

Ultra-Low Cost Space Transportation for SPS

Tomoki Kotani (Mitsubishi Space Software, Japan)

Patrick Collins (Azabu University, Japan)

Hiromasa Saito (Mitsubishi Space Software, Japan)

Abstract

In 2010 the Japanese SPS Research Society established a Sub-Committee to study the feasibility of Ultra-Low Cost Space Transportation for SPS. This was because in 2009 the Japanese government published its new Space Basic Plan, which (for the first time) includes a "Road-Map" leading to the development of a 1 GW Solar Power Satellite in 2030. The first stages of work are quite small, and will use existing satellite and launch systems. However, it is well understood that in order for an SPS to be able to supply electric power on Earth at competitive prices, its components must be launched to orbit at a cost of about 1% of existing expendable launch vehicles. The Sub-Committee has started its work by agreeing on the overall direction of its work.

The Interim Report concludes that there are two necessary conditions for reducing the cost of reaching orbit by 99%:

- 1) Fully reusable vehicles are needed, capable of rapid turn-round like aircraft.
- 2) A large market is needed so that many vehicles can be built and flown repeatedly.

The Sub-Committee believes that only one market is capable of growing to large scale, that is, passenger travel, for which there is known to be large potential demand - if a safe, low-cost service is developed. Furthermore, the U.S. Department of Commerce has explained that the best way to develop reusable vehicles capable of flying to orbit is to start by developing sub-orbital passenger-carrying vehicles. This is a convenient conclusion, since the cost and risk of developing sub-orbital vehicles are very much less than for orbital vehicles. Moreover, after the initial development costs have been paid, the further development is likely to be funded by private companies developing popular new domestic tourism services.

Starting from this position, the Sub-Committee will continue its work by trying to clarify details such as the costs, benefits and time-scale of a scenario leading to development of ultra-low cost orbital transportation.

宇宙輸送費超低価格化分科会の中間報告について*

○小谷 知己†* パトリック・コリンズ††** 齊藤博栄†**

*宇宙輸送費超低価格化分科会座長 **宇宙輸送費超低価格化分科会座長補佐

†三菱スペース・ソフトウェア(株) ††麻布大学

1. はじめに

SPS研究会では宇宙輸送費の低価格化の実現に特化して研究、検討を行う「宇宙輸送費超低価格化分科会」を立ち上げた。SPSの将来の商業化にはコストの大部分を占める輸送コストを現在の使い捨てロケットの1%程度にする必要がある。これを「宇宙輸送費の超低価格化」と呼ぶ。本分科会では、重要なポイントは「完全再使用型宇宙輸送機」と「大量需要」と考えており、このような考えからスタートして、様々な研究、検討を行い、実現に向けての提言、シナリオとしてレポートにまとめることを目的に活動している。今回は中間報告として、ベースになる基本的な考え方や活動を紹介する。

2. 宇宙輸送費の超低価格化実現のポイント

2.1 完全再使用型宇宙輸送機の開発

宇宙輸送費の超低価格化の実現に向けての1つ目のポイントは「完全再使用型宇宙輸送機(RLV:Reusable Launch Vehicle)の開発」である。宇宙輸送費を十分に安くするためには、現在のような使い捨てロケット(ELV:Expendable Launch Vehicle)ではなく、航空機のように何度も使用できる完全再使用型輸送機が必要になる。ELVは使い捨てなので輸送費の大部分を製造費が占め、大変高額になっている。(数トンを低軌道の宇宙に運ぶのに1フライトで約100億円程度)宇宙輸送費の超低価格化を実現するためには、パラダイムシフトが必要であり、現在の宇宙開発のやり方の延長ではなく、航空機のように「再使用」が当たり前の普通の乗り物として開発をしていく必要がある。

2.2 大量需要の実現

2つ目のポイントは「大量需要の実現」であり、完全再使用型宇宙輸送機が開発されても、輸送するものがなければ、何度も飛行することができない。コストダウンに大きく影響するのは1機あたり飛行回数(飛行レート)で、何度も飛行することで1フライトあたりの輸送費はどんどん下がっていく。そのためには、高い飛行レートを確保できる大量需要が必須であり、その有力な候補として商用宇宙発電や宇宙旅行が考えられる。

