

資料1 研究課題

第4回RFP 研究課題一覧

No.	募集区分	研究課題件名
01	フィジビリティ研究	中温域と高温域で使用可能な軽量・低コスト断熱材の研究
02	フィジビリティ研究	耐雷CFRP技術のロケット適用に関する研究
03	フィジビリティ研究	メタン爆発威力評価に向けた数値解析技術の研究
04	フィジビリティ研究	エアブリージングエンジン構成要素の高性能化に関する研究
05	フィジビリティ研究	再突入後帰還技術(緩降下・着水/着陸・回収)の研究
06	フィジビリティ研究	有人帰還を想定した打上アボート後の運用シナリオと航法誘導制御の研究

研究課題共通事項

1. 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。
2. 課題解決に向けて部分的に対応できる提案も可能です。また、1つの研究課題に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。ただし、全体的に対応できるもののほうが評価上は有利になります。
3. 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。
4. 採択内定後、研究提案の内容に応じて、研究費額を上限の範囲内で調整することがあります。
5. 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。
6. 研究終了時には研究成果の評価を行います。課題解決研究の場合は、研究終了時の成果報告とは別に、研究実施計画で定めた研究ステージ毎に、研究の進捗や成果に関する評価を行うことがあります。評価の結果、JAXAが研究実施計画の見直し中止、延長等を判断することがあります。

1. 課題の背景

ロケットの再使用化を目指すにあたり、帰還時や着陸時には空力加熱に加え、エンジンの燃焼により機体を減速させるためエンジンからのプルーム加熱が機体に加わり、上昇時よりも厳しい高温環境に曝されることが想定される。そのため、機体は厳しい高温環境に耐える必要があり、機体をアルミ合金やCFRPで製造した場合は、高温環境から断熱保護するための熱防護が必要となる。機体の軽量化のためには、断熱材そのものが軽量であり、断熱性能や耐熱性能が高い断熱材が必要となる。

また、コスト面でも素材そのものが低コストであることが求められ、機体の大きさは数m規模であることから大型構造への施工性やメンテナンス性が良いこと(例えば、補修・交換が不要で再使用可能、補修・交換が容易でより安価な断熱材等)が重要である。加えて、打上げ・帰還・着陸フェーズの飛行環境で振動や衝撃などで脱落しないことも求められる。

2. 研究目標

中温域と高温域の断熱材を対象として、想定部位への適用可能性を検討する。

(A)中温域の想定部位：フェアリングなど (B)高温域の想定部位：エンジン部、着陸脚カバーなど

(A)(B)共通の目標

- 密度0.20g/cm³程度以下であること
- 熱伝導率0.30W/mK程度以下であること
- 板厚50mm程度以下の厚さで製造・施工可能なこと

(A)(B)個別の目標

- (A)耐熱温度400～600℃程度/数十秒オーダーを想定 (B)耐熱温度1000～1500℃程度/数十秒オーダーを想定
- 低コストに製造可能な見込みがあること(目安として1m²あたり(A)10万円程度 (B) 50～100万円程度。現状、一体製造可能なサイズが1m²であることが必須ではない。)コスト上昇の無い範囲で耐熱温度は高い方がよい

※大型(代表長1m程度)の供試体製造と3次元曲面形状への施工が可能な技術に繋がる研究提案であることが望ましい。製造可能なサイズは大きければ大きいほど良い

※耐熱性、断熱性に加え、雨滴等の衝突や水分浸入、塩水(潮風)、紫外線、砂塵に対する耐候性、高速気流中の耐酸化性、飛行中の機械環境や整備中の工具接触等に対する耐衝撃性があると好ましい

