22KT003789_1

# 検討報告書
# 「2040年の社会ニーズに対応する有人宇宙輸送サービス構想と必要技術の検討」

## 【シンポジウム報告用】

2022年6月6日

川崎重工業株式会社
航空宇宙システムカンパニー
航空宇宙ディビジョン
防衛宇宙プロジェクト総括部
宇宙システム設計部

Kawasaki
Powering your potential

# 目次

1. 目的
2. アウトプット要求
3. 結果
   3.1 検討フロー
   3.2 輸送システムの体系（諸元）設定
   3.3 技術課題の抽出、整理（分類、TRL、差別化）
   3.4 主要技術課題の研究・開発計画立案

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# 1. 目的

一般社団法人 宇宙旅客輸送推進協議会殿（以下、SLA）からの委託契約「2040年の社会ニーズに対応する有人宇宙輸送機サービス構想と必要技術の検討」において検討作業を実施した。

その検討結果を本書にて報告する。

なお、検討は以下適用文書に従い実施した。

適用文書

［1］PKG2-2021-KHI-Rev.NC　仕様書

［2］PKG2-2021-000-NC

「2040年の社会ニーズに対応する有人宇宙輸送サービス構想と必要技術」検討（PKG2）要請へのインプット

SLA : Space Liner Association

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# 2. アウトプット要求

適用文書［1］［2］で定義されるアウトプット要求を以下に示す。

**a**

本PKG2へのインプットに基づき、輸送インフラや輸送サービス、輸送システムを含めた輸送体系の将来像を構想し、これを実現するための技術要件を具体化(定量化)することを要請

*具体化の対象は大量高頻度の宇宙輸送が事業として成立するための輸送サービスや運航形態、安全性の担保等幅広い視点での検討を期待

**b**

aで構想した将来像の実現に必要な主要アーキテクチャ及びその選択肢、クリアすべき技術課題の抽出及び難易度やリスクを現時点の技術レベルと比較して整理することを要請

*アーキテクチャとは採用するシステムや推進など輸送機を構成する技術のことで複数の可能性や組み合わせがあることを共有。これらのうちから選定する方法および抽出・検討する選択肢の件数や相互の比較については受託者の裁量で行うことを期待

**c**

aで構想した輸送事業が2040年にサービス・インすることを条件とし、bで検討した主要技課題に対して事業立上げ時の判断に使用できる技術レベルまで向上させる解決策としての研究・開発計画の立案を要請

*事業立上げ時点は現在~サービス・インまでの中間時点(およそ2030年)と設定し、研究開発計画は研究開発・実証等の課題解決ステップとそれらの難易度やリスク、規模感の見える化を要請(綿密な費用見積は求めない)