2.2.1 商用宇宙発電の需要(輸送量)

商用宇宙発電は非常に大きな宇宙構造物であり、その建設に必要な多くの物資を輸送する必要がある。日本の商用宇宙発電計画では1GWの商用宇宙発電は総重量1~2万トンの巨大宇宙構造物を建設することになり、そのために必要な物資を宇宙に輸送するためには、約1000回オーダの打ち上げが必要になる。(少なくとも毎日飛ぶ必要があるレベル。)

2.2.2 宇宙旅行の需要

宇宙旅行の需要については、世界中で様々なレポートが発表され、大きな需要があることが報告されている。以下に代表的なレポートを紹介する。

*第13回SPSシンポジウム、2010年10月28-29日に発表

- (1) 宇宙旅行に関してNASAは1998年に行った研究レポート「General Public Space Travel and Tourism Volume 1 - Executive Summary, NASA/STA, NP-1998-03-11-MSFC」^[7]
- (2) NASAの依頼で実施した米Futron社の宇宙旅行市場調査「Analysis of Space Concepts Enabled by New Transportation (ASCENT) Study(2003.1)」^[8]
- (3) 1994年に日本ロケット協会(JRS)、経済学者パトリック・コリンズ教授が実施した宇宙旅行アンケートをまとめた論文「P Collins et al, 1994, "Commercial Implications of Market Research on Space Tourism"」^[9]
- (4) 日本でも宇宙旅行の可能性については経団連のスペースインジャパンというパンフレット^[10]やJRSが1995年から2001年に実施した「観光丸研究」^{[7] [11]}
- (5) その他、宇宙旅行の可能性についての市場調査に関する多くの論文^{[6] [12] [13]}

3. 宇宙輸送費の超低価格化実現の施策

3. 1 サブオービタル弾道飛行から始める完全再使用型宇宙輸送機の開発

サブオービタル弾道飛行は高度100km程度の宇宙を弾道飛行で往復するものである。宇宙輸送機で一番の技術課題は、飛行に必要な速度を如何にして得るかということで、そのために必要なエネルギー（推進力）の確保が重要なのである。サブオービタル飛行に必要な速度は約1km/秒で、地球低軌道を周回するオービタル飛行では約8km/秒でエネルギーは速度の2乗に比例するので、約64倍ものエネルギー差があり、これがオービタル機の開発を非常に困難にするのである。サブオービタルで始めることにより、実際に何度も飛行して経験することで、技術を成熟させ、次のステップに進んでいくことで、本当の目的であるオービタル用完全再使用型宇宙輸送機開発を結果的に着実に、リスクを少なく、早期に実現させていくことができる。なお、サブオービタルから始めることについては、オービタル用完全再使用型宇宙輸送機開発のためのアプローチとして、最適であることが米総務省(DoC:Department of Commerce)でも報告されている。^[14]

このようにサブオービタル機を開発することによって、オービタル機開発へのステップとして流用できる技術やビジネスモデルなど役に立つ有効な部分が多くある。そして、サブオービタル機を開発することにより、投資をうながし、開発を促進するブレークスルーとしても期待できる。なお、実際に現在、世界でサブオービタルによる宇宙機の開発はその価値が理解されつつあり、宇宙旅行のような新しいものだけではなく、従来から実施している宇宙科学研究にも役に立つことを認識した米国(NASA)をはじめ世界各国では、米国学術研究会議(NRC: National Research Council)^[15]やNASAのThe Commercial Re-usable Suborbital Research Program (CRuSR)^[16]など本格的に始めようとしている。しかし、残念ながら日本ではまだ準備も始まっていないため、世界に遅れをとることが懸念される。

