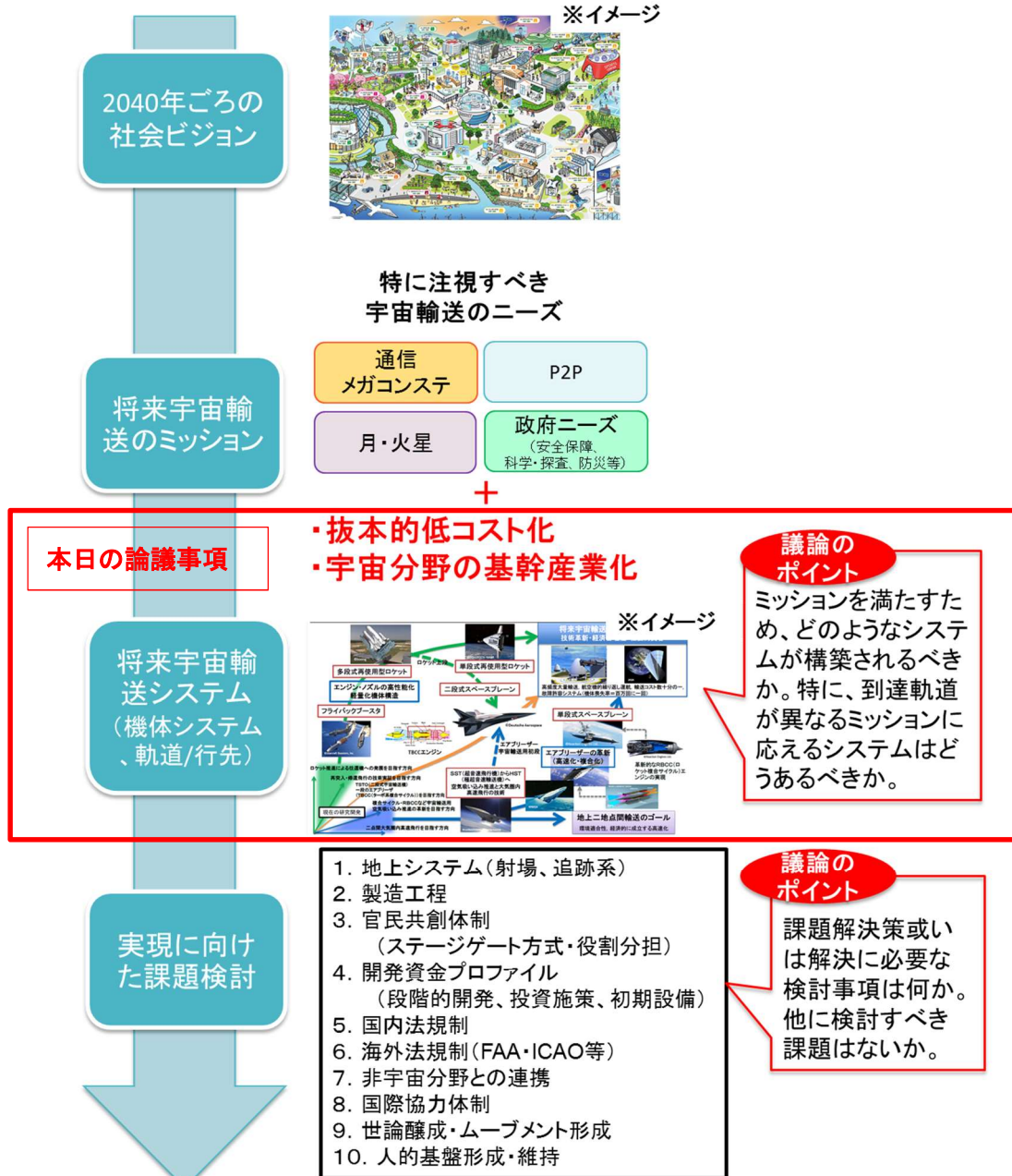


革新的将来宇宙輸送システムロードマップ検討会の議論の整理 と検討の進め方 (案)

