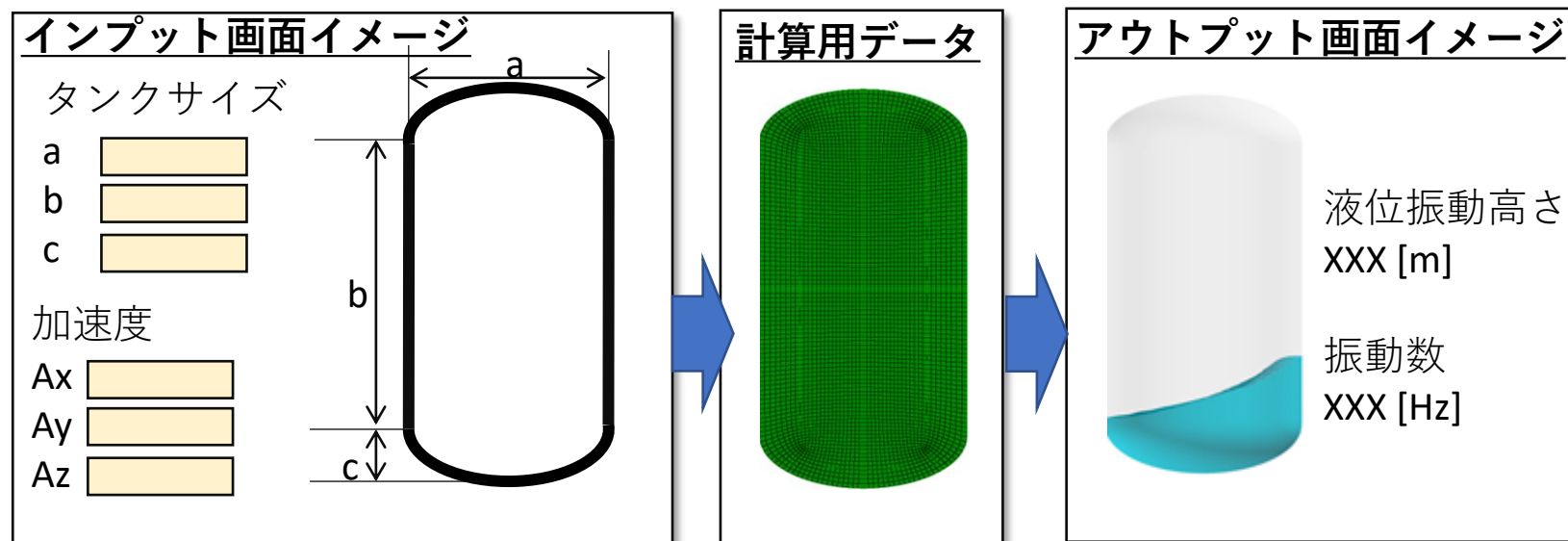


図1 作り上げたいツールイメージ

## ■ 課題概要

ロケットエンジン用タービン式のターボポンプを電動ポンプに置き換える事は、制御性の向上と高効率化だけでなく、軸シールの低コスト化の可能性やターボポンプ試験設備が格段に簡素化できる。しかし、大型ロケット用エンジンのターボポンプは数十MW級の動力を必要とする為、一台の電動ポンプで置き換えることは不可能である。一方で、100Kw級以上の電動モータと汎用部品を多用する小型電動ポンプの実現性は高く、上段エンジンや軌道間輸送のみならず、それをクラスターすることで大型ロケットエンジンを実現する可能性も高い。

本募集テーマは、5～10年後の地上産業（LN2、LNG、LH2、LOX）として市場が見込める電動ポンプ能力向上と、その電動ポンプを最小限のオプション追加対応でロケットエンジン利用可能な設計検討に取り組む。

## ■ 研究目標

本研究は、地上市場用の部品を多用によりロケットエンジン用の小型電動ポンプを実現させるアイディアのフィージビリティ検討として以下2点に取り組む。

- 汎用部品を多用する小型電動ポンプの設計
- 5～10年後の市場を対象とした小型電動ポンプの事業性検討

上記2点にて、実現性を得た場合は課題解決型への研究開発計画を策定する。

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- 本研究が対象とする電動ポンプは極低温流体の送液利用を前提とする。水素社会を見越して液体水素対応も対象範囲に加えても良いが、主な利用は液体窒素温度近傍とする。
- 液体燃料エンジン用ターボポンプに関する設計ツールやノウハウの開示を可能な範囲で対応します。
- JAXAの高圧ポンプ試験設備の利用に応じます。



