

**資料2-2**

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
宇宙開発利用部会  
将来宇宙輸送システム  
調査検討小委員会  
(第2回) R2. 1. 30

# 宇宙輸送コミュニティにおける次の目標設定の議論と提言について

宇宙開発利用部会  
将来宇宙輸送システム調査検討小委員会(第2回)  
2020年1月30日

稲谷芳文  
「将来輸送系意見交換会」発起人

## 「将来輸送系意見交換会」の議論の経過

### 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

「将来輸送系意見交換会」として産民学官の実行者, 実行者予備軍, 有識者を集めて会合を催すことを企画. 会合はインフォーマルな自由討論の場とし, 今後の上位での検討議論の場に生かしていくことを目指し, 4, 6, 9, 12月の4回の会合を実施.

### 意見交換会メンバー:

発起人(稲谷, 中須賀) 協力: 文部科学省研究開発局

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・4回の平均)

### 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方向性(議論の内容の一部は補足に掲載)

世の中にゲームチェンジを起こすような大きな目標を設定すべき

輸送コスト 1/100 を目指し、マーケットドライブの宇宙活動や輸送体系の構築／新たなマーケットの創出をゴールとする。

地上と地球周回軌道間の輸送を中心に考え、月火星など地球周回軌道以遠における国際有人月惑星探査や安全保障への貢献を視野に入れる

アメリカの民間宇宙活動などとの差別化と技術革新による競争力の強化を目指す

マーケットが求める輸送サービスの提供を目的とすべき。技術ソリューションはその手段あるいは結果であって目的ではない

民間投資による宇宙活動の進展を踏まえ、国の役割と民間の役割および相互の新しい関係を構築する。ニュースペースや民間の独自活動の成熟を支援し、先導する



国の研究開発を高いレベルに保ち、日本の輸送系がアメリカの民間を含め、他に対して競争力を持つために必要なゴール設定のあり得る可能性を提示する

国と民間それぞれの活動や役割が変化していく中で、国の研究開発と民間事業の取り組みをどう連動させていくかのスキーム作り(国主導, 官民共同, 民間支援, 民間主導…), および民間の自主的活動を支援する仕組みを考える

## 世の中を前に進めた/ゲームチェンジを起こした仕事と必要な時間の例

---

第二次大戦後民間航空輸送が「誰でも海外旅行」の世界を作るのに要した時間

1945-1975

民間旅客機:欧・エアバスがボーイングとの2強体制を作るまでに要した時間

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時間

1980-1995

スペースXが衛星打ち上げマーケットを支配するのに要した時間

2002-2015

---

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のに要した時間

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のに要した時間

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-??

アポロが月に降りてから次の有人着陸までの時間

1969-??

---

# 新しい輸送需要の例とマーケットの規模の予測

## 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)

「観光丸」のスタディから



## P2P大陸間高速輸送

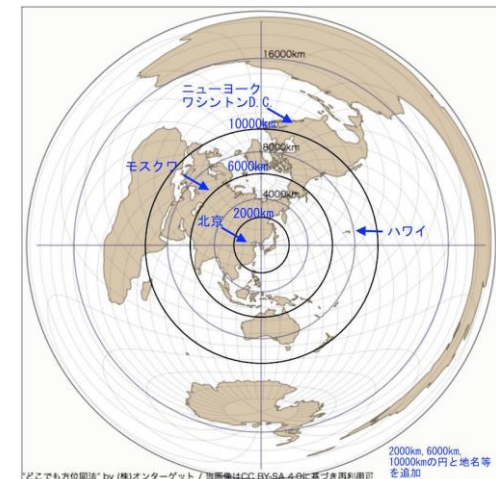
10時間以上の航路の航空旅客数=1.5億人/年

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=2兆円以上の市場

<http://www.thespacereview.com/article/3680/1>



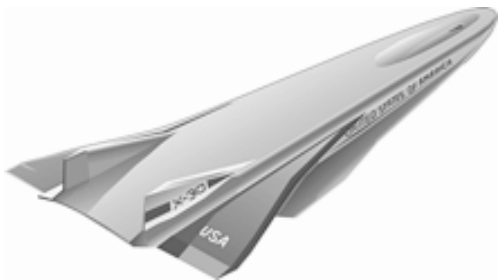
主要大都市間を1-2時間以内で飛行

# 一般大衆の宇宙旅行, P2P大量高頻度輸送(年間100万人輸送)の 目指すべきマーケットから求められる機体システムへの要求

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
地球軌道への輸送規模	>>	100 ton・1000人/日 (何10機のフリート運航)
機体の再使用回数	>>	1000回
事故確率(機体喪失率)	<<	1/1000000? (航空機並みの安全性)

