

# 2040年の社会ニーズに対応する 有人宇宙輸送サービス構想と必要技術の検討

PKG2 検討資料 2022年5月

インターステラテクノロジズ株式会社

#### 機体方式

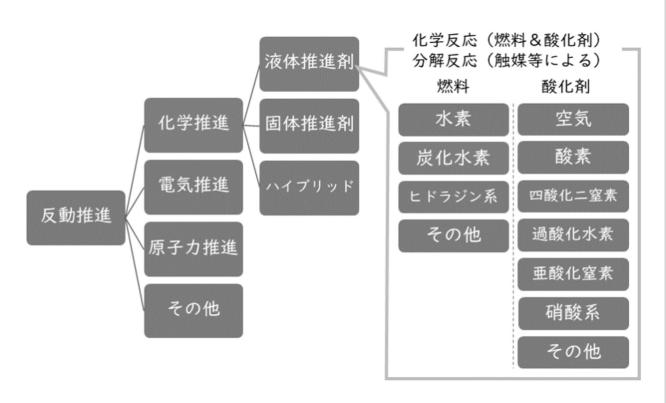


Fig. 宇宙輸送の推進器種類

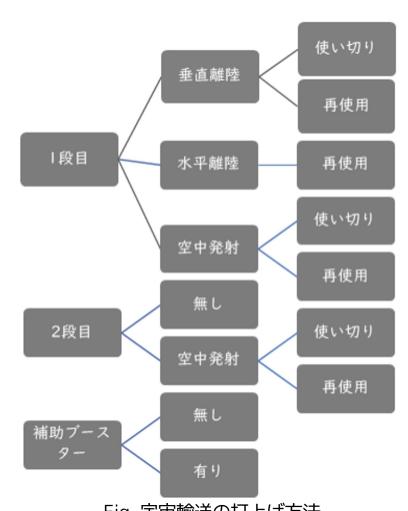


Fig. 宇宙輸送の打上げ方法



### 機体方式 一打上げ方法一

#### スペースプレーン検討例

#### 各コンポーネントは空気を最大利用した方式 ↔ 従来ロケット方式

「2段式」「RBCC(Rocket Based Combined Cycle Engine)」「水平離陸」 「完全再使用(水平着陸)」「減速方法ウェイブライダー」

Table. 文献\*のスペースプレーン諸元

ペイロード	全備重量	1段目推進剤	2段目全備
800 kg	442 ton	319 ton	45 ton

ペイロード比0.18%と小さすぎる。 コストは推進剤コストだけで37.5万円/kg。 **将来輸送系として不適。** 



Fig. 文献\*のスペースプレーン

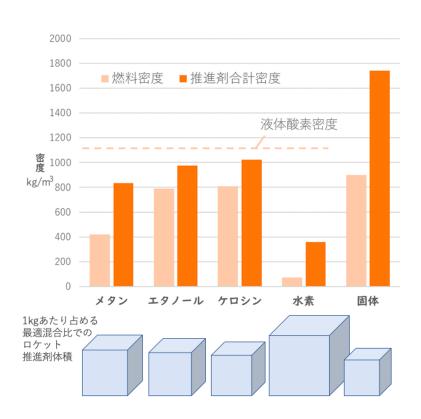
### 推進剤

#### メタン/液体酸素のロケット推進器が 性能とコストのバランスが取れて最適

	推進 性能	機体 サイズ	燃料 コスト	機体 コスト	環境性	運用性	再使用性	宇宙空間での 貯蔵性
メタン	0	Δ	0	0	0	0	0	0
エタノール	×	×	0	0	0	0	0	Δ
ケロシン	Δ	0	0	0	×	0	Δ	Δ
水素	0	Δ	×	×	0	Δ	0	0
固体燃料	Δ	0	×	×	×	Δ	×	Δ