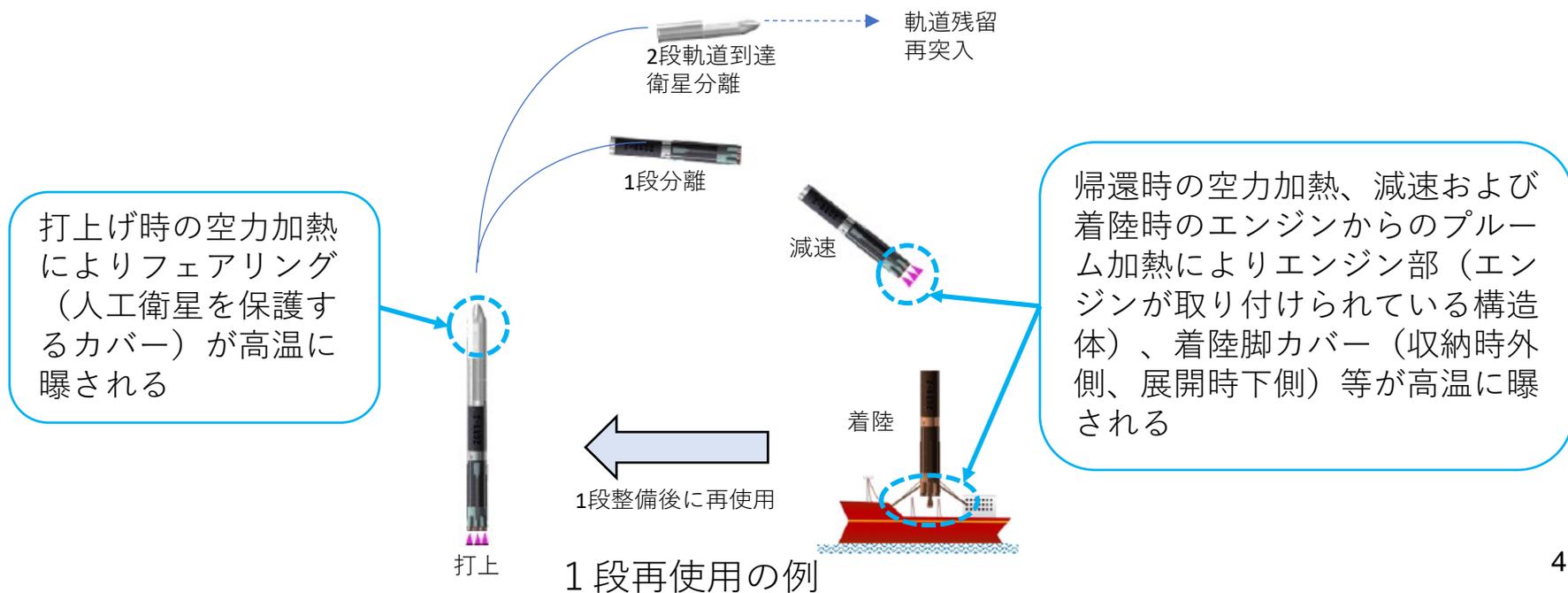
3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

- ・ 特になし

4. 歓迎する技術、想定する業種

(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

- ・高機能性材料・断熱材メーカー(耐熱・断熱素材の研究、断熱材の応用に関する技術・知見)
- ・大学・研究機関(材料研究・熱伝導解析等に関する技術、知見)



1. 課題の背景

現在、国内ロケットの打上げ時の天候制約のうち、雷に関する制約は、天候による打上げ延期の主要な要因の1つとなっている。今後、2030年代に実現を目指す次期基幹ロケットにおいて、再使用化を軸に大幅な打上げ頻度向上を目指していくためには、雷などの天候による打上げ遅延を極力なくすることが必須である。

さらには、再使用化のため帰還・着陸運用を実現する上では、打上げ時よりも着陸時点はさらに天候予測・判断が難しいため、単に雷を避けて運用しようとするれば、予測の不確定性から、従来以上に打上げ・帰還機会を逸することが増えてしまう可能性が高い。

一方、次期基幹ロケットはより一層の構造軽量化のために、CFRP構造の適用範囲が大幅に拡大することが想定されるが、CFRP構造は従来の金属構造と比較して直接雷によるダメージを受けやすいため、耐雷性を強化しない限り、従来通り厳しい雷制約を課さざるを得ない。

このような背景から、次期基幹ロケットの再使用運用における耐雷性強化と機体軽量化を同時に達成するために、耐雷CFRP技術のロケット適用性を課題として設定する。

なお、航空機等で適用される耐雷技術のロケット適用における難しさとして、以下の点を克服する必要がある。

- 推進薬による極低温から空力加熱による高温まで厳しい熱環境に曝される。
- 特に被雷が想定される機体先端部(フェアリング)はCFRPスキン/アルミハニカムサンドイッチパネル構造であり、航空機胴体ではあまりない構造様式である。