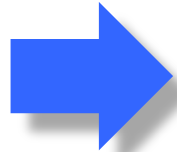
これらのマーケットドライブのシステム要求を, 次の時代の宇宙輸送システムを目指すべき「技術のゴール」とする. どのような機体形式や推進形式にするかは, 結果としての技術ソリューションの選択の話しであって, 上記要求を満たすものの中から, 開発の難易度や経済合理性で決めればよいことである.



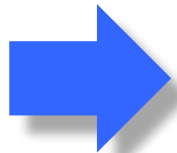


## 2桁コストダウンをもたらすシステム構築のために必要な技術

シャトルの経験を踏まえ、次の世代の完全再使用輸送機に必要な要素技術やシステム技術および克服すべき課題は既に同定されている(成熟レベルはそれぞれ異なるが、研究開発の目標を定量的に設定できる。目指すシステム形態に応じて選択的に行われる)



LOX・LH2／LOX・LNG  
ロケットエンジン  
性能, 長寿命, 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  
エアロスパイクノズル  
2段ノズル



再突入帰還飛行に  
耐える耐熱材料構造(TPS)  
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



高頻度繰り返し飛行運用技術



# 宇宙輸送の世界での国と民間の役割と産業としての成熟

- ・古いビジネスモデル
  - 国のR&D資金／国が開発，国が運用
  - 国のプロジェクトを民間が受注する（公共事業タイプ）
- ・今風のビジネスモデル
  - 国が民間輸送機に対してアンカーテナンシーを用意する
- ・より新しいビジネスモデル
  - マーケットドライブの民間事業によるシステム開発と運用
  - 国は民間ができないようなハイリスクの研究投資に集中／制度整備など環境整備

民間航空機の世界 …… 自立した民間と国の支援・保護  
 クルマの世界 …… 完全に自立した民間／国の制度整備

## 国の役割

## 民間の役割

企画	研究開発	発注	インフラ維持	運用	製造	運用支援		
開発支援	資金負担／支援	インフラ維持		企画	開発	製造	運用	
インフラ維持	研究		企画	事業化	開発	製造	運用	
政策・監督／研究		維持	企画	事業化	開発	製造	運用	
制度整備	研究	開発	インフラ維持	企画	事業化	開発	製造	運用

成熟の産業

## 産業の成熟と国と民間の役割分担



# 提言に向けたゴール設定の提案

ゴール設定＝マーケットドライブの新しい大量高頻度輸送系

一般大衆の宇宙旅行(地上とLEO間)1～200万円／チケット

P2P輸送(ファーストクラス旅客機並のマーケット)

年間10万人～100万人の輸送／年間輸送量＝1万トンのオーダー

(月惑星持続的滞在の大規模なロジスティックスのための地上LEO間の輸送体系, 安全保障分野への貢献)

「航空機並みの運航ができる宇宙輸送機」を目標

1日1回の飛行／1000回以上の再使用／有人輸送の安全性／ワンフライト経費＝1億円

事業化ゴール達成の時間設定～2040年

## 2040年のゴールに至る段階的発展の例の一案

		2020	2030	2040	
国	調査研究と今後の計画立案検討	再使用型大量高頻度宇宙輸送の実現に必要な カッティングエッジの 技術研究と実証の推進	次の段階への レディネス 成熟 ・ 次の 計画策定	制度整備 (有人安全 基準などの策定) ・ インフラ整備 ・ 資金調達支援	GOAL マーケット 対応の 大量高頻度宇宙輸 送の運用と 事業化  日本の基幹産業へ 成熟
民間		ニュースペースを 含めた民間の 活動成熟 ・ 産業界の 技術蓄積		民間事業による 大量高頻度輸送機の 開発	