文部科学省 研究開発局
宇宙開発利用課

1. 革新的将来宇宙輸送システムロードマップ検討の流れ

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^o



2. これまでの検討会での議論の整理

(1) 将来宇宙輸送システムの意義・価値（第4回にて議論）

提言) 革新的将来宇宙輸送システム実現に向けた我が国の取組強化に向けて

4. 今後の取組方策 (2) 革新的将来宇宙輸送システムの実現

安全保障や宇宙探査といった将来の政策ニーズへの対応や高速二地点間輸送等の将来の大きな需要を生み出す発展性と可能性のある市場形成と一体となり、利用形態や市場主導で将来のあるべき事業形態からバックキャストしつつ、それぞれの領域に対して必要となる革新的将来宇宙輸送システムの実現を関係省庁や民間事業者等の関係者とともに目指す。そのとき、自立性確保や将来の宇宙開発利用の飛躍的拡大に向け、抜本的低コスト化等を実現する革新的技術をはじめとして国が革新的で基盤的な研究開発を先導し、民間事業者や大学等の関係者が資金分担も含めてそれぞれの役割を果たす。

本検討会第1回資料（資料 2-2-1 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の検討項目素案）

1. ロードマップの目標

遅くとも2040年代前半までに継続的に我が国の宇宙輸送システムの自立性確保、併せて国際競争力確保及び産業発展を目指した将来の国益確保と新たな宇宙輸送市場の形成・獲得に向け、抜本的低コスト化等も含めて革新的技術による革新的将来宇宙輸送システムを実現し、我が国の民間事業者が主体的に事業を展開することで、自立した宇宙開発利用を飛躍的に拡大させるとともに、宇宙輸送をはじめとする宇宙産業を我が国の経済社会を支える主要産業の一つとする。

また、将来宇宙輸送システムの意義・価値に関して、これまでの検討会で各委員から以下のような意見をいただいている。

— 深宇宙市場の拡大 —

- 世界的な人口拡大に対応したエネルギー／資源のニーズが急増する。そのための宇宙利用の発掘。
- 宇宙の GDP は人の活動量と資源の利用で拡大する。
- 今後持続的人類の活動が予測されるため「深宇宙」は市場として期待できる。このため低軌道から高軌道への移動が市場となり、日本の独自性をだすべきである。

— 地球周回軌道利用市場 —

- 「移動」そのものに価値がある市場と、移動が「手段」である市場は分けて考えるべきである。
- 将来 1兆円市場は通信メガコンステ、深宇宙、P2Pが想定される。但し、メガコンステの市場形成には不確かなところもある。宇宙からの通信利用（5G）例えばコネクテッドカー／自動運転等の低軌道宇宙利用がある。

- 宇宙活動の起点として国内でのスペースポート実現を期待する。
- P2P については技術、制度の観点で時間を要するので、その途中として「宇宙旅行」は適切な市場ではないか。

－一般的な宇宙市場拡大の方策－

- コロナの影響で「生命／環境」がキーワード化している中で「宇宙の貢献」を世論とする活動が必要
- カーボンニュートラルの達成目標を踏まえて社会の宇宙インフラ化から生ずる宇宙市場を考えるべき
- 宇宙技術の地上への活用の拡大
- 深宇宙にしろ、P2P にしろ有人輸送が将来必須となるので、信頼性を早期に早める必要がある。