## ■ 課題概要

ロケットエンジンに使用されている燃焼器用の点火器は、真空環境での多数回着火など、特有使用条件での高い信頼性を求める為に高価となっている。もし、小型のロケットエンジンを複数搭載し、大型ロケットのエンジン推力を得る場合は、燃焼器の数に比例して必要点火機数も増えて高コストとなる。

そこで、自動車用などの地上市場への出荷数の多い点火器をロケットエンジンに採用する事を目的に、本研究は点火器周辺機器の設計の見直し、エンジン着火の運用の見直しを取り組む。

まずは、地上市場で使用している点火器を採用した際の低コスト化のフェージビリティ検討として、下記の条件下での使用を可能とする為の追加設計要素や検査項目などを検討する。

作動条件：エンジン主燃焼室条件(およそ10 MPa、断熱火炎温度3000 K)において、  
作動時間(~10分程度×約30回)に対して壊れないことを考慮する。

環境条件：放射線耐性、真空、120K以下の環境での低温脆化、酸素適合性

## ■ 研究目標

地上市場利用の点火器を液体ロケットエンジンに適用する事で低コスト化が行える事のフェージビリティ検討を目的に下記を検討し、ロケットエンジン適用性の課題解決研究に向けた研究計画の策定を実施する。

- 適切な性能かつ低価格な点火器の選定
- ロケットエンジン適用化に必要な追加設計要素と検査項目の検討
- 現状と5～10年後の価格見積り

## ■ 課題概要

液体ロケットは、タンク・配管・エンジンなどの内部の圧力や温度の制御を目的に、多数の8A（1/4インチ）や15A（1/2インチ）程度の極低温用のバルブが設置されている。ロケットに用いられているバルブは、可能な限り軽量化した上で、応答速度や信頼性を確保する必要があるため、今まで汎用品を使用する事が難しく、機体製造費を高くする要因となっている。極低温（-160℃（LNG）～-250℃（LH2））で使用可能な低コスト高性能ソレノイドバルブが実現出来れば、低コスト化や軽量化に繋がるだけでなく、エンジンシステムの多様化も可能になる。しかし、ソレノイドバルブは開閉の衝撃が大きく破損のリスクや液体酸素中における発火のリスクが存在する。よってこのリスクを低減する為に低温脆性素材の物性データ取得、衝撃緩和検討、液体酸素適合性が必要となる。また、製品費を抑える為には、摺動部に適用する潤滑被膜の検討と製造工程管理の簡素化検討や、ソレノイドの小型軽量化を目指した設計と巻き線種の選定が必要となる。

本募集テーマは、上記の様な破損リスク低減等の信頼性向上を図りながら、水素社会の流れなど今後の極低温用小型ソレノイドバルブの市場性を見ながらの規格と製品費削減策を検討し、液体ロケットに適用も可能な低コストなソレノイドバルブの事業性のフェージビリティ検討を実施する。

## ■ 研究目標

液体ロケットに適用も可能な低コストなソレノイドバルブの事業性も意識したフェージビリティ検討として下記を実施する。

- 水素社会の流れなど今後の市場性を見ながらの極低温用小型ソレノイドバルブの規格検討
- ソレノイド最小化を目指したコイル設計、巻き線種の選定、製造工程管理の簡素化などの低コスト化手段の検討
- ソレノイドバルブは開閉の衝撃が大きく破損のリスク低減の検討