## 提言に向けて重要と認識すべき事柄

---

2040年以降を見据え、社会や産業の構造が大きく変化する中、日本の未来を担う子供や若者にとって魅力的かつ大胆なシステムの構想を示せない、日本発の革新は起きず、結果として長期的な視点での自立性確保も危うい、と認識すべき

大きな目標を掲げて実行することで、競争力の高い状況を作り出す。カuttingエッジの技術研究を通じて、新しい大量高頻度輸送のマーケットの創出とキャプチャーを目指すべき

具体的には宇宙旅行やP2P輸送をもたらす、桁違いの輸送コスト低減の世界の実現を目指し、国際有人探査の輸送や、安全保障分野、および社会的課題の解決への貢献を視野に入れる。

高頻度大量輸送や有人輸送の実行のためには、制度整備や安全基準の策定などが必要で、これらは国の役割と認識すべき

持続的な発展のために国および民間における人材の育成と実行インフラの連続性が不可欠。

日本の輸送体系の次へのトランジションを早期に具体化すべきだが、新しい状況が明確になるまで、H3、イプシロンの基幹ロケットは国の自律性を支える輸送手段として、現在の運用を継続。

最終目標達成の時間設定を20年後(2040)とし、それに至る、5年/10年単位の中間的目標設定と段階的な発展の計画検討と実行のための、関係府省、民間、学術、非宇宙産業などを包含するボディを立ち上げる事が適当。そのための調査研究を速やかに開始すべき

---

これまで日本の基幹ロケットの開発は, 大凡20年に一回, 1-2000億規模の投資で, N1, H1, H2, H3とやってきた. イプシロンはMロケットの固体システム技術の流れを維持するという別の理由. 状況の変化は, H3の次は2040年にH4, と言うようなこれまでの外挿では立ち行かない事を示している. ではどうするのか?が課題と認識.

日本が国として輸送系に税金を投入する動機は, 「国の輸送の自在性」である. 但しこれは経済合理性を無視してよいとの免罪符にはなっていないことも当然だろう. 一方でこの方法では, 「将来輸送」という状態にたどり着いてないのも事実. 国としての考えや実施方法にも変革があって然るべきだろう. ただし, 現在および近い将来での国としての輸送の自在性を確保しておくことも一方では必ず必要.

弾道飛行, 小型衛星とその打ち上げ, 有人飛行, 探査の輸送などの分野では日本でも民間の動きが出てきているし, この民間の動きは, 世の中から応援されるだろう. 国はより積極的に国と民間の分担や関係の持ち方という議論をした方がよいのではないかと声も多い.

他方, アメリカ民間はもっと大規模に, かつ国や安全保障ミッションまで狡猾に獲得して, 大型も含めた独自のロケットで, スピード感よろしくマーケットを支配していこう. さらに再使用や有人輸送, 月火星探査と言った, これまで国が独占していた部分や, いわゆる将来輸送のイニシアチブまで担って行こうとしている, と言う現実がある. 一方国としてのヨーロッパや中国の動きや方向性を相対化した上で, 日本としての方針を立てるべきである. また, 日本一国で行うのか? 国際共同の開発という視点も持つべきではないか? 一方で基幹的な輸送の国際共同は安全保障の観点も考えると困難という意見も多い.

技術者や研究者が自らのやりたい研究を提案するのではなく, 事業を行うために必要な要求を定量化し, 資金や時間との兼ね合いにおいて, これを満たす技術ソリューションを考えるという循環で仕事をするべきである.

全方位でアメリカ民間も含めた世界と勝負する話しは, 魅力的であるが非現実的である. 今の日本の尖ったところを選択的に重点化, の論理がないと立ち行かないであろう. 一方で, これまで国としての自立性からシステムリーダを標榜してきた日本の宇宙輸送において, 航空の世界のようなコンポーネントサプライヤーやベンダーとなることを目指すのではない, と言うことも重要ではないか?