(2) 2040年頃の宇宙開発利用の状況（斜体は主に官需）（第5回にて議論）

●市場規模（世界）は2030年頃を想定したもの

		行き先			
		サブオービタル軌道	低・静止軌道	深宇宙(月・火星)	他
輸送対象	有 人	<ul style="list-style-type: none"> ・想定市場； P2P 宇宙旅行(※) ・市場規模予測； 約3,000億円/年 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定市場； 宇宙旅行(※) ・市場規模予測； 約1,000億円/年 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定市場； 月・火星 経済圏 <u>アルテミス計画</u> <u>(国際協力)</u> ・市場規模予測；未定 	
	無 人	<ul style="list-style-type: none"> ・想定市場； P2P／ 微小重力環境実験 ・市場規模予測； 未定 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定市場； 通信メガ コンステ／ ISS 活用／ 軌道上サービス／ <u>安全保障、防災利用等</u> ・市場規模予測； 約8,000億円/年 		
	計	約3,000億円/年	約9,000億円/年	未定	

(※) 「移動」が手段ではなく、「移動」そのものに価値がある利用

2040 年頃の宇宙開発利用の状況に関しては前回の検討会で各委員から以下のような意見をいただいている。

- ① 安くするには、**大量の輸送需要**しかないが、そのためには、宇宙にものを運ぶだけではだめで、**地球上の 2 地点間、特に人を運ぶことで、大きな需要がでてくる**ことになり、それによって安くした技術を使って宇宙輸送を安くするのではないか。
- ② 将来宇宙輸送システムは**斬新的な人類の宇宙時代のインフラをつくる**ということになると感じている。日本の産業界や政府の力を結集して、そういったものができれば、日本のみならず人類全体にとって意味があることではないかと思う。
- ③ 地球・月を包含して宇宙輸送する場合、**重力に打ち勝ち地球周回に行くまでが大変**で、そのための個々の技術開発が重要である。また有人の技術開発をだれがやるべきか。事故が生じた際の対応を考えると**民間主導の方が早く復帰できて良い**と思われる。
- ④ 将来の宇宙利用を増やすために**ニーズを定めてやっていくことも重要**であり、また**人が大量に移動することで価格を低減**していくということにも賛成である。地球周回とその先に分けることも納得。有人と無人を一緒に考えるのか、無人の先に有人があると考えなのか、どのように整理するのがよいか。
- ⑤ スペースシャトルが高コストになった理由の 1 つは、貨物輸送のミッションにも人が乗る必要があり、荷物輸送のロケットに比べ高コストになったことがある。**ヒトの輸送とモノの輸送は識別するべき**。また、**有人を目的にするのであれば、最初からそのようなことを織り込んだロケットにする必要**がある。
- ⑥ **有人宇宙輸送を技術論だけで議論するのは危ない**。生命倫理や旅行サポートの規模は馬鹿にならない。航空機の世界の中で、航空機産業は 130 兆と言われているが、エアラインが 70 兆、機体製造は 25 兆くらい。いろいろな意味で**サービス・人を流動させていくことにコストがかかるということ**を認識する必要がある。
- ⑦ 現在の市場規模は自動車で 400 兆、航空機で 130 兆。我々の狙う市場が 1 兆程度であれば、ほんの微々たるもの。**どの程度の規模感の産業にするのか、というところは大きな議論である**。
- ⑧ 新車の販売で年間 200 兆。今後 10%以上は Maas に。一方、**アフターマーケットが、10 年間で 700 兆くらいになる**といわれている。移動データの活用や On The Air でソフトウェアをアップデートするなど、**宇宙輸送ビジネス全体として、売り切りではない世界をどうするか**。
- ⑨ **10 兆円を目指すと進めることでどうか**。そこからどのような規模で収益をあげていくかを検討する。

