

## 将来の宇宙輸送系に関する私見

～革新的将来輸送システム実現に向けたロードマップ検討会向け提示資料～

2020.12.02 IHI エアロスペース：牧野 隆

## 1. 輸送システムの定義とは

本来の意味での宇宙輸送システムの定義とは、

- ① 人が乗れる
- ② 出発点へ帰還することができる
- ③ エネルギー（燃料）を供給すると、繰り返し移動ができる

の3点と考える。

## 2. ユーザーからみた“革新的輸送システム”とは

開発する立場では無く、使う立場で言う“革新的”とは、

- ① 使いやすい（乗りやすい）＝特殊な訓練なしで乗れる＝加速度が穏やか？
- ② 安価である＝現状の1/10以下のコスト、宇宙旅行＝国際線1stクラス並み？

2点と考える。

## 3. 時間軸のイメージ

P2P（高速2地点間移動）を含めた時間軸は、

- ① 2022年代：再使用機による弾道宇宙旅行開始（来年？）
- ② 2030年代：再使用機による宇宙ステーションへの軌道上観光旅行開始
- ③ 2040年代：P2P（高速2地点間移動）開始、HND-CDGが2時間？

のイメージを想像。

## 4. 輸送事業の市場規模

輸送事業の市場規模は、いろいろな数字を推定する団体がありますが、えいやっと言うと、

- ① 2018年：エアライン：搭乗者：43億人、単価0.2K\$/人、市場規模850B\$/年
- ② 2030年：弾道宇宙旅行：10万人、50k\$/人、5B\$/年
- ③ 2040年：軌道上宇宙旅行：1万人、500k\$/人、5B\$/年
- ④ 2050年：P2P（現在のビジネスクラスと思う）：1億人、10k\$/人、1000B\$/年

革新的技術が生まれて価格破壊が起きる → 大きなマーケットが作られる、 or  
大きなマーケットが見える → 価格破壊が可能な革新的技術に投資する  
(鶏と卵の関係！)

## 5. 実現する方法論（私たち工学系の課題）

地球から低軌道までの輸送系は、2タイプのシステムが考えられる。

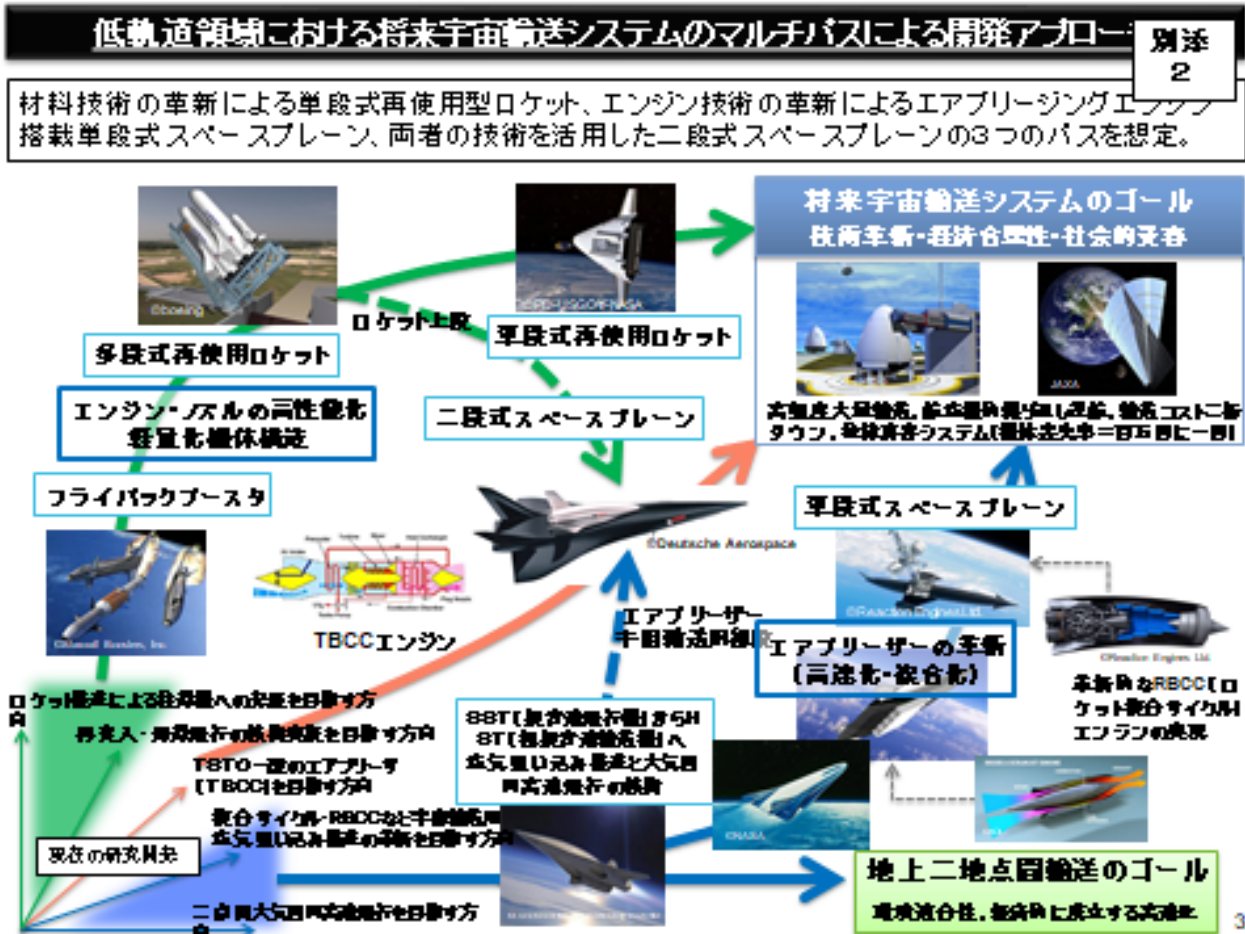
大気を避けるタイプ vs. 大気を積極的に活用するタイプ

機体： ロケットタイプ（空気抵抗最小） vs. 航空機タイプ（揚力利用）

エンジン：ロケットエンジン（酸化剤もすべて搭載） vs.