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.1 検討フロー

アウトプット要求に対応するため、以下に示す検討フローにて検討を実施した。

**a)輸送体系の将来像構想**

- a)-1　輸送システムのトレードオフ【3.2.1】
- a)-2　輸送システムの体系（諸元）設定【3.2.2】

↓

**b)技術課題の抽出／整理**

- b)技術課題の抽出、整理（分類、TRL、差別化）【3.3】

↓

**c)主要技術課題の研究・開発計画の立案**

- c)主要技術課題の研究・開発計画立案　【3.4】

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.2.1 輸送システムのトレードオフ

高頻度大量輸送を実現する輸送システムを定義するため、以下に対してトレードオフを実施した。

- ○段数　単段式／２段式
- ○翼形態　有翼／翼なし
- ○離着陸方式　水平／垂直

評価は、マーケットドライブの観点から、以下項目に対して実施した。

- ・有人旅客輸送
- ・インフラ整備
- ・安全性

トレードオフの結果、輸送システムとして以下を定義した。

**単段式／有翼／水平離着陸　方式**

ただし、LEO輸送を視野に入れるためには、技術的観点から2段式も必要となるため、以降の検討は2段式も考慮することとした。

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# 3.2.2 輸送システムの体系（諸元）設定

a)輸送体系の将来像構想

**PKG1からのインプット条件、及び民間航空機市場の分析方法／結果等を踏まえて、宇宙輸送の中でも最も需要が高いと想定されているP2Pをベースに以下のフローで輸送システムの諸元を設定した。**

| | |
|---|---|
| ニーズ | 現在の長距離路線を調査し、1機当たりの旅客数を想定する。 |
| 搭載量 | •旅客数とPKG1インプット条件から1機のペイロードを設定する。 |
| 最低必要機数 | •旅客数とPKG1インプット条件から最低限必要となる機数を設定する。 |
| 運用必要機数 | •整備期間、打ち上げ成功率を考慮し、運用に必要な機数を設定する。 |

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.2.2 輸送システムの体系（諸元）設定

a)輸送体系の将来像構想

旅客輸送に対する検討結果を表A、物資輸送に対する検討結果を表Bに示す。

表A. 旅客(貨物混載)輸送（検討結果）

| 検討項目 | 結果 | 条件/備考 |
|---|---|---|
| 旅客数 | 45人/機 | - |
| 旅客+乗務員総重量 | 5.2 トン/機 | 旅客重量　　：109kg/人(※1)×45人<br>運航乗務員重量：93kg/人(※1)×2名<br>客室乗務員重量：93kg/人(※1、※2)×1名 |
| 物資輸送を混載する場合 | 5.7トン/機 | 物資重量　　：450kg/機 |
| 最低必要機体数 | 61 機 | 目標数値に対して最低限必要な機体数 |
| 運用必要機数 | **110 機** | 整備日数及び間隔を考慮した場合 |
| 総飛行回数 | 22,330 回/年 | 110機×203日 |

表B. 物資専用輸送（検討結果）

| 検討項目 | 結果 | 条件/備考 |
|---|---|---|
| 物資重量 | 5.0 トン/FLT | 運航乗務員：93kg/人×2名を除く |
| 最低必要機体数 | 6 機 | 最低限必要な機体数 |
| 運用必要機数 | **11 機** | 貨物専用の航空会社による運用を仮定した場合 |
| 総飛行回数 | 2233 回/年 | 11機×203日 |

※1：手荷物の重量を含む、※2：IATA規定により、乗客50人あたり1人以上の乗務員が必要

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.3 技術課題の抽出、整理（分類、TRL、差別化）

設定した輸送システムに対し、**必要な技術課題を洗い出し、**

- **分類（機体成立性 or 運用利便性）**
- **技術成熟度(TRL : Technology Readiness Level)**
- **差別化可否**

**（海外／民間の先行者と差別化でき、強みとなりうる技術であるか）**

**について整理した。**

また、各技術課題について、**以下に基づき研究開発優先度を識別**した。

| | | 差別化可否 | |
|---|---|---|---|
| | | × | ○ |
| 技術成熟度 | 低（1～3） | HIGH | HIGH |
| | 中（4～6） | MED | |
| | 高（7～9） | LOW | |

**→差別化できる技術課題は技術成熟度によらずHIGHとする。**

**→分類（機体成立性or運用利便性）では優先度の識別はしない。**

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.4 主要技術課題の研究・開発計画立案

3.3項に示す技術課題から**主要技術課題について、研究、開発計画を立案する**が、これらと並行して、これらの成果を取り込みながら実施する全体システム検討も必要であるため、以下２つについてまとめる。