国・民間の双方の役割分担の上であっても, 必要な資金の定量化と資金調達の方法について具体的な議論がないと何も始まらない, と知るべきである. 特に本格的な宇宙旅客輸送の事業化などという大きな話しには「兆の桁」の資金が必要である. 一方で日本にはリニア新幹線に9兆円という資金を投入する能力があることも事実である. これまでの宇宙のやり方を超えた方法が考えられるはずである.

90年代には日本でも世界でも, シヤトル後継や二桁輸送コストダウン, と言った「本格的」な将来輸送の議論やこれを目指す動きは活発だったが, 今はその動機は少なくなって, 当時のヘリテージが保存されなくなっている. 内外の状況変化が早いスピードで進む中で, 日本の輸送の本格的な先行投資や研究開発は, この20年ほど止まっている, のが現実である. またこういう将来モノへの取り組みを実行できる人材や集団の存在や維持すら危ない, という意見もある. 継続的, 持続的な開発機会が途絶えると, 国・民間双方のR&D能力は確実に廃れ, 実行したくても人材がいなくなってしまう事が危惧される.

また従来 of 国主導を越えて, スピード感のある事業化を目指した民間主導の動きが競争力のある産業としての成熟のゴールであるとする, これを担う民間の実行者の存在と, ゴールに至る過程を国が支援する仕組みについて考えておくことが必要だろう. 例えばCOTSなどをはじめとするアメリカの様々な民間支援の手法は参考になるだろうが, 日米の環境の違いをよく考えて行うべき. またニュースペースが自ら高度かつハイリスクな技術研究を行うことは困難で, これらは国が行い, 民間に移転するという仕組みを作るべきである.

大きな投資は実は航空宇宙以外の民生技術開発の場において, 環境保護や安全な社会構築の文脈で大規模に行われている. 電動化・脱化石燃料や水素エネルギー社会構築, 地上モビリティの革新, 広い意味の情報社会構築, などの現場である, 新材料や安全技術, システムのインテリジェント化など, これらの他の産業分野との連携がカギである.