■ 直接雷

- 構造への直撃による破壊
→ 損傷低減策

■ 誘導雷

- プルームを介した誘導雷によるエンジンノズル等の損傷
→ ノズルの保護、補強等

■ 間接雷

- 電磁ノイズによる、機器損傷・システム誤動作
→ 構造遮断、配線シールド・ルート適正化、機器保護対策
- 火工品システムの誤動作
→ 同上

■ 防爆(燃料への誤着火防止が主な目的)

- 配管や継手・ジョイント部に流れる大電流によるスパーク
→ スパーク防止対策
- 外部からの電気配線に発生する大電流・電圧によるバルブ等機器の誤動作・スパーク
→ 電気配線の対策、バルブ保護対策



本研究では要素技術として
この部分を対象とする

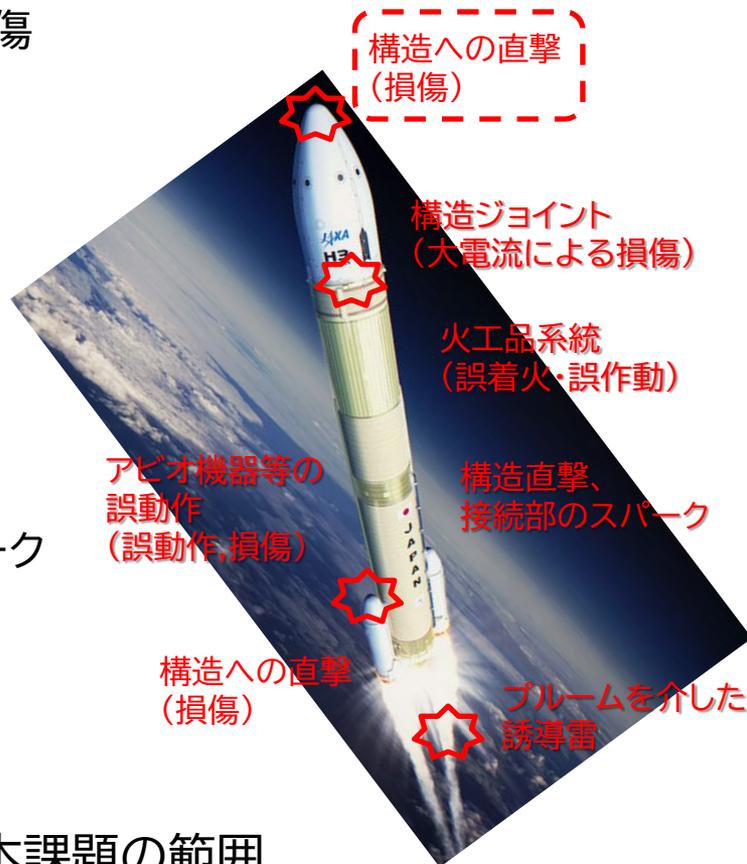


図1 ロケットシステム全体の耐雷性における本課題の範囲

※システム構成等に依存する部分もあり、赤枠以外の項目については参考。

2. 研究目標

本研究では、地上産業や航空機等における耐雷CFRP技術を再使用型ロケット構造に適用するために、金属メッシュ、導電性樹脂CFRP、導電性コーティングなど、候補となる手法に対し、その製造性や耐雷性を検討する。また、再使用のための修復方法を検討する。

特に、ロケット先端のフェアリングへの被雷を想定し、CFRPスキン/アルミハニカムサンドイッチパネル構造への適用を研究対象とする。

また、ロケット構造は軽量化が重要な特性であるため、耐雷性適用有無による質量インパクトが極力小さい耐雷CFRP技術を候補として、上記の検討により要素レベルの適用案と、それによる質量増減を示すことを目標とする。

