
宇宙輸送意見交換会の活動状況

資料5-1
研究開発局宇宙開発利用課
革新的将来宇宙輸送システム実現
に向けたロードマップ検討会
(第5回) R3. 2. 10

有人旅客輸送(P2P, 宇宙旅行)の目標設定と 事業化のためのインプレメンテーションの議論

第5回宇宙輸送システムロードマップ検討会
2021年2月10日

稲谷芳文・中須賀真一

-
- 補足：
- 1.意見交換会からの宇宙基本計画改定に向けた提言
 - 2.スペースXの「再使用」について
 - 3.日本に技術的な能力はあるのか？

「将来輸送系意見交換会(勉強会)」(2019-20年度)の議論経過

「将来輸送系意見交換会」開催の動機

- …政策委員会輸送長期ビジョン(2014年4月)から5年経過し新たな状況での議論必要
- …新基幹ロケットH3の開発終了を迎える時期に備え, 次の議論をしておくべき
- …内外の状況の大きな変化(民間の宇宙活動の伸展, 国と民間の新しい関係, 国際有人探査の新しい状況, 安全保障環境の変化など)を踏まえた対応必要

意見交換会メンバー:

発起人(稲谷, 中須賀)

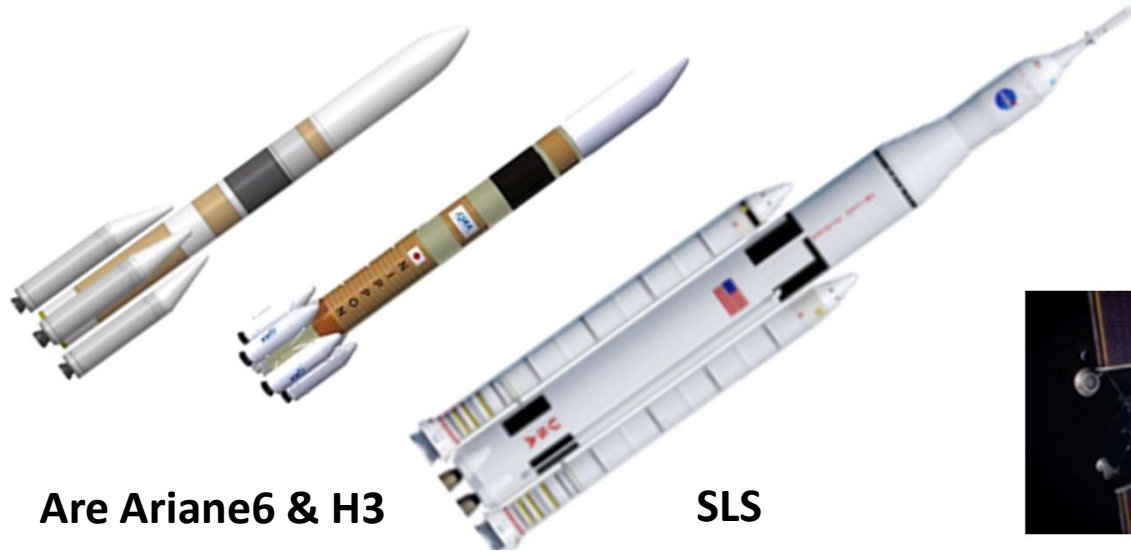
参加者: 輸送・衛星レガシースペース(15), ニュースペースビジネス/ベンチャー(15),
国・府省(10), JAXA(20), 大学(10)…各回約70名(人数は概数・6回開催の平均)

意見交換会第一回に提示した議論すべき論点案

1. 日本の基幹ロケットはアメリカの民間などとの競合や併存の中で, どう運営していくのか?
2. 次の時代に向けた輸送系のR&D投資や有人輸送の方向性は如何にあるべきか?
3. 民間の活動の伸長と国の支援や関与, 国と民間の役割分担の今後はどうあるべきか?
4. 国際有人月火星探査の土俵での輸送分野において日本の役割を如何に定めるべきか?