上記の検討にて、実現性を得た場合は、5～10年後の価格見積り及び事業化計画、課題解決型への研究開発計画を策定する。

## ■ 課題概要

液体ロケットでは、エンジン推力の大きさを調整する為の流量調整弁やエンジン推力の向きを調整する為のジンバル機構など、極低温環境となる箇所でアクチュエータを使用している。宇宙輸送の費用を下げる為には、エンジン推力の大きさと向きを適切に制御する事での機体の帰還飛行のために、軽量・高性能アクチュエータの実現に取り組む必要がある。その中でも摩擦駆動アクチュエータ（超音波モータ含む）は、超精密位置決めが可能となると同時に低電力で大きなトルクを発生させる事ができ位置保持時の電力消費が少なく、さらにトルクリミッタとしての機能等メリットが大きい。しかし、極限環境（低温および高温）での使用の場合、駆動素子の特性変化を考慮した制御と、摩擦駆動部のトライボロジー特性が技術課題となる。また、カーボンニュートラルの取り組みとして進む水素利用の動きや、近年問題となっている新型コロナワクチンの製造・保存環境など、液体窒素温度周辺を対象としたアクチュエータの需要は、それぞれの分野のみだと出荷数は少ないが、流用部品の多用などによって全てを束ねる事ができれば出荷数を大きくする事ができる。

本募集テーマは、極低温環境対応のアクチュエータについて、地上市場にて差別化を見込める制御能力向上の研究と、今後5～10年の地上産業での出荷数予測による事業性検討に取り組む。

## ■ 研究目標

液体ロケットや地上産業機器とで共通利用を増やす極低温環境対応のアクチュエータの実現とその事業性についてフィージビリティ検討を行う。その中で下記の2点を主に行う。

- 地上市場にて差別化を見込めるレベルまでの制御能力向上のアクチュエータ検討または要素試験の実施（回転アクチュエータを仮定した際の目標値：20N・m、120rpm）
- 今後5～10年の地上産業での出荷数予測による事業性検討

上記の結果を踏まえ、宇宙輸送機適用確認を目的とした課題解決型研究計画の策定

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- 極低温環境での評価試験設備の使用
- アクチュエータに使用する材料の特性に関するデータベースの提供

## ■ 課題概要

- ・ 現基幹ロケットには通信用ケーブルが多く設置されており、アビオ系の質量/コストとして無視できない状況にある。
- ・ 機体内通信をワイヤレス化することで、機体の軽量化、ケーブル設置作業の削減、試験作業の効率化等が期待されるが、宇宙輸送機への適用にあたり、金属閉鎖空間内での使用による電波干渉/通信品質悪化等の課題が存在する。
- ・ 地上のワイヤレス技術を活用し、宇宙輸送機適用に求められる仕様/課題を解決できる低コストかつ軽量なワイヤレス通信システムについて検討し、技術的な成立性やシステムとしての有効性等確認する必要がある。

## ■ 研究目標

- ・宇宙機の使用環境条件で適用可能な軽量かつ低コストなワイヤレスモジュール/部品（詳細は以下）及び通信システムの標準仕様、技術課題(放射線耐性、通信品質保証手法等含)の整理及び解決策の検討

- ・軽量かつ低コストなワイヤレスモジュール/部品の目標仕様諸元

### ①機器-機器間通信用（1対Nの同時接続）

#### 【目標仕様諸元】

- ・ワイヤレスモジュール使用環境（金属閉鎖空間/開放空間：図1参照）
- ・機器の構成：親機1台と子機N台からなる通信装置（Nは15以上）
- ・質量要求：親機、子機とも1ユニット0.1kg以下（アンテナも含め）
- ・消費電力：親機0.5W以下、子機0.25W以下
- ・通信レート：リアルタイム制御用 1Mbps以上、計測用 100Mbps以上
- ・遅延時間：リアルタイム制御用1ms以内（伝搬遅延含む）、計測用25ms以下
- ・コスト(親機:10万円/台以下、子機:5万円/台以下)
- ・消費電力(親機:0.5W以下、子機: 0.25W以下)
- ・通信距離：10m以上
- ・放射電界強度 機器から自由空間1m離れたところで100dB $\mu$ V/m以下
- ・電源 DC5V
- ・通信BER リアルタイム制御用： $10^{-7}$ 以下、計測用： $10^{-5}$ 以下
- ・接続コネクタ：指定なし