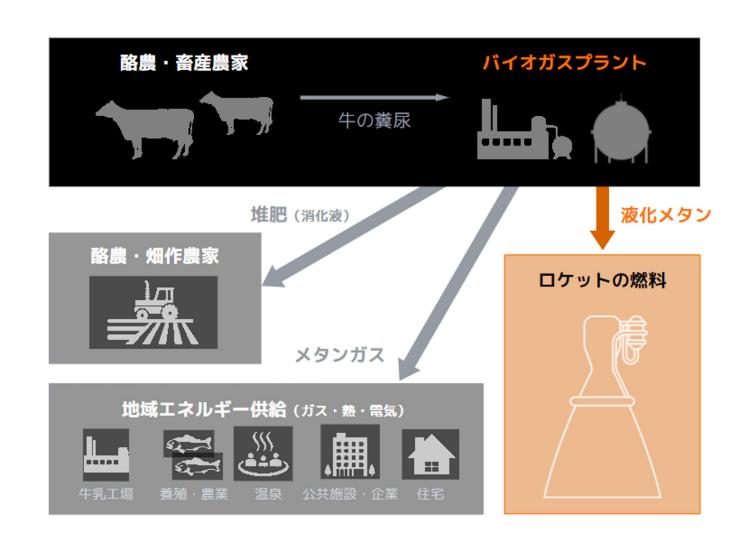
燃料コスト・機体コストが重要になるので 上段以外の水素・固体燃料ロケットは不得意

燃料・機体コストがに優れ 再使用性・貯蔵性もあり発展性がある





### 推進剤・カーボンニュートラル



### 機体方式 一打上げ段数一

SSTO:1段式ロケット TSTO:2段式ロケット LEO向けで比べてみた。

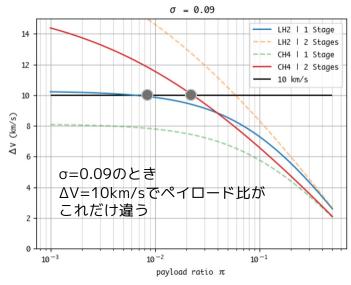


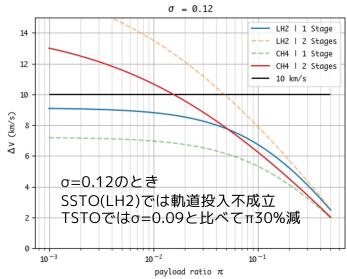
#### SSTOと比べてTSTOは

- ・同一サイズ機体ではペイロードが2倍
- ・構造重量が重くなった場合に機体成立性高い

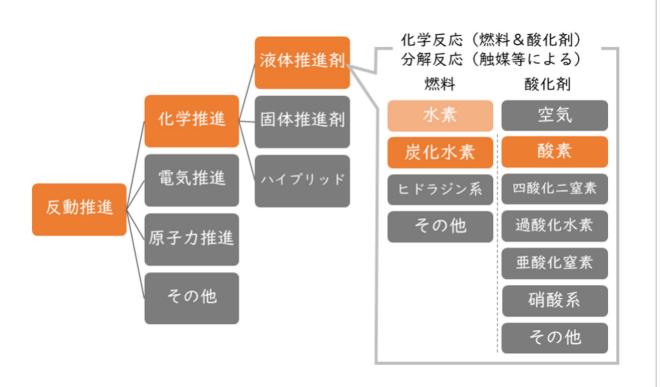
- [1]: Design of rockets and space launch vehicles, Don Edberg, Willie Costa, AIAA Education, 2019
- [2]: Vehicle Design for Space Tourism, JRS
- [3] : ANSI:AIAA S-120A-2015(2019) Mass Properties Control for Space Systems