意見交換会での議論のための背景

日米欧の国主導の輸送手段の現状とArtemis計画の輸送エレメント



Are Ariane6 & H3

SLS

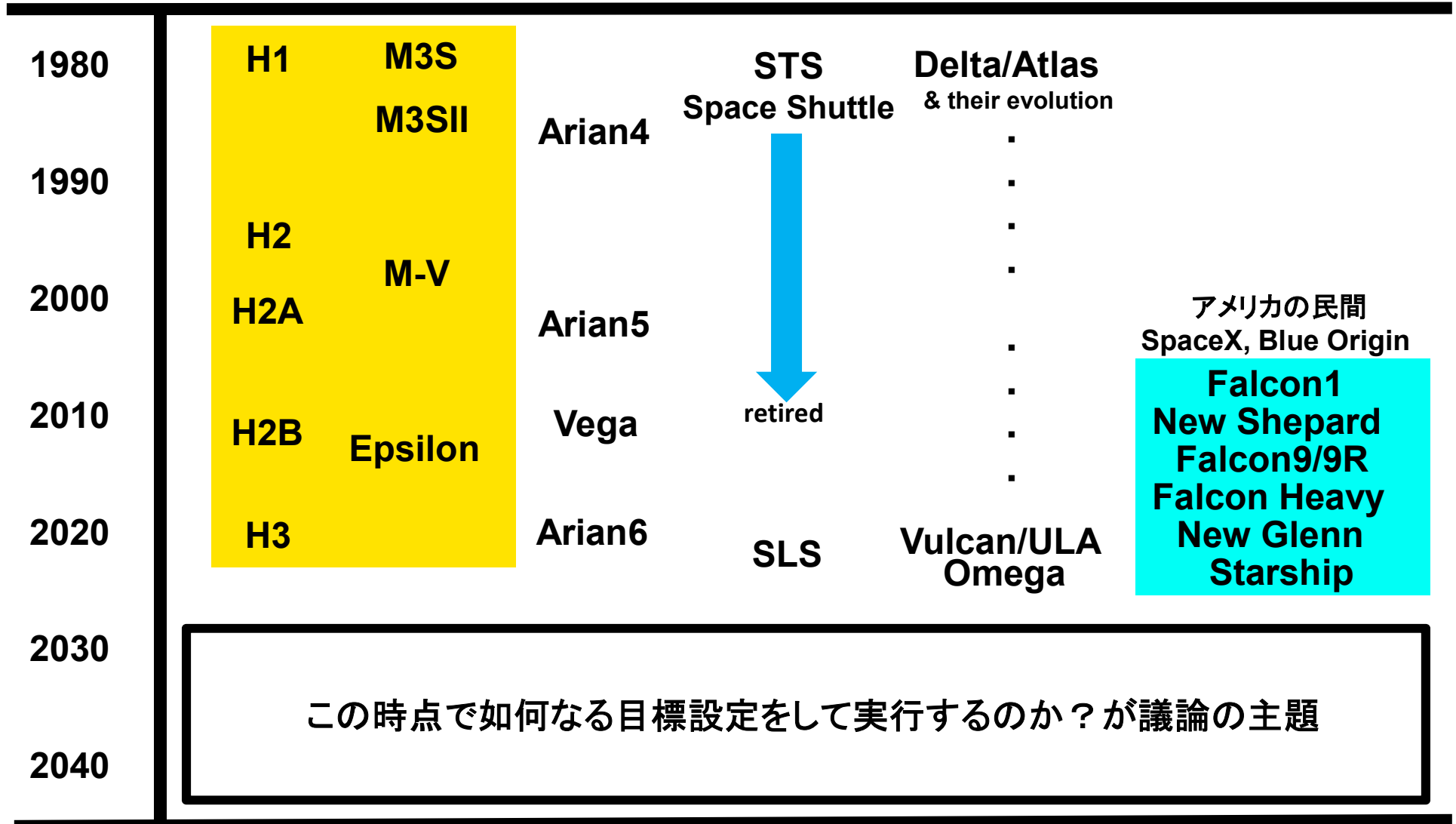


Space-X, BlueOrigin の商業打ち上げや月・火星を目指す独自プロモーション



現在までのロケット開発の流れと次へのスコープ

(中国・ロシア・インドは除く, 小型・超小型ランチャは除く)



世の中を前に進めた仕事の例(航空宇宙関連とその他の世界)と実現に要した時間

第二次大戦後民間航空輸送が「誰でも海外旅行」の世界を作るまで:1945-1970

民間旅客機:欧・エアバスがボーイングとの2強体制を作るまで:1970-2000

アリアンスペースが商業衛星打ち上げ市場で重要な役割を果たすに至るまで:1980-1995

スペースX社の創設から衛星打ち上げマーケットを支配し有人輸送を事業化するまで:2002-2020

新幹線計画着手から全国に輸送ネットワークを構成するまで:1955-1990

GPSが本来の目的を超えて民生の世界で様々な革新を起こすに至るまで:1973-2000

インターネットが世の中のいろいろな仕組みを変えるに至るまで:1982-2005

リニア新幹線の研究開発から実用まで:1990-2027

シャトルの運航開始後次の世代の再使用往還機が就航するまでに要した時間:1981-??