空気吸込みエンジンタイプ（酸化剤として大気中の酸素を利用）

参考：宇宙輸送システム長期ビジョンからの抜粋



## 6. アメリカの民間会社

Falcon-9+Crew Dragon システムは、不完全な再使用であったり、出発点と回収点が別であったりするが、1項で示した”宇宙輸送システム“の定義を満たしつつある。しかし、搭乗するには訓練が必要であり、ロケットとしての輸送価格は 1/2 程度であり、2項の”革新的“を満足していない。今更、Falcon-9 の後追い研究を進めるのか???

## 7. 革新的宇宙輸送システム

やはり、今後 20 年を俯瞰した“革新的”宇宙輸送システムの研究開発は、空気吸込みエンジンを搭載した航空機型の研究開発を開始すべきと考える。P2P をゴールとして上記の図で示す右下青いラインの極超音速旅客機開発のアプローチを進め、宇宙への輸送手段としては2段階スペースプレーンとして革新的宇宙輸送システムを目指すのが適切と考えます。

最後に、私たち宇宙関係者は、航空や防衛との交流が少なかったことを反省し、添付のHYPR研究（1989年から10年間、マッハ5までのコンバインドサイクルエンジン）の研究成果や、防衛装備庁で実施されている“スクラムエンジン”の研究成果などの、ALL-JAPANが持つ技術的 inventory の整理が必要と感じています。

以上

● R & D of Combined Cycle Engine

The combined cycle engine is a combination of turbojet and ramjet engines to enable a flight from takeoff to Mach 5. Turbojet engine functions up to Mach 3, while ramjet engine from Mach 2.5 to 5.

The target of this project includes integration of techniques for aerodynamic/structural designs, performance prediction, variable geometry design, and control system to combine the ramjet and turbojet engines. Target engine configuration was selected under joint studies among the three domestic member companies and the four foreign participants.

Based on the results of component studies and researches on ramjet and turbojet engines, demonstrator combined cycle engine will be manufactured and operated in GE's altitude test facilities (ATF) for overall system verification in the final stage of this project.

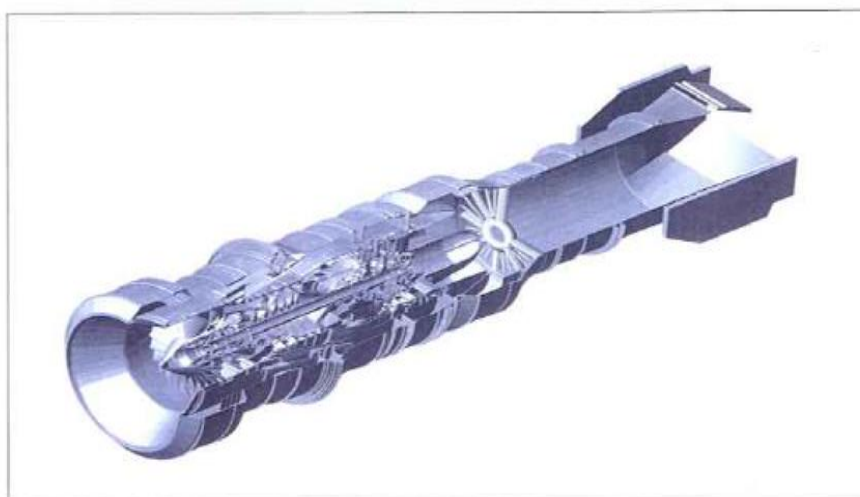
● コンバインドサイクルエンジンの研究開発

コンバインドサイクルエンジンは、離陸からマッハ5までの飛行を可能とするターボ系とラム系を複合したエンジンで、マッハ数ゼロから3まではターボ系エンジンが用いられ、マッハ数2.5程度から上ではラム系エンジンを作動させるシステムです。

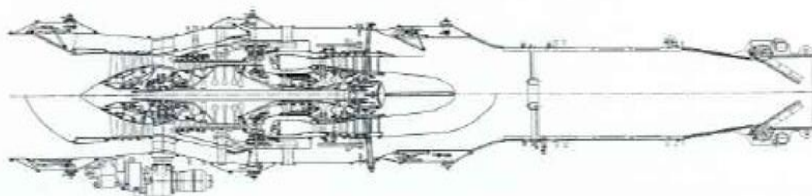
研究開発目標は、ラム系およびターボ系エンジンを統合し、空力/構造設計、性能予測、可変機構設計、制御システム技術を統合することにあります。国内3社および海外4社の協力によって目標エンジンの形態選定を行いました。

さらに、要素研究、ラム系・ターボ系エンジンの研究成果をもとに試験計画に沿ったコンバインドサイクルエンジンを試作し、最終段階ではGE社にて高空性能試験(ATF)を行い、総合的な性能試験を行います。

マッハ数5の  
コンバインド  
サイクルエンジン  
Mach 5 Combined  
Cycle Engine



コンバインドサイクルエンジン (CAD)  
Combined Cycle Engine (CAD)



コンバインドサイクルエンジン  
Combined Cycle Engine

超音速輸送機用推進システム技術研究組合のパンフレットから抜粋しました