# 機体方式 一打上げ方法一



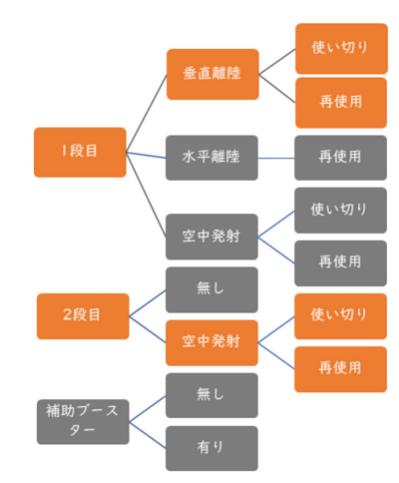


Fig. 本検討での宇宙輸送の打上げ方法



#### 機体方式 一再使用一

- 再使用した方が良いの??
- どの方式がいいの??

再使用・使い捨てロケットの宇宙輸送のkg単価の有利不利指標!

※1未満であれば再使用ロケットが有利

$$I = k \cdot \frac{A_{\alpha\beta}}{A_{\gamma}} \cdot \left[ \frac{A_{\alpha}}{A_{\alpha\beta}} \left( 1 + \frac{C_1(RHW)}{C_1(B)} \right) + \frac{C_1(RR)}{C_1(B)} + \frac{1-k}{k} \right]$$

ロケット製造コストのうち、再使用可能部分の割合

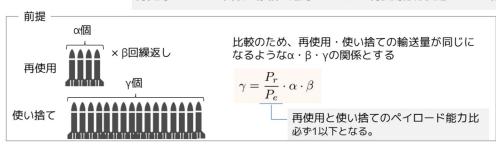
習熟率bで量産効果のある製造物の累積製造コストのαβ個と γ個の割合

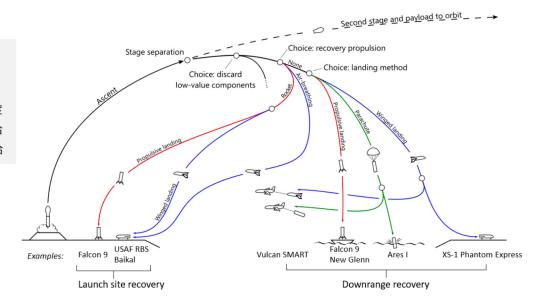
習熟率bで量産効果のある製造物の累積製造コストの α個とαβ個の割合

0.75~0.9が製造業で典型的。ロケットの場合、0.8~0.9程度

再使用ロケットの回収用デバイス製造コストと再使用部分製造コストの割合

再使用ロケットの回収・修繕の運用コストと 再使用部分製造コストの割合





[1]: 稲川貴大, "再使用ロケットの経済性", https://note.com/ina111/n/nf78cf6cff393

[2]: Matthew Vernacchia and Kelly Mathesius, "Strategies for Reuse of Launch Vehicle First Stages",