アポロから次の有人月着陸までの時間:1969-??

新しい試みが、新しいマーケットを生み出し、経済的に事業が成立する世界を作り、世の中を前に進めることができる。10年-20年という時間は技術が成熟してうまくマーケットを刺激すれば実行に十分な時間である、と言う例が多い。マーケットと無縁の国威発揚や技術ドライブのR&Dは一過性の営みに終わる。



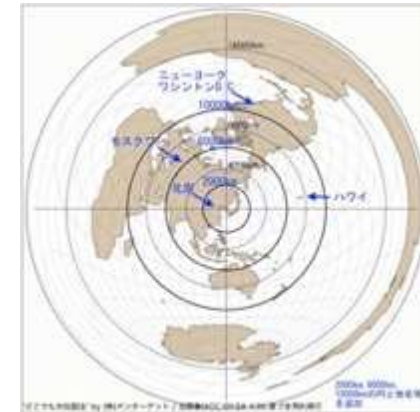
目標設定の考え方(イノベーションによる輸送モードの進化と言えるほどの目標設定)

10-20年の時間スケールで、世の中を前に進めるような規模や内容のゴール設定をする
有人宇宙輸送が一般化するような巨大なマーケットの創出と、大きな投資を引き出す
高度な技術によって先行するアメリカ民間などを凌ぐ目標設定とする

目指すべきゴール設定(2030-2040) 有人旅客輸送のマーケットの創出と新しい輸送体系の構築

・ P2P大陸間高速輸送

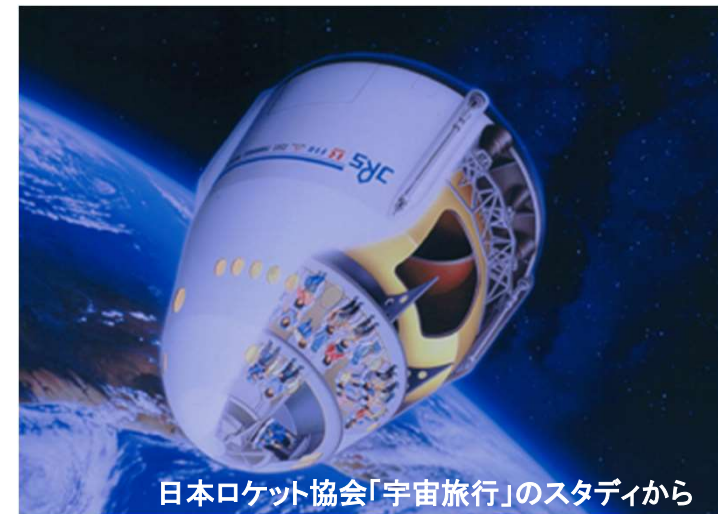
10時間以上の航路の航空旅客数=1.5億人/年
この内1~10%の旅客が高速輸送を選択=百万から千万人が利用/年
切符一枚ファーストクラス並み=1-200万円
年間売り上げ=1兆~20兆円規模の市場
<http://www.thespacereview.com/article/3680/1>



主要大都市間を1-2時間以内で飛行

・ 一般大衆の宇宙旅行

年間旅客数=100万人
切符一枚=1-200万円
ワンフライト経費=1億円
乗客数=50人
運航=60機のフリートを毎日運航
年間売り上げ=1.3兆円(日本国内)
世界では10兆円規模