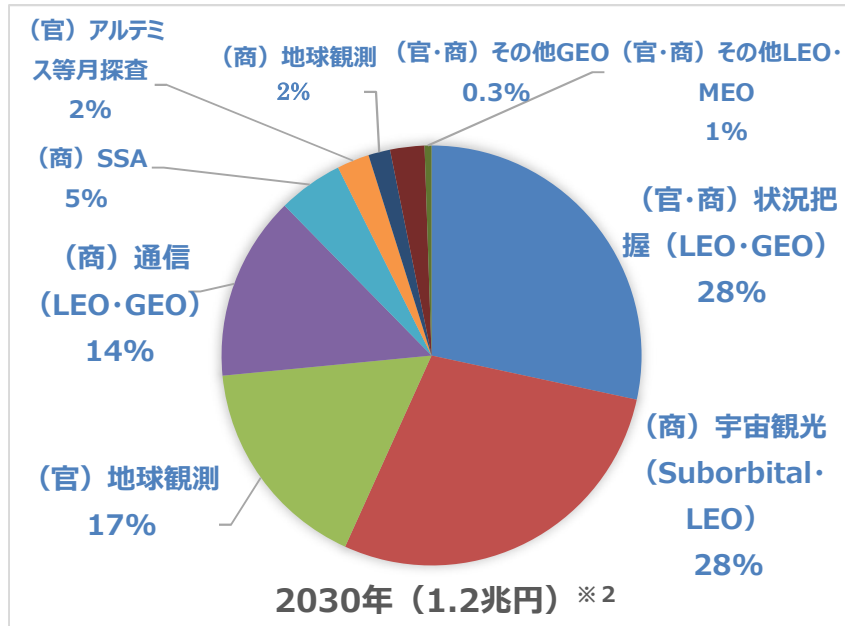
- ⑩ 市場規模を決めるのは、機体性能ではなく、ポート（空港）の箇所と場所。世界のメガポートにおおのか。ヒトの移動の最も多い2地点間において、その区間の航空機の需要を100%置き換えるくらいでやらないといけない。あるいは、今はペイしない地点にもポートをつくることができれば、人に移動を新たに生むことができ、それも説得力がある。どこどここの移動を行うかをシミュレーションすべきである。
- ⑪ スペースポートを制する者は宇宙産業を制する。我々の活動もそのような理念で進めている。大きなマーケットをどのように作るか。信念をもってやる人が絶対条件ではなるが、UK や NZ では、国の支援が、資金的だけではなく、国家間交渉の観点でも必要。
- ⑫ 人の移動という観点は、従来エアラインの事業の対象で 100 兆円規模。既存の置き換えだけでなく、日程的制約で運行がない地域などポテンシャルに注目することも重要。移動のニーズの原点は origin and destination。その上で、路線を貼って、ノンストップ、ワンストップ、ツーストップとして重み付けしている。直行であれば、ワンストップの 10 倍ほど価値が高い。P2P の産業であれば、ビジネスジェットに近い。また、宇宙旅行では、高額クルーズの市場規模が参照できると思われる。
- ⑬ この事業をとにかく動かしたい。そうすれば出資できるか、という観点で考えていた。
- 1) 命がけでやりたい人がいるか。⇔ 最適な組織体。（金持ちの個人。企業。JV。）
ジョイントベンチャー的なやり方に、強力なコーディネーターが必要。1970～80 年代の航空機産業での JV 日本航空機開発協会が参考になるかも
 - 2) 世論・社会受容性をどう高めるか。 喚起する仕組みが必須。
 - 3) ニーズ：全部やれない。どれをやるのか優先順位をつけないといけない。民がやって国が調達する仕組み。
- ⑭ 有人では地上に戻ってこないといけない。再使用化の技術で代替。また、無人は指令破壊できるが、有人はアボート飛行が必須。日本ではまだ、アボート飛行はやられていない。
- ⑮ 10 兆円をベースとすると、どういう金額規模になって、ファンドが動くか、どのように資金を回すか、資金フローのシミュレーションが必要。また、実現するための機体性能について、技術についてもシミュレーションする必要がある。

3. 2040年頃に仮に10兆円市場を構築するためには

2040年頃に宇宙輸送市場で仮に10兆円を実現するには、どのような市場概況となるのかを仮定の上、以下概算した。

概算の前提)