3. 2 航空機的アプローチによる宇宙旅行の実現

大量需要がある宇宙旅行の実現にあたっては、宇宙旅行を今までの宇宙開発の延長で考えるのではなく、航空機的なアプローチで進めていくことが重要である。宇宙旅行は宇宙開発のような「技術開発」が目的ではなく、あくまで「ビジネスとしてサービスを提供する。」ことが目的であり、今までの宇宙開発とは目指す世界が異なり、アプローチも変えていく必要がある。宇宙旅行の世界は、現在の航空機の世界とビジネスモデルや考え方が非

常に似ているものになる。宇宙輸送費の超低価格を実現するためには、この考えをきちんと理解し、変えてゆき、航空機的なアプローチで進めなくてはならないのである。航空機的なアプローチとは、ビジネス成立性を考慮し、コストダウンや安全性（航空機レベル）、快適性など宇宙開発の世界では重要視されてこなかった観点を優先的に考え、宇宙機を開発するに当たり、テストフライトを十分に行い、何度も飛ぶことにより、経験を増やし、データを蓄積して、改善、改良していくことで、免許を受け、どんどん発展させていくようなアプローチで開発していくことである。これにより、現在の航空旅客機のように安く、安全で快適な乗り物を開発することで宇宙旅行を実現するべきなのである。^{[6] [20] [21] [22] [23]}

3. 3 宇宙旅行による大量需要の顕在化

前述の通り、大量需要として商用宇宙発電や宇宙旅行は十分な可能性を持っている。しかし実際には残念ながら、この需要は可能性としての「潜在的」なものであり、「顕在化」していないのである。特に宇宙旅行に関しては、以前より潜在的な需要はあったが、顕在化していないことが、未だに実現に至っていない大きな原因の1つであると言える。宇宙関係のプロジェクトを独占してきた NASA などの政府宇宙局は基本的に国家目的実現の開発が目的であり、宇宙旅行のような、一般人に向けてのサービスを実現することは目指していないのである。（宇宙旅行は宇宙局の宇宙プロジェクトの方針、考え方に合わない。）

一般の人々の認識も様々な誤解や情報不足により、現実感が乏しいために「実現して欲しいけど、まだ無理で、ずっと先の話だろう」との考えが大半で、本気で実現を望むようにはなっていないのである。「これは間違っている！」一般の人が本当のことを知り、誤解を解くことが、顕在化へのカギになると信じている。

4. まとめ

本中間報告では商用宇宙発電実現に不可欠な「宇宙輸送費の超低価格化」の実現にあたり2つのポイントと3つの施策を示した。そして、このことは、今までの宇宙活動のような赤字を生み出すだけのものとはちがひ、経済的に役に立ち、サービスが始まったら実際に利潤を得て普通の商業活動につながっていくものである。^[26]

残念ながら、日本では未だにサブオービタル（弾道飛行）に関しても法整備も整っておらず、早急に、このような環境整備に取り組んでいただきたい。（米国の FAA にならば、航空法と同様に国土交通省の航空局が管轄になると考える。）そして、早急にサブオービタル完全再使用型宇宙輸送機の研究・開発にすべきである。これを始めるために必要になる費用は日本の宇宙予算の数%程度であり、やる気になれば低リスクで簡単に始めることができる。そして、宇宙輸送費の超低価格化が実現された世界では、「誰もが簡単に宇宙に行ける世界」をつくり、本格的に宇宙を利用する時代になる。そして、このような世界は、多くの便益があり、商用宇宙発電をはじめとした本当の宇宙の利用、新産業の創出などにより、経済、雇用、環境、観光、研究、教育など様々な社会貢献を生むことになるのである。宇宙基本計画の指針である「宇宙利用を重視」とは本来はこのような世界を作ることなのではないだろうか？政府が自ら定めた宇宙基本計画の商用宇宙発電の実現のためには、「宇宙輸送費の超低価格化」が必須であり、提案した施策について法整備をはじめ政府が積極的にリード、支援していただく必要があると考え、今後期待したい。

