

ISS・国際宇宙探査小委員会

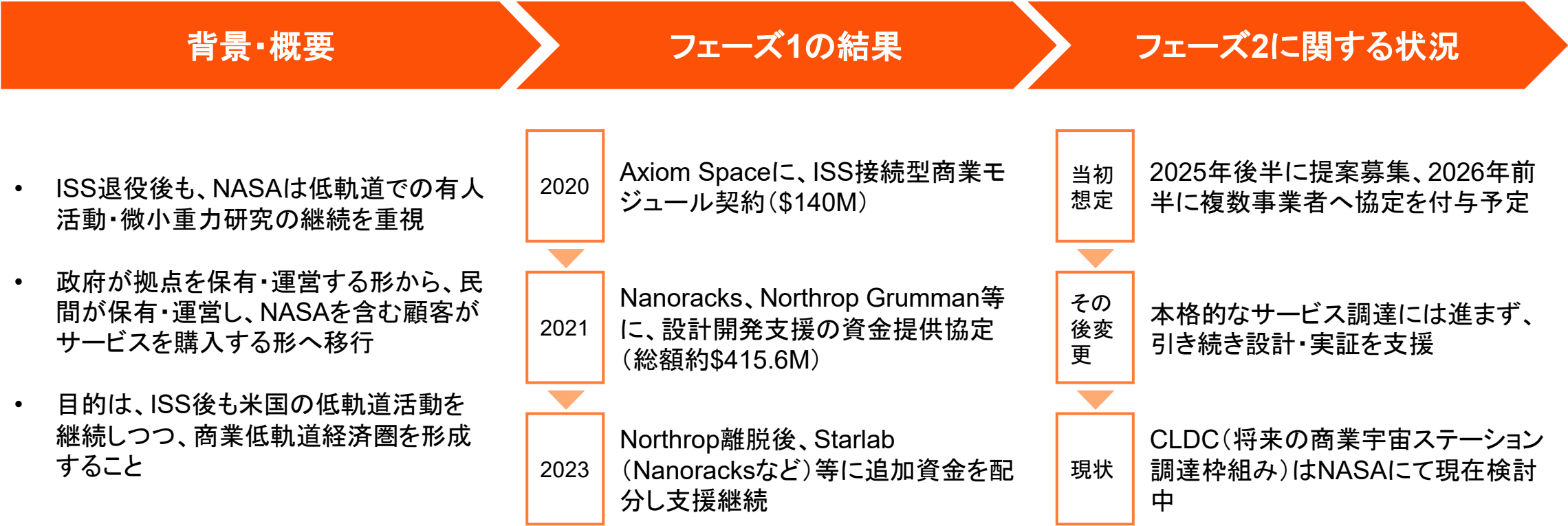
商業有人低軌道活動の最新動向

PwCコンサルティング合同会社
2026年8月27日



NASA CLDプログラムの概要および経緯

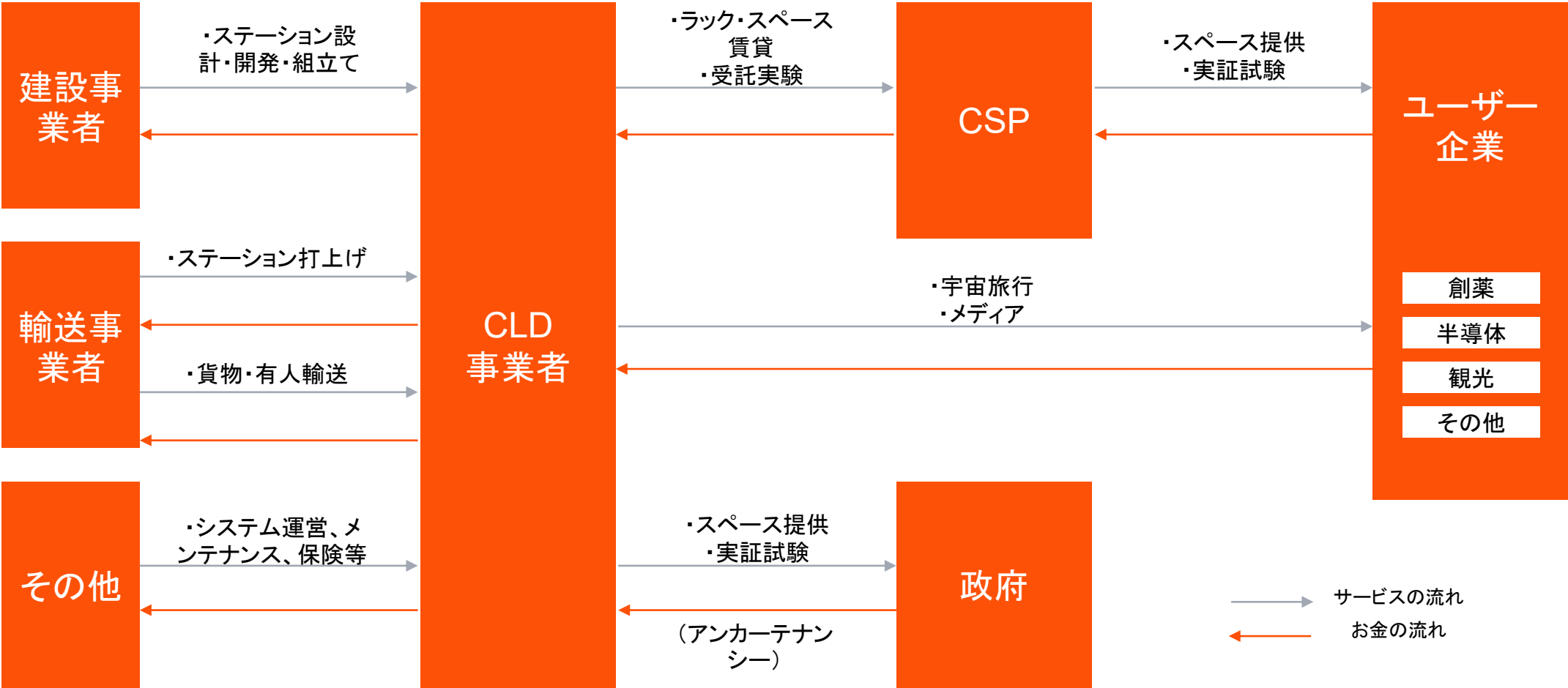
ISSは2030年頃に退役予定であり、NASAはその後の低軌道活動について、政府主導の運用から民間事業者が運営する商業宇宙ステーション利用へ移行する方針を進めている。CLDプログラムは、その移行を支える中核施策であり、今後の我が国の低軌道活動や日本企業の参入機会および産業化に影響を与える重要な取り組みと言える。