またこれらの検討を通して、再使用型ロケットの耐雷設計基準の策定に向けたCFRP構造に関する技術的内容案を提案することを、もう1つの目標とする。

3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

研究成果は、現行の基幹ロケットや民間小型ロケットに対しても早期に適用することで、打上げ機会の拡大等の現状の課題解決に資することから、最終的なゴールについては再使用型の次期基幹ロケットとしつつも、段階的な成果の実機適用を目指したい。

そのため、共同研究を実施するにあたっては、JAXAとともに、既存ロケット打上げ事業者へのヒアリングを行ったり、成果の一部を開示することを想定する。

4. 歓迎する技術、想定する業種

対象とする技術は、2項にて「金属メッシュ、導電性樹脂CFRP、導電性コーティングなど」を例示したが、これ以外の技術であっても構わない。

ただし、質量インパクトが極力小さい耐雷CFRP技術を歓迎する。

また、ロケット先端構造であるフェアリングを想定し、CFRPスキン・アルミハニカムサンドイッチパネル構造に適用できる耐雷技術を歓迎する。

なお、3項の留意事項のとおり、可能であれば早期に既存ロケットへの適用をも目指したいため、上記の要素技術を適用した実際のCFRP構造部材の製造技術とセットでの提案を歓迎する。

(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

- ・高機能材料・複合材メーカー(CFRPの導電性向上や耐雷性強化のための材料開発に関する技術・知見)
- ・大学・研究機関(CFRPの雷撃による構造損傷の実験・解析等に関する技術、知見)

1. 課題の背景

将来的な官民のロケット推進剤候補として、メタンが一つの候補として挙げられるが、現行の安全基準はメタンに対応していない。ロケット推進薬の爆発現象は、各推進剤毎の燃焼・反応過程を含む現象であるため、他の推進薬の安全基準をメタンに当てはめることはできない。メタンに関する保安基準確立に向けては、メタン爆発時に生じるエネルギーの定量評価が鍵であるが、爆発に至るまでは複雑な過程(衝突・破壊・推薬混合・爆発等)を含むため、この評価は未だに実験ベースが主である。今後、推薬を大幅に増加させた場合における効率的な評価を見据えて、爆発時のエネルギーや爆風圧を数値解析的に評価できることが望ましいが、上述の複雑過程の解析内における効率的かつ定量的なモデル化、さらに地形の影響等を解析内で適切に反映することが課題である。



図. メタン爆発実験の例

2. 研究目標

将来的な射場保安距離算定を見据え、ロケット衝突/転倒時のメタン爆発に至る複雑過程をモデル化し、推薬混合比・推薬総量、さらには地形の影響を考慮した上で、メタン爆発時のエネルギーや爆風圧を定量的に解析できる手法の構築を検討する。

※ロケットの衝突・破壊・推薬混合・爆発までを一貫して解析できる手法が望ましいが、一部プロセスを対象とした解析技術の提案も認める。ただし、爆発エネルギー評価の解析過程は含める。

3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

- JAXAが実施したメタン爆発に関する実験データは開示をする。

4. 歓迎する技術、想定する業種

- メタン-酸素の化学反応縮退モデル
- 構造・流体・化学反応のカップリングモデル
- 大規模流体解析技術

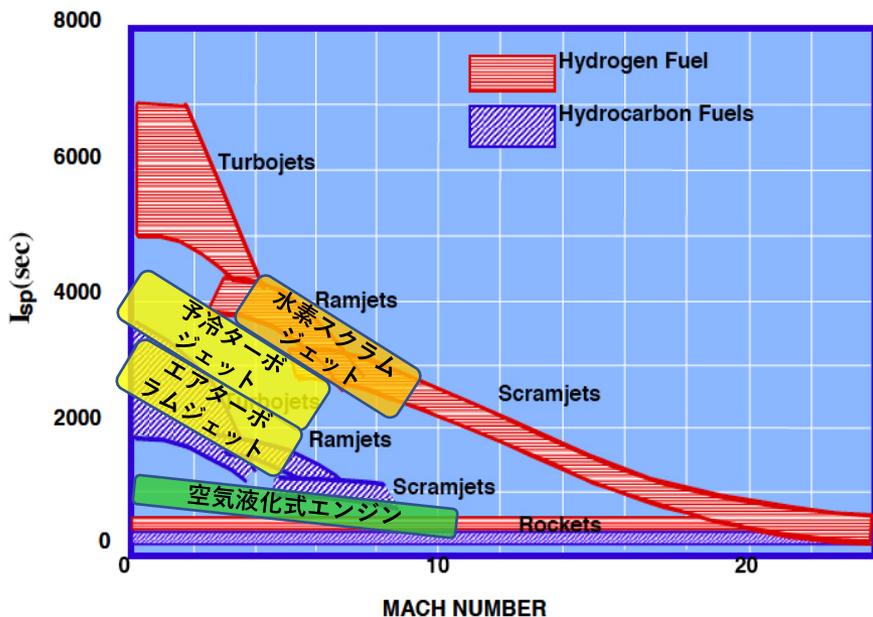
(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

