

SSPS 輸送系の検討

Study on SSPS transportation

—地球低軌道への輸送系の検討—

地球低軌道輸送検討チーム 谷口浩文、青木 宏

Hirofumi Taniguchi, Hiroshi Aoki

Abstract

To built the 10Mkg class SSPS, the launch capability of over 20Mkg to LEO is required. To satisfy these requirements for every year, standard transportation model is suggested. Low-cost reusable launch system has to be accomplished. In this study, the reasonable scale of launch vehicle, launch interval, total number of launch, required cargo-bay volume and transportation system reliability are discussed.

1. 概要

SSPS 輸送の基本的なコンセプトは、以下のとおりである。地上から低軌道までは、再使用型輸送系によって輸送し、低軌道から運用軌道（静止軌道）までは、高比推力推進系（電気推進をベースラインとする）を備えた軌道間輸送機で輸送する。運用軌道までの最終的な輸送量は、昨年度までの検討と同様 SSPS 1 機当たり 10000 トン、年間 1 機を建設するとの想定である。

昨年度のコストモデル検討でも明らかなように、輸送コストは SSPS 構築総コストの内かなりの割合を占めており、低コスト輸送手段の確立は SSPS を成立させるための重要な課題である。昨年度のコストモデルによると、輸送コストの内でも地上一低軌道間輸送費が占める割合が大きい。従って、地上一低軌道間輸送を低コストで実現することが、SSPS 輸送の最大の課題である。

軌道間輸送機（推進剤を含む）は、地上一低軌道間輸送によって打ち上げる必要がある。このため、軌道間輸送としては、それ自身の低コスト化もさることながら、ペイロード比を向上させて地上一低軌道間の必要輸送量を減らすことが総輸送コスト低減のための重要課題となる。

今年度の検討は、地上一低軌道間輸送と軌道間輸送の輸送量については整合性をとって実施したが、建設期間については未整理である。従来の検討では建設期間 1 年を前提としたが、この前提では低コスト軌道間輸送の成立が困難であり、必ずしも適切ではなかった。次年度には、建設期間（の延長）もトレードオフの項目として輸送系を検討し、その中で地上一低軌道間輸送と軌道間輸送を含む輸送シナリオを構築していく予定である。

2. 低軌道輸送系の検討

(1) 昨年度からの見直し点および今年度検討の概要

低軌道輸送系については、昨年度、静止軌道への年間総輸送量、10000 トンをベースに、年間輸送量、13000 トンとして検討を実施した。これに対し、本年度は OTV 輸送系の検討を踏まえ、この 13000 トンを 20000 トンに変更して、再見直しを実施し、基準輸送モデルを設定した。また、新たに、輸送機の信頼度および輸送容積についての検討を行

い、低軌道の基準輸送モデルに追加した。

(2) 低軌道の基準輸送システム

昨年度までの検討により、低軌道への宇宙輸送機の基準モデルは以下の通りに設定されている。

1. 再使用型の輸送機であること
2. 1回当りの輸送重量を50トンとすること
3. 輸送機の再使用寿命を1000回とすること
4. これらをベースに輸送費用は0.17億円/トンとなる

今年度においては、これらの前提をベースに年間、総輸送量20000トンに対する低軌道の基準輸送系をTable-1のように設定した。SSPS1基の建設のために、1年間で低軌道まで20000トンを輸送する場合、年間の総輸送回数は400回、飛行頻度は1週間当たり8回の輸送で、総輸送費は3400億円となっている。

(3) 輸送機の輸送容積についての検討

低軌道への宇宙輸送機について、どの程度の輸送容積にするかを検討した。現時点においては、SSPS建設のために、どの程度の輸送単位容積が望ましいかの検討はなく、明確な要求はない。したがって、ここでは輸送機の立場からのみの検討を実施した。

Table-1 SSPS Reusable Transportation System Standard Model (2003FY)