- ① 官需ミッションと民需ミッションを対象とする。(科学ミッションは、対象外とする。)
- ② 対象とするミッションの内、P2P・月経済圏は現状で市場が創出されていないため、市場規模を仮定の上、算出する。
- ③ P2P・月経済圏を除き、宇宙輸送全体における各ニーズの市場割合は、2030年と2040年で変化がないものとする。
- ④ 宇宙輸送市場の成長率は、2018年(約0.4兆^{※1})～2040年で一定とする。
(年10%成長)



※1 State of the Satellite Industry Report 2018 より

※2 2030年の市場分布予想は、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)資料5-2付表(JAXA調査結果)を基に作成

(1) 2040年の市場規模

2030年に1.2兆円市場として、前提④より年間10%で成長すると仮定すると、**2040年には3.1兆円市場となる。**

よって、2040年に宇宙輸送市場全体で10兆円規模の市場を目指すと仮定した場合、**P2Pと月経済圏で、約7兆円市場を創出する**仮計算となる。

(本概算では、P2Pで5兆円、月経済圏で2兆円を目指すと仮定する。)

参考)

The Future of Space 2060 and Implications for U.S. Strategy; Report on the Space Futures Workshop (2019.9.5 Air Force Space Command) (※)によると、2060年代後半に、”the space economy is expanding rapidly, contributing at least 10% of global gross domestic product (GDP) with wide, diverse participation from nations” という記載があり、2060年代後半には、宇宙市場は世界GDPのおよそ10%になると推定されている。

※ <https://www.politico.com/f/?id=0000016d-0513-d6ab-a97f-4f93520b0001>

(2) 2040年の各ミッションの市場

A 地球低・中・静止軌道における通信・状況把握・地球観測の市場予測

2030年の市場

低・中軌道商業通信：700億円(600機/年)

低・中軌道状況把握(商業/政府)：1,400億円(40~120機/年)

低・中軌道商業地球観測：200億円(40~120機/年)

低・中軌道商業SSA：600億円(200機/年)

静止軌道商業通信：1,000億円(15機程度/年)

静止軌道地球観測(政府)：2,000億円(20機程度/年)

静止軌道状況把握(政府)：1,000~2,000億円(10機弱/年)

計 7,900億円 (宇宙輸送市場 1.2兆円の65.8%)

前提④に基づき、仮に年10%で成長すると、2兆400億円の市場となる。この市場のうち、静止軌道衛星の成長見込みはおよそ横ばいと考えられ、その上で、仮に年10%での成長を望むのであれば、**低・中軌道衛星(主としてコンステレーション)で、年間成長率18%超、2040年の市場で1兆5000億円超の市場規模が求められる**仮計算となる。

B 宇宙観光の市場予測

2030 年の市場
サブオービタル：2,800 億円（年 3,400 フライト以上）
低軌道：600 億円（年 8 フライト）
計 3,400 億円

前提④に基づき、仮に年 10%で成長すると、8,800 億円の市場となる。その場合、同仮定の下、**サブオービタルの宇宙旅行で、7,300 億円（年 8,800 フライト）及び地球低軌道の宇宙旅行で 1,500 億円（年 21 フライト）**の内訳となる。（旅行費用及び 1 フライトの席数が 2030 年から変更ないとした場合）

C P2P の市場試算

P2P（この場合、大気圏外を經由し、地上 2 地点間を高速で旅客輸送することを示す）の 2040 年の市場については、現時点で市場が存在しないため、5 兆円を目指すと仮定の上、試算する。

P2P は航空旅客輸送市場の置換えが可能だと考えられるが、その性質により、**ある程度長距離間の移動の置換えに限定される**と考えられる。

東京（羽田）から世界の主要都市までの所要フライト時間は、以下の通り。

都市	所要時間	都市	所要時間
ソウル	2 時間 40 分	ロサンゼルス	10 時間 10 分
北京	4 時間 10 分	モスクワ	10 時間 30 分
シンガポール	7 時間	ドバイ	10 時間 50 分
シドニー	9 時間 20 分	パリ・ロンドン	12 時間 30 分
デリー	9 時間 40 分	ニューヨーク	12 時間 50 分