- 大学・研究機関(爆発現象の数値解析、実験検証、モデル構築に関する技術、知見)
- CAE・数値解析ソフトウェア業界(爆発・燃焼・流体解析に特化したソフトウェアに関する技術、知見)
- 防災・安全技術関連業界(爆発防止、火災対策、リスク評価などの専門技術)

1. 課題の背景

大気中を飛行中に、ロケット周囲の空気を吸い込んで酸化剤として使用することで比推力を向上させる「エアブリージングエンジン」は、2地点間宇宙輸送などの用途を想定する将来の宇宙輸送システムでは飛躍的な性能向上と軽量化を実現する推進技術として期待されている。JAXAでは、ターボ機械による圧縮とラム圧縮を利用するエアターボ・ラムジェット、極低温燃料で空気を冷却することでターボジェットの作動速度範囲を拡大する予冷ターボジェット、ラム圧縮を利用するスクラムジェットの研究開発を進めている。また近年、国内の民間事業者においても、極低温燃料で空気を液化して酸化剤として使用する空気液化式ロケットエンジンの検討や要素技術の研究開発が進められている。

これらの研究開発では、エンジン全体の動作原理及び性能の実証を進めているが、社会実装に向けては、エンジン構成要素の性能、重量及び製造性を改善し、推重比等のエンジン性能向上や開発コストの低減などに繋げる必要がある。



エアブリージングエンジンの比推力

出典：Laurine Hillion, J. Parisse, A. Mangeot, Preliminary sizing and study of a hybrid rocket based combined cycle, Frontiers in Space, 7 June 2023



エアターボ・ラムジェット



予冷ターボジェット



スクラムジェット

2. 研究目標

エアブリージングエンジンの構成要素であるインテーク、燃焼器、熱交換器、推力ノズル(冷却方式等も含む)のうち、1個あるいは複数の組み合わせを研究対象として、高性能化・軽量化や製造性に資する新しいアイデアの適用を検討し、解析や要素試作によりフィジビリティ確認を行う。

各エンジン要素で想定されるアイデアの例を以下に示す。

- インテーク: 高速の空気を取り入れをさらに効率化する形状等
- 燃焼器: 空気と燃料の燃焼効率を向上する空気流等
液化空気と燃料の燃焼効率を向上させるための噴射器等
- 熱交換器: 極低温燃料の冷熱で空気を冷却または液化する際の効率を向上する形状等
- 推力ノズル: 推進効率を向上させる形状、新しい材料・構造様式や冷却方法、熱制御系等

【エアブリージングエンジン全体として目指す推進性能、重量】

推進性能(比推力)を5%以上向上、または重量を5%以上低減する。

3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

- ・ 共同研究契約に基づき、これまでにJAXAが実施した研究開発で得られた実験データ等を開示する予定。

4. 歓迎する技術、想定する業種

- 要素技術を確認するための小規模実験等を含む提案を歓迎する。
- JAXA角田宇宙センターに建設中で2026年春に運用開始予定の官民共創推進系開発センターを官民共創推進系開発センター※を利用する研究計画を歓迎する。

※ <https://www.kenkai.jaxa.jp/research/kakushinyusou/kyousoucenter/index.html>

(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

- 航空宇宙機メーカー(ジェットエンジンやラムジェット、スクラムジェットなどの開発に関する技術、知見)
- 高機能材料・複合材メーカー(耐熱性・強度・加工性を両立する軽量な素材に関する技術、知見)
- 解析・ソフトウェア業界(空力設計や燃焼解析に必要な数値解析技術に関する知見)