日本ロケット協会「宇宙旅行」のスタディから

マーケットドライブの 事業化ゴールを達成するためのシステムの要件

一般大衆の宇宙旅行, P2P大量高頻度輸送(年間100万人輸送)などの
目指すべきマーケットから導かれる運航システムへの要求

輸送コスト = 1フライト ~ 1億円 (現在の使い捨てロケットの1/100)
宇宙旅行・長距離高速飛行の切符1枚 = 100~200万円

機体の飛行間隔	=	毎日飛行
輸送人数の規模	~	年間100万人 = 1日3000人 (e.g. 50機のフリート運航)
機体の再使用回数	>>	1000回 (チケットプライスと減価償却の考察から)
事故確率(機体喪失率)	~	1 / 100万 departure = 民間航空輸送並み

これらの要求を満たす輸送体系を構築するため, マーケットの要求からバックキャストしてシステム形態・技術ソリューション・R&D計画や事業計画を考える. 技術ソリューションとしてどのような形態や方式などを採用するかは, 開発の難易度や経済合理性で決めることである.

大量高頻度の有人旅客輸送と有人安全性をもたらすシステム構築のために必要な技術

シャトルの次に向けた発展のために多くの投資が1990年代になされ、宇宙輸送を航空輸送の世界のような高頻度繰り返し運航を実現し大幅な輸送コスト低減を図るために克服すべき技術課題は同定されている。実行に向けて、マーケット要求(前頁)を満たすシステム形態を選定し、これに応じて内容の取捨選択と研究目標の設定により研究計画を立案する。これらの先端技術の獲得と適用により、先行する米民間などを凌ぐ航空機的高頻度大量輸送ゴール設定を達成することが出来る。



スペースシャトル



有人輸送の安全技術
安全基準と制度整備
高頻度繰り返し飛行運用技術



極低温ロケットエンジン
高性能, 長寿命
運用性, 整備性の両立



超軽量化構造と
極低温推進剤タンク
機体の複合材化



高度補償ノズル
による推進性能向上

再突入帰還飛行に耐える
耐熱材料構造・冷却
軽量化と耐久性, 整備性の向上



大気圏内極超音速飛行
空気吸込エンジンの進化

第6回までの宇宙輸送意見交換会(2019-2020)での議論要旨

有人輸送の持つ桁違いに大きなマーケットのポテンシャルを引き出す様な計画とし、P2Pから宇宙への旅客輸送への連続性を条件とする。

これらのマーケットドライブの要求を満たすため、有人輸送の体系構築と運用・事業化までを視野に入れ、段階的発展のプロセスによって2040年までに新しい輸送やサービスを日本の基幹産業とすることを目指す。

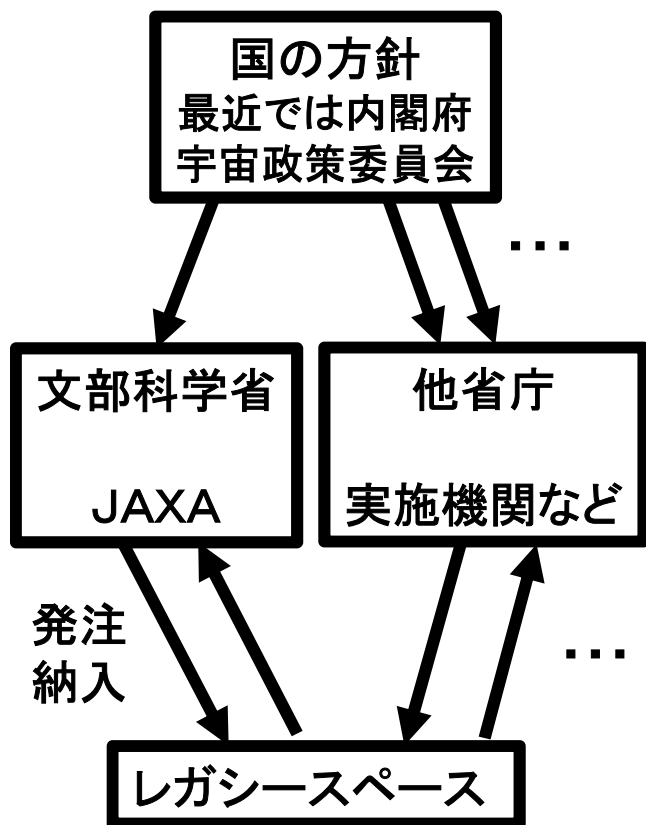
先行するアメリカ民間などに比べ、高いレベルのゴール設定や高度な技術によって差別化することのできるソリューションを導く。