※<https://www.localtime.jp/flight/> を参照

※南米・アメリカへの直行は現時点でない模様

※世界最長フライトの 1 つは、ニューヨークーシンガポール便（17 時間 50 分）

本試算では、**9 時間以上のフライト便を P2P に置換え可能だと仮定する。**

日本政府観光局の公表によると、2019年の訪日外客数は約3,200万人、出国日本人数は約2,000万人 (https://www.jnto.go.jp/jpn/statistics/marketingdata_outbound.pdf)

また、東アジア・東南アジア地域以外の国際旅客便の割合は全体約の20%

(<https://www.mlit.go.jp/common/001297874.pdf>)

のため、旅行者（訪日外客数+出国日本人数）は全体の20% 約1,040万人となる。

（2040年まで、旅行者数が大きく変わらない前提）

この旅行者のうち、1%がP2Pに置き換えられると仮定すると、P2P旅客は、約10万人。

日本だけで5兆円市場を目指すという仮定の上では、1人あたり5,000万円の売上げということとなる。

国際線航空旅客市場におけるANA・JALのシェア率を参考とすると、約2.0%（※）となる。このシェア率であると仮定した場合、1人あたり100万円の売上げとなる。

※一般財団法人日本航空機開発協会公表の令和元年度版航空機関連データをもとに（第I章 航空輸送の推移と現状 1.（2）有償旅客キロ(RPK)の推移、及び、第IV章 航空会社 2. エアライン・ランキング—2018年 RPK（有償旅客キロ）Top50）、ANA社及びJAL社のRPKの割合として算出。

(http://www.jadc.jp/files/topics/38_ext_01_0.pdf)

(http://www.jadc.jp/files/topics/41_ext_01_0.pdf)

D 商業月経済圏の市場戦略

商業月経済圏（この場合、月への官需ミッションを除くものとする）の2040年の市場については、現時点で市場が存在しないため、2兆円を目指すとして仮定した上で、試算する。

仮に、2040年段階で、月面に、10t100億円の輸送コストがかかると仮定すると、**年間2,000tの物資輸送**が必要となる。

参考）羽田空港が1日で取り扱う貨物量がおおよそ1,000t

ISSへの輸送は、年間おおよそ15~20t

4. 本日の検討会での議論について

本日の検討会では以下の事項について主にご議論をお願いします。

- 2040年に向けての市場拡大を図るための国の役割。
- 抜本的低コスト化を実現するシステムである必要があるが、そのためには、1つの飛行形式で多くのミッションを達成した方が良いのか、個別のミッションに最適なものをそれぞれ開発した方が良いのか。
- 抜本的低コスト化のために、一部ミッションを実行しないということは有るのか。（その際は、当該ミッションを期待していた者が開発に参画しなくなるという可能性はないか。実現するシステムは、将来的な民間市場での適用も想定し、研究開発費は、期待される市場からの民間の収益を考慮した民間負担も考慮した費用対効果で測る必要がある。）
- 仮に1つの飛行形式で開発を進めるとした場合、いつ頃(何がメルクマールになるか)までに絞り込むべきか。
- どの程度までコストを下げれば、抜本的低コスト化と考えられるか。
- 再使用化、適切な基準の見直し等による地上部品等との共通化、製造工程の革新等により、どの程度コストを引き下げられるか。更に他の方法は無いのか。

5. 今後の検討の進め方

次回第7回（3月24日開催予定）以降につきましては以下の内容についてご議論、ご検討をいただく予定です。

- (1) 必要な革新的技術について
- (2) 具体的な開発の進め方（体制・官民役割・制度等）について
- (3) 基幹ロケットとの位置づけについて
- (4) 中間まとめ作業