1. 課題の背景

地球低軌道以遠の宇宙空間からの帰還の際、大気圏再突入後に機体を亜音速から着水/着陸可能な速度まで減速・緩降下させ、その後着水/着陸衝撃から搭乗員及び機体を保護する信頼性の高い技術が必要となる。また、着水/着陸点から搭乗員および機体を回収することも必要である。

日本では、はやぶさやHTV搭載小型回収カプセルなどにおいて、同技術が開発されたが、有人輸送にも対応できる大型化や複数の冗長系を持った信頼性の高い技術開発の取組は未だ十分に実施されていない。

2. 研究目標

緩降下システムの大型化・高信頼度化、着水/着陸時の衝撃緩和、確実かつ迅速な捜索・回収など、有人輸送にも対応できる信頼性・安全性の高い技術を獲得することを目指し、下記のシステムアーキテクチャ等の概念検討を行う。また、必要な技術課題を識別し、課題解決のための計画を策定する。なお、帰還技術(緩降下・着水/着陸・回収)の全般に対する提案が望ましいが、一部に関する提案も認める。

- 冗長性を配備する等高い信頼性を持った大型緩降下システム
- 着水/着陸衝撃から搭乗員および機体を保護するための衝撃緩和技術
- 帰還時に宇宙船を早期に発見し、海上や陸上から搭乗員や機体を安全に回収できるシステム

本研究の全体計画は以下の作業を想定する。そのうち本フィジビリティ研究では以下①までを対象とする。

- ① 日本国内での運用を前提に信頼性・安全性の高い大型の緩降下・着水/着陸・回収系のシステムアーキテクチャの概念検討と識別された課題解決のための計画を策定する。
- ② ①で検討したシステムアーキテクチャに基づき、BBM等で緩降下・回収等のコア技術に対する要素実証を実施する。

フィジビリティ研究

総額500万円以下/12ヶ月以内

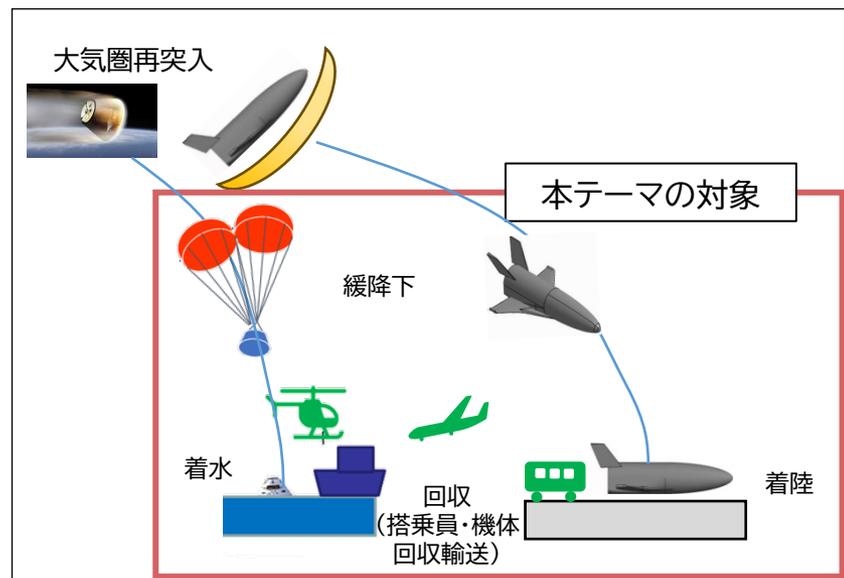


図 帰還技術概要

3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

- ご提案頂いたシステム(形状等)に基づき、研究における具体的な数値目標(信頼度等)について、JAXAと協議の上、決定することを想定。
- 有人宇宙船システム側の諸元や搭乗員インタフェース(環境条件等)も同様にJAXAと協議の上決定することを想定。
- 本テーマでは有人帰還への適用も念頭に、物資輸送に比較して大型・高信頼性・低衝撃環境が求められることに留意されたい。
- 共同研究を実施するにあたっては、JAXAとともに、有人宇宙機システム事業者へのヒアリングを行ったり、成果の一部を開示することを想定。