従来为国主導の宇宙計画でなく、民間主導で推進する開発・事業計画に、国がカッシングエッジの研究開発や制度整備で貢献するような、民間と国の新しい関係と実行体制を具体化する。

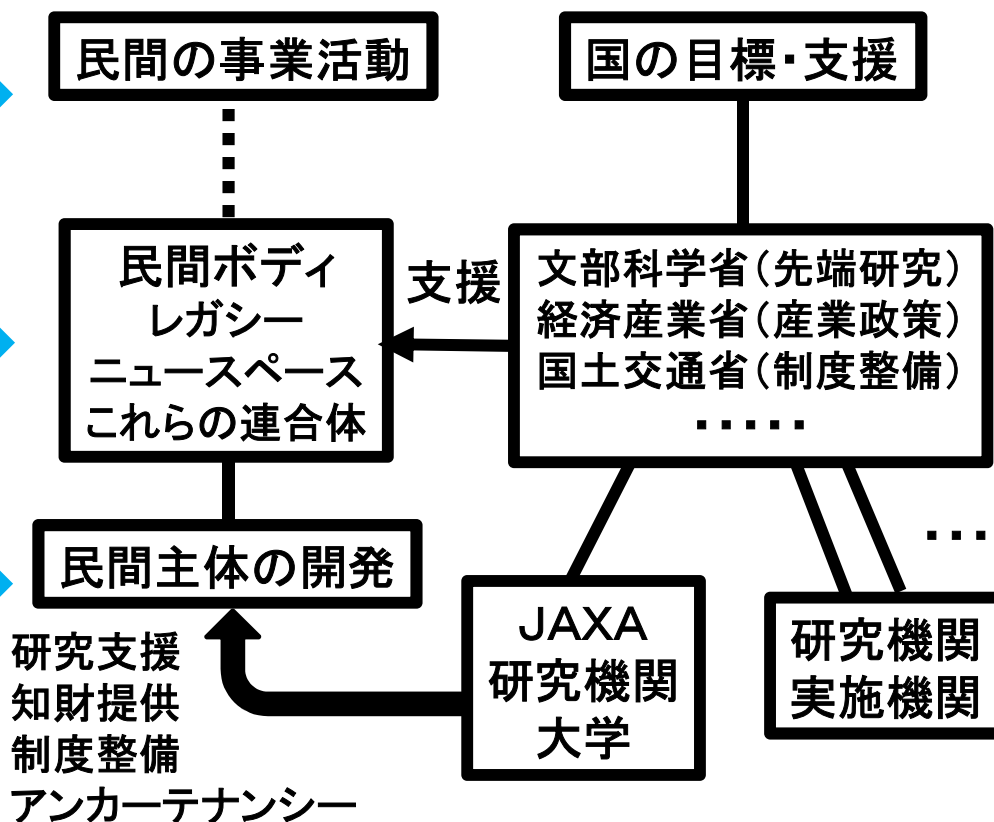
宇宙輸送のゲームチェンジ

国の宇宙開発からマーケットドライブの民間主導の活動への転換

これまでの宇宙の仕事



これからの宇宙の仕事
(輸送の将来をイメージ)



ゴールへの到達のイメージ＝ゲームチェンジへのトランジション

2020 2021 2022 2023 2024.....2030.....2040

意見交換会
局長諮問委
宇宙基本計画など
ゴール設定と
インプレの議論

(組織名などは仮)

有人旅客輸送研究開発組合
民間実行ボディによる段階的事業実行への発展

P2P・宇宙旅行の
事業展開と
ゴール達成

国(各府省), JAXA, 大学など
研究開発, インフラ/制度整備, アンカーテナンシーなど
民間による事業化へのトランジション支援

民間と国の
新しい関係
の構築

民間による
ビジネスの拡大と
輸送マーケットの成長
(円/年)