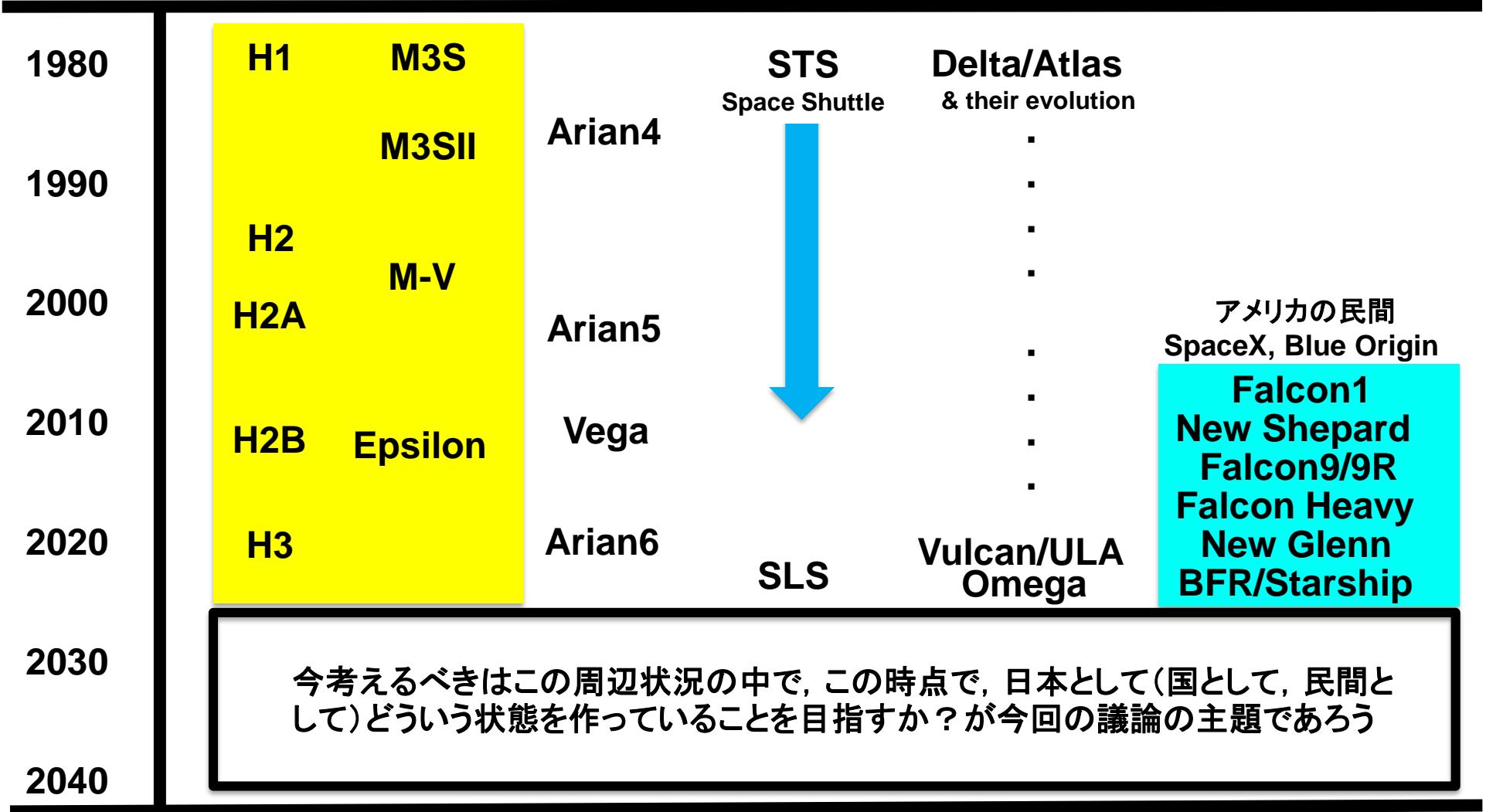
民間(特にニュースペース)の自在な活動の将来像は, 民間の自在性に委ねるべきであって, 国が上から目線でものを言うのは大いに違和感がある. 一方で, ニュースペースのみですべてのことが行えると言う主張をすることは難しい. この辺りの関係を如何に「エクспリシットに, あるいはインプリシットに」持つのであるか, が課題だろう.

P2Pや宇宙旅行など, 航空と宇宙の両方の側面があるが, 両者の狭間に落ちて, 担当府省などの役割分担や連携が困難にならないようにする必要がある.

安全保障のニーズ対応の議論を抜きにした輸送系の議論は, その目的や能力, コストの意味, 資金の意味などで, 完備した議論にならない. この意見交換会の場では適当でないかも知れないが輸送と安全保障という切り口の議論の場があるだろう.

今後の宇宙輸送系を議論するに当たって, 有人輸送を行う能力を持つか否かで, もたらされる状況や新たな世界を切り開く程度は全く異なる. 豊かな宇宙活動を行う上で有人輸送を避けて通るべきでない. 一方で国の衛星打ち上げ自在性を標榜する基幹ロケットH3の有人化を国家の資金を使ってやるという動機を正当化することは現時点では困難である. また基幹ロケットの再使用化をその大きな初期投資を正当化することと併せて, 今の財政状況では困難で, 新たな動機に基づく投資が必要であろう. 日本において有人輸送の実現を前面に押し出して進めるには, 民間事業として旅客輸送を行うという正当化と投資の動機を醸成する方向を追求すべきではないか?

補足2: 80年代以降のロケット開発の流れ(中国・ロシア・インドは除く, 小型・超小型ランチャは除く)



認識すべき  
周辺状況

スペースシャトルの退役以後, 再使用への取り組みは国のレベルでは一部の小規模なもの(空軍, DARPA など)を除いて行われていない

2010前後から台頭してきたアメリカの民間輸送が打ち上げマーケットで支配的な役割を占めるに至っていること. これらは再使用化や将来輸送や月探査の輸送まで担って行くことを標榜していること  
日欧はこの30年ほどの間, ある意味で定常化した頻度で基幹ロケットの更新を行っていること