4. 歓迎する技術、想定する業種

- 信頼性・安全性に関する知見
- パラシュート・滑空等の緩降下技術
- 着陸・着水衝撃緩和・保護技術
- 飛翔体の追尾技術
- 海上・陸上における搜索・回収技術
- 飛翔体の空力特性に関する知見
- 緩降下・着水/着陸・回収や他システムと機能統合した融合技術のアイデア

(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

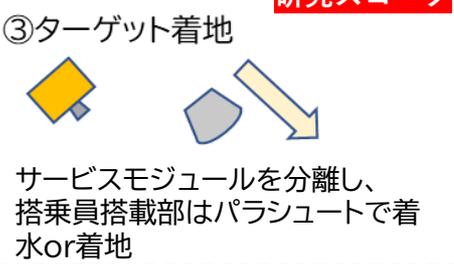
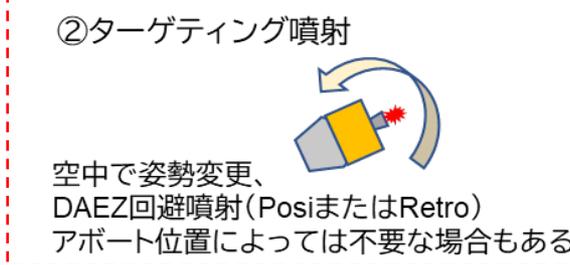
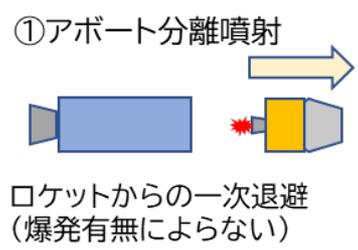
- 緩降下技術に関して、航空機部品メーカー、繊維・複合材メーカー、制御系メーカー
- 衝撃吸収技術に関して、衝撃吸収・安全装置メーカー
- 搜索・回収技術に関して、海上輸送・回収業者、ヘリ・飛行艇輸送業界、ドローン探索業界、通信業界
- 防衛装備、海上保安関連業界

フィジビリティ研究 総額500万円以下/12ヶ月以内

1. 課題の背景

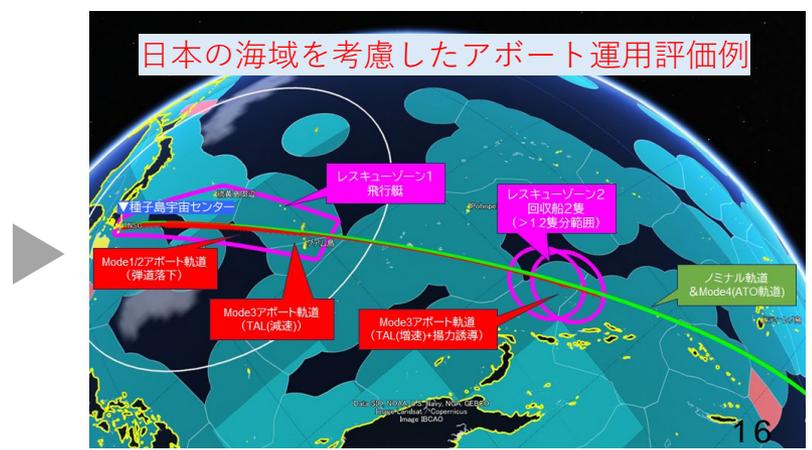
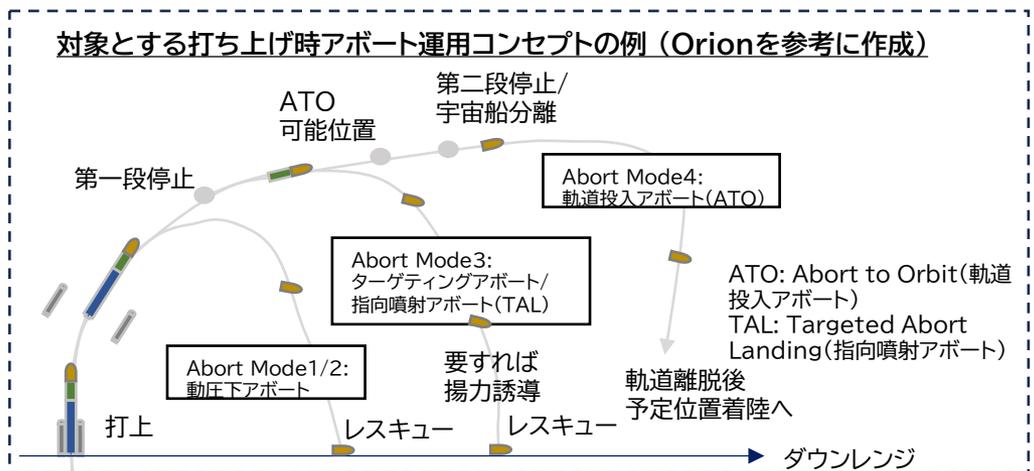
有人輸送実現に向けた搭乗員の安全確保の観点で、有人宇宙輸送のロケット打上げ異常時に、搭乗員を安全に帰還させることは、重要である。
異常が発生したロケットからの切り離しを伴う緊急退避(打上げ時アボート)実施後、安全に回収目的地(事前に設定したレスキューチームの待機する太平洋の海上または島を想定)に帰還させるためには、レスキューのための運用シナリオ、人体への加速度環境、海域設定、推進系仕様を考慮の上、航法誘導制御検討が必要であるが、このような有人輸送特有の設計方法は日本ではこれまで十分な研究が行われていない。