IAC-18-D2.4.3

INTERSTELLAR TECHNOLOGIES

#### 機体方式 一再使用一

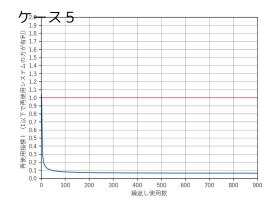
使い切りと比較して

<u>Falcon9は20回再使用しても使い切りと比べて</u> <u>10%程度のコスト減。</u>

Starshipの場合は様々な工夫により最大70%コスト低減。

非現実的な理想状態でも93%減。

#### 再使用だけでコスト1/100は不可能



#### INTERSTELLAR TECHNOLOGIES

#### SpaceX社、Falcon9の例



#### <u>SpaceX社、SuperHeavy/Starshipの例</u>



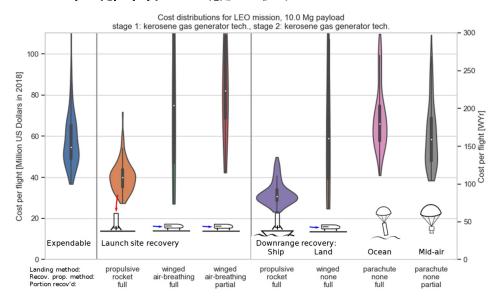
# 機体方式 一再使用一

#### ・再使用した方が良いの??

- →効果は限定的だと理解が重要
- →小型では無意味。大型で意味がある

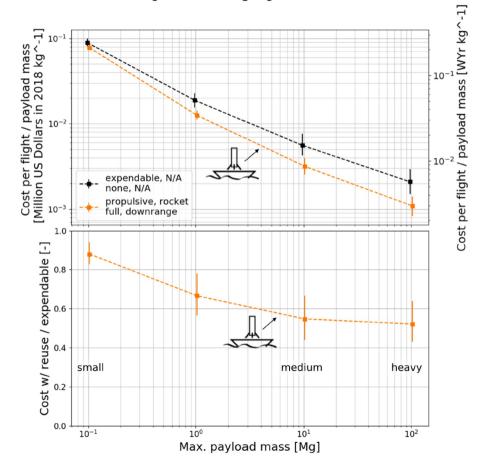
#### どの方式がいいの??

→垂直離着陸が筋が良さそう





Cost/mass vs. payload capacity for LEO mission stage 1: kerosene gas generator tech., stage 2: kerosene gas generator tech.



[1] : Matthew Vernacchia and Kelly Mathesius, "Strategies for Reuse of Launch Vehicle First Stages", IAC-18-D2.4.3

### 使いきり・再利用の選択と注意点

# 良い再使用ロケットにするには?



こうすればいい



やったら損

- ・1機あたりの製造費を下げる
- ・ロケットの大型化
- ·着陸時のΔV損失を小さく
- ・再使用部品 (脚や翼) の重量・コストを下げる
- ・回収&修繕費用を下げる
- ・抜本的に比推力の高いエンジンに置き換える

- ・再使用のために高価な部品を使う
- ・小型のロケットを再使用
- ・再使用のためにΔVを大量に使う
- ・重たく高価な再使用デバイス(脚や翼)を使う
- ・回収・修繕コストをしっかりかける
- ・比推力の低いエンジンで再使用する

# 提案する機体・エンジン

機体システム	① 小型強化型	② 大型	③ 超大型	
LEOペイロード	500 kg	12 t(10t)	100 t	
2段推力	60kN×1	150kN×3	1.5MN×1	
1段推力	150kN×4	150kN×36	1.5MN×24	
全段全備	40 t	370 t	2450 t	
形態	使い切り	1段再使用	完全再使用	

エンジン	60kN GG	150kN GG	1.5MN FFSC
推進剤	LCH4/LOX	LCH4/LOX	LCH4/LOX
サイクル	ガス発生器	ガス発生器	2段燃焼
推力	60 kN	150 kN	1.5MN
Isp vac	345 秒	360 秒	380 秒
燃焼室圧	6 MPa	9.5 MPa	30 MPa
量産単価	2000万円~	1500万円~	3000万円~