- ○**全体システム検討**
- ○**主要技術課題**

## 【全体システム検討】

全体システム検討として実施すべき下記項目に関する、研究、開発計画を次頁に示す。

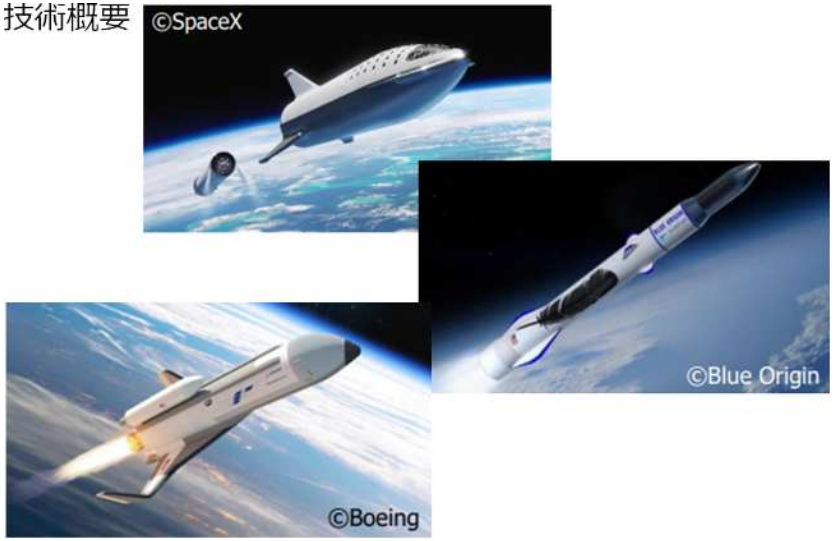
**機体コンフィギュレーション選定に向けたシステム検討**

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# 技術課題　機体コンフィギュレーション選定に向けたシステム検討

| 整理番号：－ | 全機システム | 機体コンフィギュレーション選定に向けたシステム検討 |
|---|---|---|

技術概要




**○技術概要**

- **左図に参考例を示す通り再使用型の有人輸送機については多様なコンフィギュレーションが提案されている状況にあるが、我々は将来の多頻度大量輸送を目指し、その目的を達成可能な有人輸送機の機体コンフィギュレーションを、有効性・実現性の観点から、システマティックに選定する技術が必要になる。**

**○技術課題**

- **現時点で提案できる機体形態は、機体成立性確保のキー技術の進捗を各社にて予測したものに偏りがちであるため、並行して自ら研究開発を促進し、将来達成可能と見込まれる技術について進捗・成果をSLA活動も通じて精度よく予測し、機体コンフィギュレーションを決定してゆく技術が必要**

| 現在のTRL：３ | 分類：機体成立性 | 差別化可否：○ | 研究開発の優先度：HIGH |
|---|---|---|---|

**研究開発の動向**

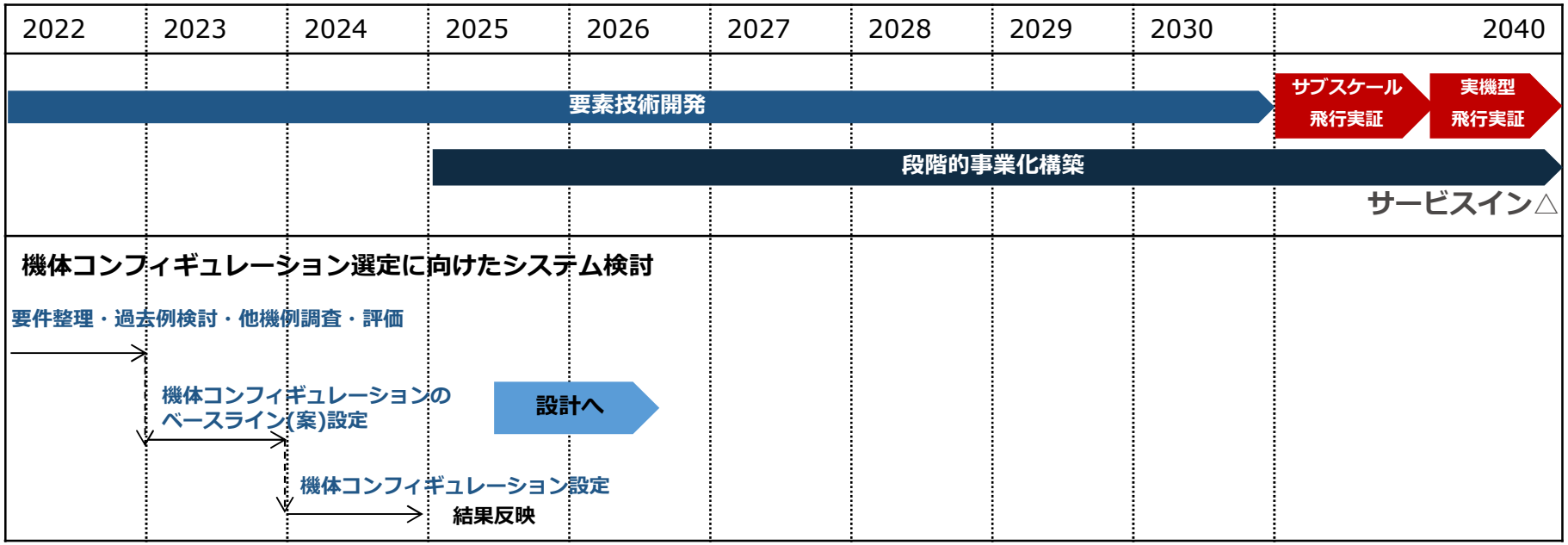
- **左図に示される低コスト化が最重要な評価項目であるが、高頻度運航の可能性、空港の立地と活用可能性、要素技術課題の難易度、有人安全への対応可能性、等を評価軸とするトレードオフを行うことが必要。**