<参考> 研究テーマ全体像



研究スコープ

(DAEZ: Downrange Abort Exclusion Zone)
※ 打上げ時アボートモード設計やレスキューシナリオについては、JAXAと協議の上、設定すること



2. 研究目標

打上げ時アボート実施後、一部・または全ての打上時アボート発生タイミングに対し、ロケット機体から分離・退避した有人宇宙船を航法誘導制御する技術の概念検討を行う。

- ・ 運用シナリオと航法誘導制御上の基本機能・性能の実現手法の具体化(GNCロジック含む)
- ・ 航法誘導制御に必要となるハードウェア(センサ、アクチュエータ構成)の識別
- ・ 必要となるシステム上位への要求識別(例: 回収海域、推進系能力)

本研究の全体計画では以下の作業を想定する。本フェージビリティ検討では以下①までを対象とする。

- ① 日本国内での打上アボート後の運用シナリオの設定と、それに基づく航法誘導制御上の基本機能・性能の識別、機体形状・特性に対応した航法誘導制御の成立性検討
- ② ①にて設定した運用シナリオに対する有人宇宙船、ロケット、地上・回収システム間の機能・性能配分検討に活用できる、Model-in-the-loopによる誘導制御系解析モデルの構築

【有人宇宙輸送特有の検討条件】

- ✓ ロケットの打上げフェーズすべてにおいてアボートは発生する。
- ✓ アボートが宇宙船に生じさせる不安定状態から復帰(姿勢安定化)する
- ✓ 回収困難な海域等、危険な領域を回避する地上誘導を行う
- ✓ 宇宙船内の人体に負荷される重力加速度を、人体が耐えられる範囲内に抑える。

3. 共同研究を実施するにあたっての補足事項

- ・ JAXAが保有する安全評価手法や解析ツールの組みあわせにより、定量的なアボート成立性評価を実施することができる。
- ・ 有人宇宙船システム側の諸元や、ロケットから切り離された後の宇宙船の初期条件は、JAXAと協議の上決定することを想定。
- ・ 共同研究を実施するにあたっては、JAXAとともに、有人宇宙機システム事業者へのヒアリングを行ったり、成果の一部を開示することを想定。

4. 歓迎する技術、想定する業種

飛翔体の揚力誘導制御技術(宇宙機(再突入機、ロケット))に限らず、航空機等、分野は問わない。)

(想定する業種) ※以下以外の業種からの提案も歓迎します。

- ・ 航空宇宙産業(飛翔体の航法誘導制御に関する技術や知見)
- ・ 無線通信業界(地上誘導技術、航空誘導に関する技術や知見)