## ■ 研究目標

### ② 機器-センサ間通信用（1対Nの同時接続）

#### 【目標仕様諸元】

- ・ワイヤレスモジュール使用環境（金属閉鎖空間/開放空間：図1参照）
- ・機器の構成：親機1台と子機N台からなる通信装置（Nは15以上）
- ・質量要求：親機、子機とも1ユニット0.1kg以下（アンテナも含め）
- ・消費電力：親機0.5W以下
- ・通信レート：100kbps以上
- ・遅延時間：1ms以内（伝搬遅延含む）
- ・コスト(親機:10万円/台以下、子機:1万円/台以下)
- ・通信距離：10m以上（金属閉鎖空間内、見通し無し。図1参照）
- ・放射電界強度 機器から自由空間1m離れたところで100dB $\mu$ V/m以下
- ・電源：親機 DC5V 子機 電源供給無し。バッテリーを内蔵させる。  
子機は待機OFF状態で6か月以上放置後ONでも10時間以上動作すること
- ・通信BER 10<sup>-5</sup>以下

アイデア型：総額500万円以下/最長12か月以内

宇宙輸送機搭載アビオ機器  
(搭載箇所、個数は例示。  
円周上に多数搭載)

タンク間支柱  
(アルミ)

機器搭載板  
(アルミ)

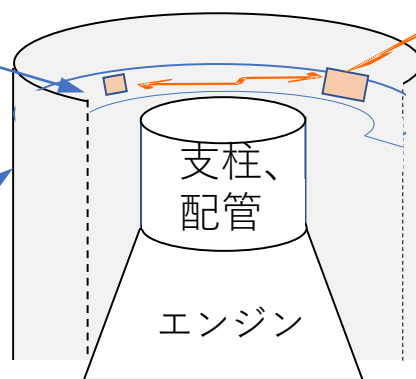
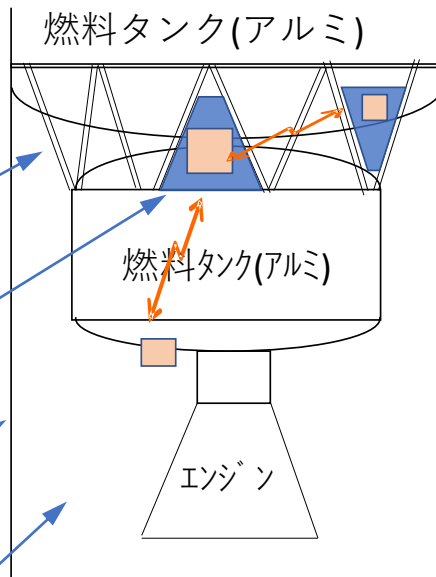
段間円筒部  
(アルミ)

1段飛行中は段間円筒部による金属閉鎖空間

2段飛行中は段間円筒部のない開放空間

機器搭載板  
(アルミ)

円筒部(アルミ)



例：センサ-機器間通信（最大距離）：  
タンク上方センサとの通信（数十m）

宇宙輸送機概要



図1 ワイヤレス通信システム使用環境

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ 金属閉鎖空間内で安定した通信を実現する技術が求められる。
- ・ 仕様目標値を全てを満たすことが望ましいが、トレードオフ提案も可。
- ・ 機器-機器間もしくは機器-センサ間のみの提案も可。



## ■ 課題概要

- ・宇宙輸送機用の電池には小型軽量（高エネルギー効率）かつ低コストな電池が求められている。
- ・現在地上では電池技術が日々進歩しており、これらの宇宙適用が期待できるが、地上用製品は宇宙輸送機の搭載振動環境に弱いという経験がある。
- ・上記から振動に強い地上用高性能電池の活用することで、小型軽量/高性能/低コストな電池システムを構築し、技術的な成立性/システムとしての有効性を確認する必要がある。

## ■ 研究目標

- ・振動に強い地上用電池セルを用いた小型軽量(高エネルギー効率)な低コスト電池の仕様検討。コスト/性能評価。技術課題（振動環境、放射線耐性、信頼度、温度耐性等）の整理及び解決策の検討。

➤小型軽量(高エネルギー効率)な低コスト電池の目標仕様諸元

【目標性能/コスト】

エネルギー密度：数百（Wh/kg）以上、電池コスト：一式100万以下

【電池仕様想定】

電池容量：70Ah程度、電圧：30V程度、最大放電電流：120A(5秒間)、温度範囲：-1～55度

質量：10kg以下(筐体込)、充電状態保管日数：210日、充放電回数：200回

【振動条件】：30Grms

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ 目標値を全てを満たすことが望ましいが、トレードオフ提案も可。
- ・ 研究目標の目標値を満足する電池のみの提案も可。