参考文献

- [1] 内閣官房宇宙開発戦略本部「宇宙基本法」
- [2] 内閣官房宇宙開発戦略本部「宇宙基本計画」
- [3] Space-based Solar Power As an Opportunity for Strategic Security, Phase 0 Architecture Feasibility Study Report to the Director, National Security Space Office, Interim Assessment, Release 0.1, 10 October 2007.
- [4] 高野忠、2009年、「SPS システムの要素技術の研究動向」、宇宙太陽発電衛星のある地球と将来、慶應大学、第5章、61-88頁。
- [5] パトリックコリンズ、松岡秀雄 2010年、太陽光発電衛星の経済性及び宇宙輸送費超低価格化について、IEICE Technical Report、宇宙太陽発電、13 - 19 頁。
- [6] J Penn et al, 2009, "Beyond Next Generation (BNG) Access to Space", Aerospace Corporation, (ATR-2010 (8161)-1).
- [7] D O'Neil et al, 1998, "General Public Space Travel and Tourism - Volume 1 Executive Summary", NASA/STA, NP-1998-03-11-MSFC.
- [8] Futron corporation, 2003, Analysis of Space Concepts Enabled by New Transportation (ASCENT), Final Report for NASA Marshall Space Flight Center.
- [9] P Collins et al, 1994, "Commercial Implications of Market Research on Space Tourism", Journal of Space Technology and Science, Vol 10, No 2, pp 3-11.
- [10] 経団連宇宙開発利用推進会議、「スペース・イン・ジャパン」、11頁、平成10年
- [11] Y Inatani, 2003, JAPANESE ROCKET SOCIETY' S ROCKET SYMPOSIA 1995-2001; With an Overview of Japanese Rocket Society' s Tourism Study , JSTS Vol 19, No 1, pp 1 - 10.
- [12] M Gerard and P Jefferson (ed. s), 1998, "International Cooperation in Space: New Government and Industry Relationships", Report of an AIAA/ CEAS/ CASI workshop, AIAA.
- [13] I Bekey, 1998, "Economically Viable Public Space Travel", Proceedings of 49th IAF Congress.
- [14] US Department of Commerce, October 2002, "Suborbital Reusable Launch Vehicles and Applicable Markets", DoC Office of Space Commercialisation.
- [15] US National Research Council, 2010, "Revitalizing NASA' s Suborbital Program: Advancing Science, Driving Innovation, and Developing a Workforce", Committee on NASA' s Suborbital Research Capabilities.
- [16] NASA Project, Suborbital Experiments "The Commercial Re-usable Suborbital Research Program (CRuSR)"
- [17] Futron corporation, 2002, Space Tourism Market Study, 2002, "Orbital Space Travel & Destinations with suborbital Space Travel".
- [18] 経済産業省、「技術戦略マップ2009。システム・新製造。宇宙分野。21世紀の戦略的産業の育成」6頁、平成21年4月30日。
- [19] 内閣官房宇宙開発戦略本部、「宇宙基本計画（案）」に対する意見の募集の結果について」、第3章2(5)①(b)、平成21年5月。
- [20] Y Funatsu, 1999, "Some Aspects of Space Navigation Law", Proceedings of 2nd International Symposium on Space Travel, Bremen.
- [21] Y Funatsu, 2002, "Interests of Japanese Airlines in Space", ISTS paper no. ISTS 2002-o-5-06v.
- [22] 松岡秀雄、2000年、「経済成長に寄与する宇宙開発とSPS2000」、太陽発電衛星研究会ニューズレター、第6号、1 - 6 頁。
- [23] D Ashford, 2009, "The Aviation Approach to Space Transportation", Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol 113, No 1146, pp 499 - 514.
- [24] FAA Homepage (www.faa.gov)
- [25] P Collins & A Autino, 2009, "What the Growth of a Space Tourism Industry Could Contribute to Employment, Economic Growth, Environmental Protection, Education, Culture and World Peace", Acta Astronautica, Vol 66, pp 1553 - 1562.
- [26] M Nagatomo & P Collins, 1997, "A Common Cost Target of Space Transportation for Space Tourism and Space Energy Development", AAS paper no 97-460, AAS Vol 96, pp 617-630.