機体総重量	2500 ton	SSPS用 必要機数	8機
輸送重量/飛行	50 ton	寿命	1000飛行 10年
SSPS用 総飛行回数	400回	製造費	1000億円
飛行頻度	8回/週	運行費	8.6億円
SSPS総輸送費	3400億円	輸送費/輸送重量	0.17億円/トン

(2)項で述べたように、基準輸送系としては、単位輸送重量は50トンである。したがって、単位輸送容積も、この能力と整合したものでなければならない。単位輸送容積を設定するうえで、輸送重量密度をベースとして検討した。輸送重量密度は、輸送重量を輸送容積で割ったものであるが、ペイロード密度と輸送機密度の2種類が考えられる。ペイロード密度はペイロード重量をペイロード容積で割ったもので、荷物側の特性から決まる。一方、輸送機密度は輸送機の設計によるもので、簡単にいうと、輸送重量能力を輸送機の荷物室容積で割ったものである。現時点、SSPSのペイロード密度は不明であるので、宇宙輸送関連の輸送重量密度に関して、その現状を調査した。

Fig-1は輸送機カーゴベイ容積(密度)の例を示したものであり、 $20\text{kg/m}^3 \sim 180\text{kg/m}^3$ となっている。Fig-2はペイロード密度の例を示したもので、 $40\text{kg/m}^3 \sim 230\text{kg/m}^3$ である。また、一般的にいろいろな解析において使用されてい

る輸送機密度としてはTable-2のようにまとめられる。これによると、輸送機密度としては $50\text{kg/m}^3 \sim 300\text{kg/m}^3$ となる。

基準輸送機は50トンの輸送能力であるから、上記の調査をもとに輸送機密度 $50\text{kg/m}^3 \sim 300\text{kg/m}^3$ をベースとすると荷物容積は $167\text{m}^3 \sim 1000\text{m}^3$ となる。この容積と機体の大きさの概略を検討した結果、本年度の基準輸送機の荷物容積を以下の通り設定した。

荷物部容積 8m 直径×20 m 1000m^3

これは輸送機密度、 50kg/m^3 に対応し、現状、最大容積に対応している。

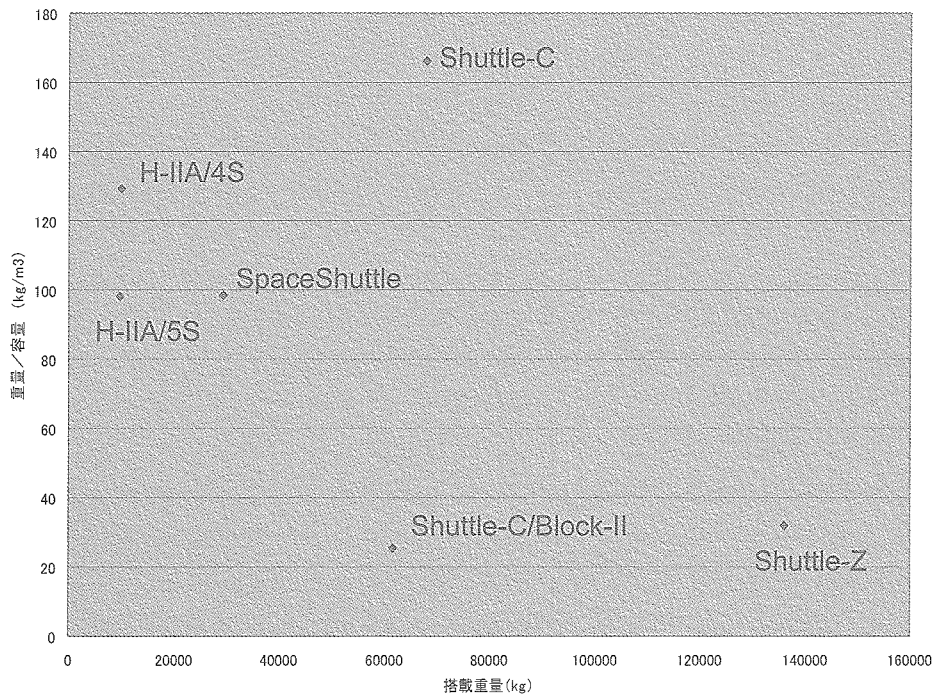


Fig-1 Example of Cargo-bay Volume(Density)