## ■ 課題概要

- ・ RF信号処理/通信処理の個別専用部品を使わず、ソフトウェアを用いて変調復調や符号化等の処理を汎用部品に組み込むソフトウェア無線技術が民生分野で一般化している。
- ・ 宇宙輸送機システムに適用することで、簡素なハードウェアを機体搭載通信機や地上通信装置に共通的に適用することができること、また、多様な用途/ミッションにも利用可能であり、開発リードタイム、開発運用維持コスト低減にも寄与することが期待される。
- ・ ソフトウェア無線技術の宇宙機システムへの適用は未検討であり、技術的な成立性/システムとしての有効性を確認する。

## ■ 研究目標

- ・ 機体搭載機器(\*1)に使える部品、モジュールに対し、送受信機等の信号処理の組み込み。  
(基板レベル実装試作)
  - ・ コスト評価及び技術成立性評価、技術課題(放射線耐性、処理能力等)の整理及び解決策の検討
  - ・ 変調復調方式、諸元等(下記のうち1種類以上)：
    - ① (送信機) Sバンド帯、QPSK、1.5Mbps、Viterbi符号、RF出力5W、  
基板重量0.5kg以下、DC12V
    - ② (受信機) Sバンド帯、10kbps、符号化無し、受信感度-105dBm、  
基板重量0.3kg以下、DC12V
    - ③ (衛星測位受信機) Lバンド帯 GPS-L1信号受信、DC12V
    - ④ (画像送信機) Sバンド帯、QPSK、1.5Mbps、MPEG4、RF出力5W、  
基板重量0.5kg以下、DC12V
- (\*1)テレメータ送受信機、GPS受信機を想定

## ■ 課題概要

1段機体などが燃焼終了後に分離・帰還し再使用されるためには、分離衝撃による機体構造や機器へのダメージを避けることが必須である。また、整備費の抜本的低減のためにも、火薬類取締法の対象外であることや、ITAR Freeであること、分離機構は飛行毎に交換せずリセットして繰り返し使用することが望ましい。

このため、分離機構の作動による衝撃損傷防止や火工品扱いの排除、また各可動機構の厳しい環境下での繰り返し使用を達成するために、非火工分離技術について、想定すべき使用環境・荷重条件を同定し、低コスト・軽量・短納期な分離機構の成立性を早期に検証する必要がある。

## ■ 研究目標

- 1段と2段の分離部や、フェアリング分離部等に適用可能な非火工品分離機構について、アイデアを募り、試設計を通じてその実現性を評価するとともに、量産コストを試算する。また、肝となる機構部分を評価するための要素試作を行い先行検証を行う。尚、発生衝撃レベルは1000G以下を目標とする。
- 分離部として想定する荷重条件は、1段/2段の段間分離等までの適用性を考慮した例として200N/mm（単位周長あたりの等価軸引張荷重）を想定する。これに対して低コストな分離機構を複数組み合わせる等の適用方法を含めて検討に取り組む。
- 駆動源については、非火工品をベースとする。分離機構の方式に応じた駆動源を組み合わせ提案いただき、コスト最小化の検討に取り組むこととする。
- 以上を通じた、技術課題と開発計画の設定までを本研究の目標とする。

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定する。
- ・ 試作評価においては必要に応じてJAXA所有試験設備を用いることができる（衝撃試験、振動試験等を想定）。

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 低コストかつ軽量、短納期、ITAR Freeな非火工品分離技術に加え、再使用性評価のための検査方法などを組み合わせた技術提案を歓迎する。
- ・ 地上マーケットにおけるロボット分野や土木・建築、災害復興等への事業展開にも応用・発展可能な技術を歓迎する。
- ・ 発生衝撃は低ければ低い方が望ましい。