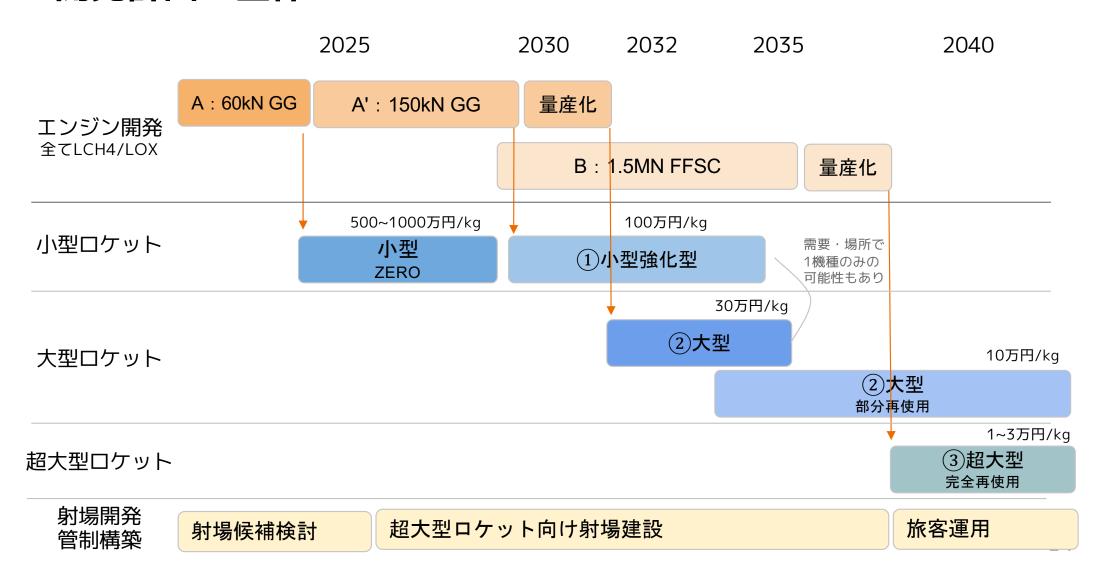


# 提案する機体システム①



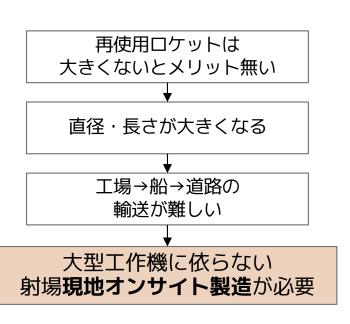
# 開発計画 全体スケジュール





### 研究開発

大規模な オンサイト製造技術

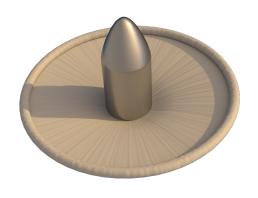




直径9mのSpX社Starshipはオンサイトで SUS板の溶接によりタンク・構造を製造

重大なパラダイムシスト!

耐熱タイルに 頼らない バリュート



着陸脚が不要となる 着陸設備



#### INTERSTELLAR TECHNOLOGIES

# 世界と戦うための勝ち技研究テーマ

#### 機体

- ・降下時空力制御用デバイス(グリッドフィン等)
- ・再突入用バリュート技術
  - ・膜状アクチュエータで制御可能へ
- 射場オンサイト大規模機体製造技術
  - ・熱可塑性樹脂を用いたCFRP
  - ・強度1GPa級の超高強度ステンレス鋼
  - ・Φ5~12m級直径の金属積層造形(AM)

#### その他

- ・天候条件緩和できる機体および基準作り
- ・大型ロケットにおいての地上保安距離の緩和
- ・航空機と宇宙機の複合運用管制体制
- 射場環境アセスメントの方針決め
- ・打上げ運用の省人化の自動化・知能化システム
- ・組立から打上げ射場の設備簡素化
- · 地上側着陸設備
- ・着陸から無整備で打上げ可能にする検査技術

#### エンジン

メタン・液体酸素を推進剤としたロケットエンジン技術

- ・60~150kNの究極の高性能低コストエンジン
  - ・バイオガス由来のロケットエンジン開発
  - ・ターボポンプの低コスト化
  - ・ノズル、バルブの低コスト化
    - ・100回以上のエンジン再使用技術
    - 軽量燃料電池
    - ・電動静油圧小型大推力リニアアクチュエー

タ

- ・推力150トン級の大推力ブースターエンジン
  - ・30MPa以上の高圧高温向け材料データベ

ース

- ・酸素リッチな環境での耐熱合金開発
- 耐熱合金AM
- ロケットエンジン開発用ツールチェーン
  - ・炭化水素系で計算が合うようなCEA
  - 動特性シミュレーションエンジンサイクル計算