- **最近になって、より重点が置かれる環境適合性、カーボンニュートラル等の観点から、全ての要件を満たすものでなくとも、より適したシステムを選択することで、運航者側にも、利用者にも、規制を行う国に対しても納得感を得られやすいシナリオを構築しつつ、システム設計に反映することが必要である。**

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# 技術課題　機体コンフィギュレーション選定に向けたシステム検討

## 研究開発スケジュール 及び 概算費用




（2022年度）要件整理、過去例検討・他機例調査、及び評価

（2023年度）機体コンフィギュレーションのベースライン（案）設定

（2024年度）機体コンフィギュレーションのベースライン設定

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

3. 検討結果

# 3.4 主要技術課題の研究・開発計画立案

## 【主要技術課題】

3.3項に示す技術課題のうち、
研究開発優先度HIGH（右図）の中から、
特に実施すべき項目として以下を選定し、
各課題について研究、開発計画を立案した。

| 研究開発優先度 | | 差別化可否 × | 差別化可否 ○ |
|---|---|---|---|
| 技術成熟度 | 低（1～3） | HIGH | HIGH |
| | 中（4～6） | MED | |
| | 高（7～9） | LOW | |

**①亜音速～極超音速空力特性推定／設計技術**
**②着陸誘導技術**
**③着陸制動技術**
**④装備品の電動化及びモジュール化技術**
**⑤有人環境制御技術**

各主要課題とも、2022年度に構想検討を実施し、より詳細な研究・開発計画を立案するとともにコストの精緻化を実施するべきと考える。

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# おわりに

本業務実施にあたり、弊社は宇宙機の開発に加え、官需／民需の航空機開発で得た知見を活かし、かつ民間航空機市場分析の結果なども踏まえ、運用（マーケットイン）、開発／製造（プロダクトアウト）の視点から検討を行った。

抽出した技術課題のうち、弊社が深堀できた課題は航空機開発に偏ったところもあり、今後形成される有人宇宙輸送サービスの実現には、インフラ整備、運用／安全、法整備等オールジャパンでの取り組みが必要であることを再認識した。

また、PKG-1作業結果に示される有人宇宙輸送サービスの市場規模は約10兆円と現在の航空輸送市場規模の10分の１以下であり、これを持続的な産業とするためには、市場の立ち上げとともに拡大も必要な命題となり、それを見据えた投資等も必要と考えられる。

SLA殿を中心とする今後の有人宇宙輸送サービスの構築において、引き続き弊社は持てる知見／技術力を生かし、様々な方面から貢献していきたいと考えている。

© Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

# Powering your potential

Kawasaki