## ■ 課題概要

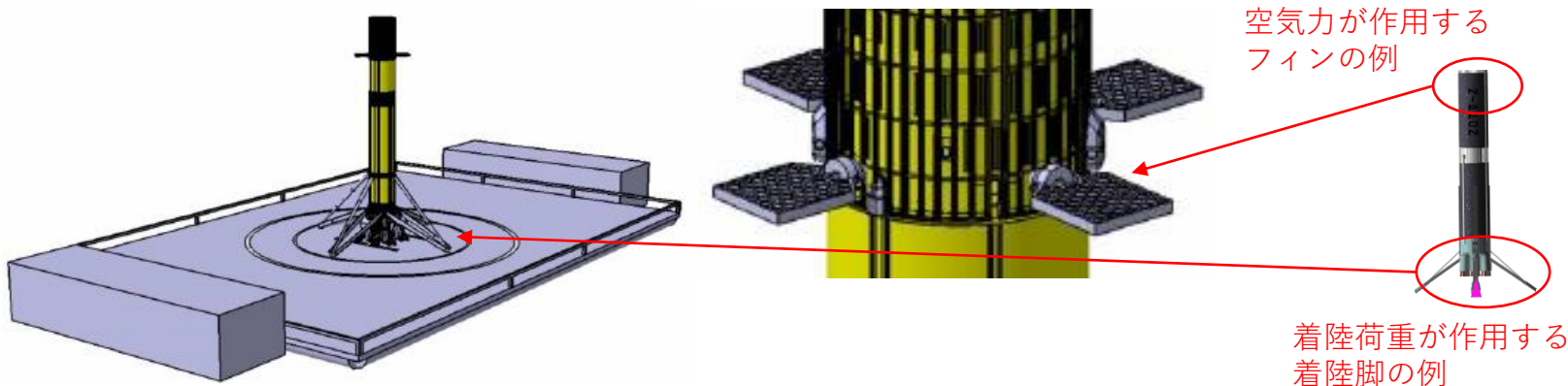
打上げたロケットを再使用する為には、機体の帰還・着陸を実現させる装備品（空力制御用フィンや着陸脚等）を追加する必要がある。これらの装備品は、宇宙輸送機のコストアップを避ける為に、低価格かつ軽量であり、高耐久性である物を追求していく必要がある。

また、これらの装備品は、飛行時にはコンパクトに折り畳み等で収納し、帰還や着陸時に展開するため、低温/高温・真空/大気中の環境で機能する展開機構、高荷重耐荷な構成部材、摺動/潤滑要素技術などが必須となる。

## ■ 研究目標

本テーマでは、今後設定する空気力が作用するフィンや機体着陸荷重が作用する着陸脚を例題に、

- ① 軽量かつシンプルな展開・折り畳み機構のコンセプトスタディを実施し、システムに採用した際の目安の質量・製造費用をまとめる。
- ② 上記コンセプトの実現性を確認する研究計画の策定として、適用可能な温度範囲、荷重条件、剛性、質量、環境条件などの確認項目を整理し、それを確認する要素試験/解析の計画を立てる。



## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定する。
- ・ サブスケール試作試験においては必要に応じてJAXA所有試験設備を用いることができる（荷重試験、剛性試験、振動試験等を想定）。

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 低コストかつ軽量の展開/折り畳み機構技術に加え、着陸脚を想定した接地部構造の技術や、着陸衝撃を吸収する衝撃減衰機構/ダンパー技術などを組み合わせた技術提案を歓迎する。
- ・ 地上マーケットにおけるロボット分野や土木・建築、災害復興等への事業展開にも応用・発展可能な技術を歓迎する。
- ・ 駆動用の動力系も含んだシステムとしての技術提案を歓迎するが、必須とはせず、展開/折り畳み機構系の要素技術としての提案についても歓迎する。

## ■ 課題概要

宇宙輸送費用を下げる為には、高頻度かつ多数回の打上げに对应していく必要があり、この打上げ数を機体の再使用化によって对应していくためには、再使用する為の機体整備期間を最小化する事を進めなければならない。ロケット等の宇宙輸送システムは部品点数が多く機体サイズも大きいので、短時間で広範囲の欠陥検出を可能とする技術を獲得することが必要である。

本テーマは、低コストな宇宙輸送システムの整備を実現する事を目的に、構造健全性保証手法の一部として、低コストで短時間に広範囲の欠陥検出が可能な欠陥検出技術のフェージビリティ検討と、それをもとにしたシステム構成の検討に取り組む。