10兆
1兆
1000億
100億
/年

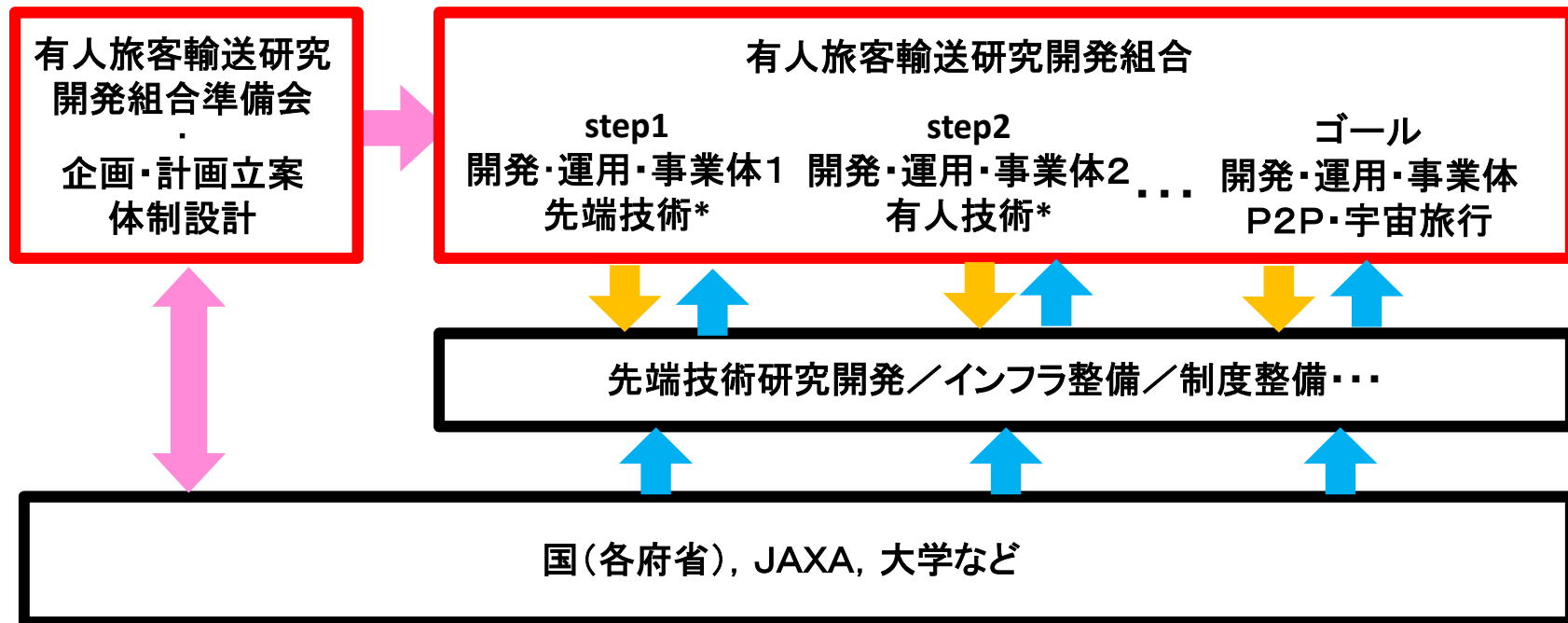
↑ 事業化 アンカーテナンシー ↑ 事業化 アンカーテナンシー ↑ 事業化

段階的進化のための
各stepでの投資規模
のオーダ(億円)



民間主導・国支援プラットフォームの体制構築（組織名などは仮）

準備会から組合を設置，民間資金，国のサポートを得て，組合の主導（または組合と一体で）民間主導の実行ボディ（企業体）を機能させ，段階的な発展を図る図式を考える．組合と事業体の関係，国の活動や支援とビジネス/ファンドレイズの関係などは要議論



#: 有人旅客輸送の高い目標設定と先端技術による差別化によってもたらされる．各stepでの実行内容はP2Pから宇宙旅行という最終ゴール達成の目的に整合する内容とする．同時に先端技術開発プログラムもゴール達成の要請から実施内容を決めて行われる．↓

##: 国の投資および投資による成果は，組合を通じてあるいは直接に実行事業体に提供される ↑

*: 第1，第2stepでの実行内容や事業内容は仮の例である．

論点と今後の課題 → 準備会のタスクへ

輸送の不連続的イノベーション, マーケットの定量化とマーケットドライブのゴール設定, および大きな投資の対象となるようなビジョンを描き, 結果として日本の勝ちワザを作るためのムーブメントを如何に起こすか=世の中への発信

技術や制度整備とビジネスモデルの間のブリッジ=民間中心の事業実行体制と, 国と民間の新しい関係の構築(リスクマネーを含めた投資の獲得と国の支援体制の獲得)

有人輸送開発と実行のイニシアティブと責任をとるボディの必要. 有人輸送に対する安全基準, 制度整備の主体.