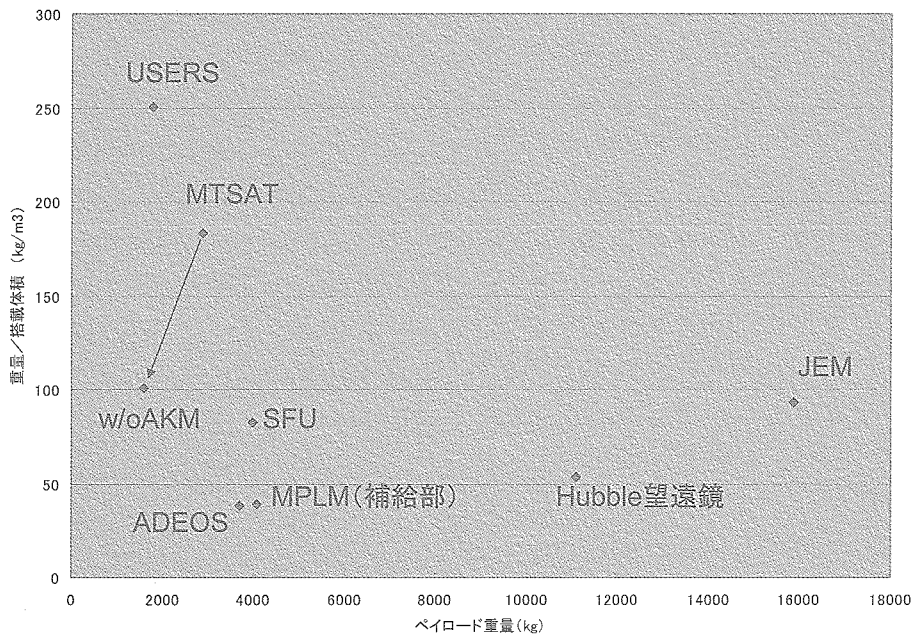


Fig-2 Example of Payload Volume

Table-2 Launch Capability

・ ペイロード重量比(ペイロード重量/離陸重量)	
長距離乗客輸送航空機	19-23%
大型貨物輸送航空機	28-30%
貨物輸送ロケット	1-4%
貨物輸送空気吸込み	10%?
・ ペイロード密度(ペイロード重量/容積)	
長距離乗客輸送航空機	35-50kg/m ³
大型貨物輸送航空機	150-200kg/m ³
貨物輸送ロケット	200-300kg/m ³

(4) 輸送機の信頼性についての検討

低軌道輸送機の信頼度は輸送コストに大きな影響を与える。本年度は低軌道輸送機に要求される信頼度について検討を実施した。Table-3は輸送機の信頼度が輸送コストに及ぼす影響を示したものである。LOV(Loss of Vehicle)の確率すなわち機体喪失率は輸送機の信頼性そのものであるが、現状のロケットで 10^{-1} のオーダー、航空機で 10^{-8} のオーダーである。表中では、このLOV率を変化させた場合の昨年度の基準モデルにたいする輸送コストの増加分を計算している。この計算をもとに、機体喪失率の輸送コストに対する影響を1%程度とする前提で、基準モデルの目標LOV率として 10^{-4} を選定した。

Table-3 Required Reliability for Launch System

・ LOVレート			
現状	ロケット	10^{-1}	
	航空機	10^{-8}	
基準輸送費用			
総費用	3400億	輸送回数	400回
		製造費	1000億 1000回使用
追加総費用			
LOVレート	10^{-1}	$1000 \times 10^{-1} \times 400 = 40000$ 億	現状ELV
	10^{-2}	$1000 \times 10^{-2} \times 400 = 4000$ 億	シャトル
	10^{-3}	$1000 \times 10^{-3} \times 400 = 400$ 億	第2世代シャトル
	10^{-4}	$1000 \times 10^{-4} \times 400 = 40$ 億	