今回取り組む欠陥検出手法の前提を以下に示す。

検出手法：機体取付センサ型（アクティブ/パッシブ含む）または外部画像からの欠陥検出型（機械学習等による検出口ジック含む）を想定。

材質：将来の宇宙輸送システムでも想定されるアルミ合金およびCFRPに適用可能であることが望ましい。

欠陥対象：機械的な表面欠陥やボルト孔周りのクラック等

## ■ 研究目標

・欠陥検出手法の提案し、適用可能な材質・検出可能な欠陥種類/精度・検査範囲・検査時間・検査コスト等を要素試験/解析により評価する。

・提案検出手法の機体システムへの適用方法を検討する。

（機体システム外観はJAXAにて提示するものを活用。）



## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ JAXAとともに、宇宙輸送機製造メーカーと適宜ヒアリングを行うことを想定。

## ■ 本研究テーマを実施するにあたり歓迎する技術

- ・ 宇宙機適用を目論み、飛行中に負荷される熱負荷履歴の評価や、内部欠陥（アルミ合金であれば溶接部の内部欠陥やCFRPであれば層間はく離等）についても応用できる技術を歓迎する。
- ・ 地上マーケットにおける構造物や建築物、航空機構造等の広範囲での事業展開にも発展・応用可能な技術を歓迎する。

## ■ 課題概要

- ・再使用型の宇宙輸送機では運用効率を最大化するため、再使用時の効率的な健全性確認や整備手法の実現が必要である。航空機等の他産業では従来より、複数回の運航を前提に整備計画を確立する手法を有しており、再使用型ロケットの整備運用計画を検討する際に多いに参考になる。
- ・本研究では、航空機等で活用されている手法を再使用型の宇宙輸送機に適用し、考えるべき整備運用方針、手順を抽出し、革新的将来宇宙輸送システムの初期段階の開発に反映することを狙う。なお、宇宙輸送機は生産基数・飛行回数ともに航空機等より数オーダー少ない一方で、耐荷すべき環境負荷は高い特徴を有するため、航空機等で活用されている手法を宇宙輸送機に適用する際に配慮すべき事項を合わせて検討していく。