技術革新と高いレベルのゴール設定による先行者との差別化=先端的技術成熟計画=国(文科省)の投資

広範囲のサポート獲得...世の中の支援, エアライン, 旅行業界, エアポートビジネス, 水素社会に向けたコミュニティ...

国際共同の可能性, 独自遂行の強い意志と共同の戦略・戦術が必要.



The best way to predict the future is to invent it.
Alan Kay

補足1:宇宙基本計画改定に向けた意見交換会からの提言

将来輸送系意見交換会
2019年4月-12月
次に向けたゴール設定の議論

意見交換会からの提言(要約)

<https://www.mext.go.jp/kaigisiryō/content/000036456.pdf>

1. 大きなマーケット開拓につながる宇宙旅行やP2Pなどの事業化ができるような目標設定をすること
2. 段階的な発展の計画を立案し, 初期段階の実行を速やかに行うこと. 各段階で事業化が成り立つ計画とし, 国から民間事業へのトランジションを促すこと. 2030-40年に日本の基幹産業とすること.
3. 民間事業として有人輸送が実行可能な安全基準の策定などの制度整備を行うこと.
4. 国は高度な研究開発, 実行インフラの提供や制度整備を, これを活用して民間が事業化する, という新しい国と民間の関係を構築する.
5. これらの輸送体系の構築に際し, 国際有人探査の輸送や安全保障分野との関連を考慮すること.
6. 高いレベルの実行を担う人材の育成と実行基盤の充実, およびその連続性に十分な配慮をすること.

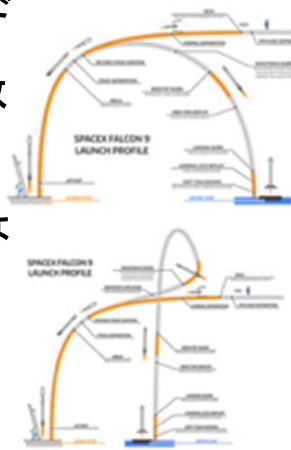
内閣府宇宙基本計画改定
2020年7月

民間ビジネス, 輸送の抜本的な低コスト化, 有人輸送, P2Pなどへの言及

補足2:スペースX:ファルコン9とStarshipの「再使用」

ロケット一段目の再使用の技術を実用化した。開発には試作機(2012年)から2015年までの3年間程度で実行。1機の再使用回数はこれまでのところ最大で5回程度、再使用インターバルは大多数は100日以上で最短は45日、最長は400日。現在6機体制で運航だが初期の着陸失敗の多い時期を除いても、10-20回の打ち上げに一回程度の機体喪失で、補充の製造を行っている。ロケット打ち上げコストの低減は1割程度と言われている。一方で一段を再使用することによって、打ち上げ性能は2-30%の低下。

ファルコン9の、日欧を含む他の衛星打ち上げサービスに比した優位性は、この再使用化がコスト低下または競争力のもとと象徴的には見られている。ところが実際は、国の補助や打ち上げ価格の国と民間顧客に対する二重価格の許容、黒字化より市場支配を優先などの営業的な事業運営の手法によるところが大きいと言われる。



Starship(軌道投入帰還機)とSuper heavy(第一段)と言う全段再使用の構成で、アポロのサターン5に比べても巨大な2段式システム、大推力(200トン)2段燃焼メタンエンジンを多数クラスターで使う。一段はファルコン9と同様の帰還再使用、二段は地球周回軌道および月軌道からの帰還も考えている模様。有人仕様は100人の搭乗と言う構想。2段目は軌道上で別のタンカー機から燃料充填によって月火星に到達する。月火星に着陸後の地球帰還についても検討されているが構想の段階。

開発にはシャトル並みの高度な技術や開発手法が必要だが、国主導やNASAの開発プロセスに捕らわれず、民間ならではの迅速な意思決定や大胆な試行錯誤の方法で、スピード感高く、行われていると言われる。この方法で高度かつ大規模な開発が実行できるか注目される。

現在の航空輸送のような宇宙旅客輸送の事業化には年間100万人、毎日100機飛行などという高頻度大量輸送が必要とされるが、このような二段式巨大システムや非脱炭素燃料で航空機的高頻度運航や環境対応が実行できるか、社会が受容するか意見の分かれるところ。