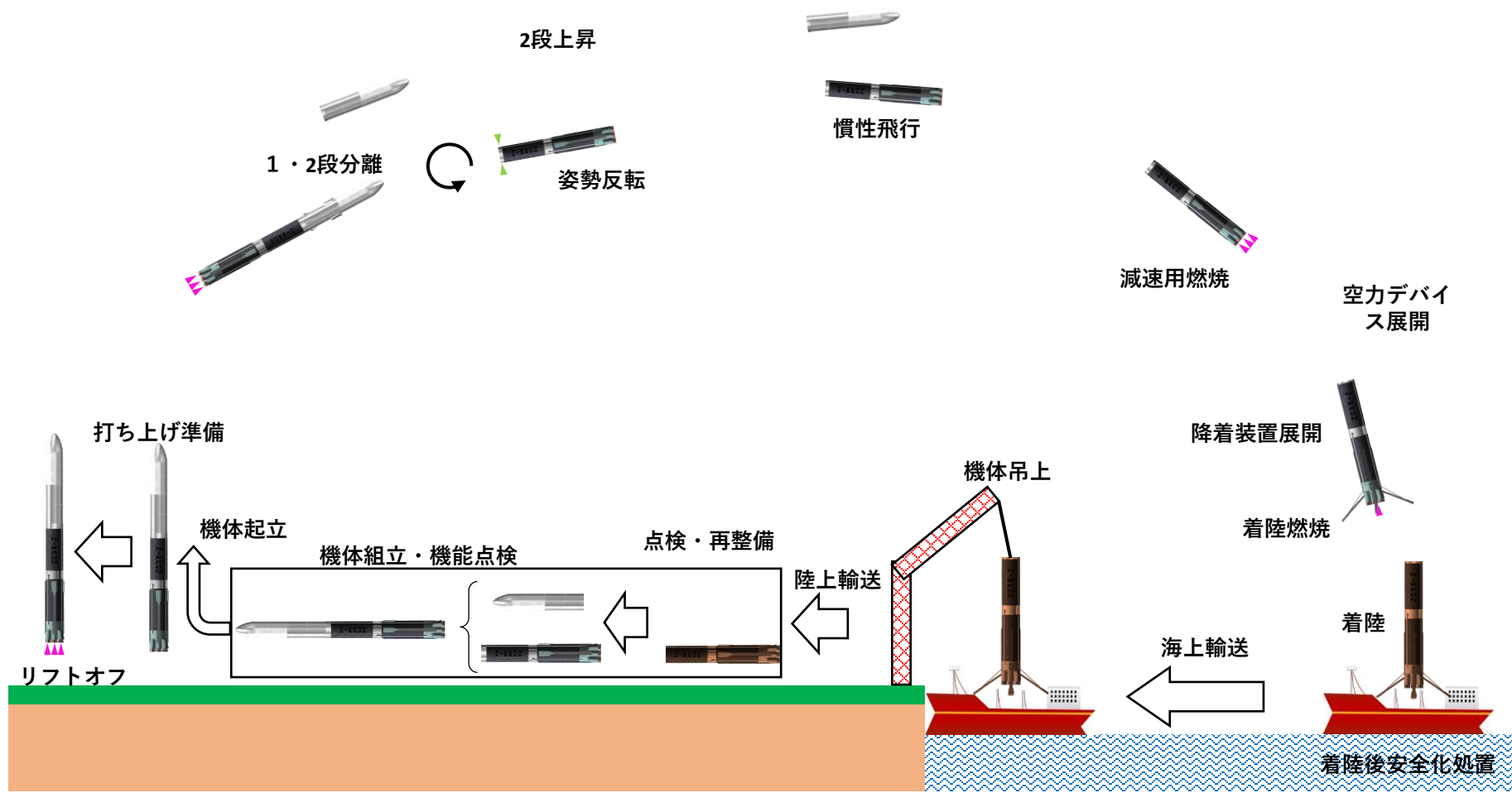
## ■ 研究目標

- ・運用整備計画構築手法に基づく再使用型ロケットの機能分解、運用コンセプトの整理
- ・運用整備計画構築手法を適応改修し、試行対象抽出と試行・課題整理

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・宇宙機側の機能要求や運用コンセプトについてはロケット側事業者と適宜調整の場をもつこととします。

チャレンジ型：総額300万円以下/最長6か月以内



## ■ 課題概要

- ・革新的将来宇宙輸送システムは、機体を再使用する事による低コスト化を狙っており、従来の使い捨てロケットと異なり地上や海洋に帰還する必要がある。この地上や海洋への帰還に係る機能を全て機体に持たせると、それ用に機体質量が増加し輸送能力が低下する。そのため、帰還機能を分担するシステムの採用により、機体の質量増加を軽減する必要がある。
- ・洋上で機体を回収可能で、帰還機能を分担できるシステムとしては船舶や航空機が候補になる。船舶については他用途の洋上船の共通利用など、航空機については農業ヘリコプタやドローンを含めた革新技術の適用可能性がある。
- ・本研究では、以下を適用対象とした洋上回収の候補手段のアイデアを募る。過去事例を見ると船舶が想定されるが、ヘリコプタ等で実現できれば着陸脚の削減による機体軽量化の可能性がある。左記を踏まえ、以下(a)、(b)両方、またはどちらかでも良いものとする。
- ・なお、回収する1段機体は付図1のものを想定する。

(a)船舶：50m x 50m程度の着陸ポートを有する。

着陸するまでにエンジンからの燃焼ガス（3000℃）が過渡的に当たることも想定する。

着陸時の1段機体の船舶に対する垂直方向の相対速度は5m/sを想定する。

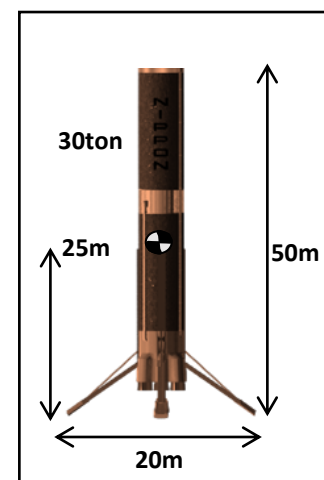
(b)ヘリコプタ or ドローン群：落下中の1段機体を回収する。

着陸時の1段機体の落下速度はパラシュートによる減速を加味して30m/sを想定する。

## ■ 研究目標

- ・洋上回収システム案検討

システム構成、回収可能海域、回収方式の検討



付図1 1段機体イメージ

## ■ 本研究課題を実施するにあたっての留意事項

- ・ 宇宙機側の機能要求や運用コンセプトについてはロケット側事業者と適宜調整の場をもつこととします。
- ・ 回収システムの運用コスト概算を推算して頂きます。