※CLD(Commercial LEO Destinations) = 商業低軌道拠点

商業有人低軌道のエコシステム(仮説)

商業有人低軌道は、有人宇宙ステーション実現を目指すCLD事業者、同事業者からステーション内のスペースを借り受けるなどしてさまざまなサービスを提供するCSP、サービス提供を受けるユーザー企業、当該市場の立ち上がりを支援する政府の他、ステーション建設事業者、貨物・有人輸送を担う事業者、各種サービスの提供事業者等で構成される。



CLD事業者による商業有人宇宙ステーションおよびCSPの例

CLD事業者が実現を目指す商業有人宇宙ステーションおよびCSP (Commercial Service Provider) 等を例示すると以下のとおり。

商業有人宇宙ステーションの例

Axiom Station

- Axiom Space: ISS接続型モジュールから将来の独立運用を目指す

Haven1 Haven2

- Vast: Haven-1を起点に、長期的な有人プレゼンス確保を目指す商業宇宙ステーション構想

Starlab

- ISS後の研究利用継続を主眼とする商業宇宙ステーション構想

Orbital Reef

- 「mixed-use business park」と位置づけられる、研究・産業・旅行等の多用途拠点構想

CSP等の例

Space Tango

- 自動化された研究・製造プラットフォームを提供し、微小重力利用をサービス化

JAMSS

- Vast公式: Haven-1 Labのpayload partnerと位置づけられる宇宙利用サービス面の協力企業

三菱商事

- Starlab Space公式: strategic partner / equity owner と位置づけられる戦略パートナー

商業有人低軌道の利用に関する特性

商業有人低軌道の利用に関しては、①微小重力、②宇宙曝露、③地球近傍という低軌道の特性に加え、人による対応ができるなど有人施設ならではの特性を考慮に入れて事業を検討していくことがポイントとなる。

低軌道利用の価値の源泉

①微小重力環境

- 限りなく無重力に近く、対流・沈降・浮力がほぼ消失するため、物理学や生物学の現象において地上とは異なる物質の動きをもたらす

②宇宙曝露環境

- 極端な高温と低温のサイクルや超真空空間、高濃度の放射線などの宇宙環境への直接的な曝露実験が可能

③地球近傍

- 地球に近いためアクセス性と帰還性に優れ、地球観測などのリモートセンシングも可能。



商業有人宇宙ステーションの特性(想定)

人による対応が可能

通信できる容量が大きい

与圧環境である

放射線が遮蔽できる

人が滞在可能な空間である

2040年における暫定商業宇宙ステーションサービス全体像(案)

省庁公開情報や各領域の現状市場規模、宇宙空間活用割合・有人活動状況予測等を踏まえ、2040年の商業宇宙ステーションサービス市場規模を約59億USD～と予測。技術革新等によりパラダイムシフトが起こる可能性は要留意。

商業宇宙ステーション

低軌道環境利用サービス			
サービス例	1 創薬・バイオ ※R&Dのみ試算	製造業	47億USD
	2 半導体 ※R&Dのみ試算	製造業	1.5億 USD
	3 情報通信	情報通信業	0.75億 USD
	4 農業・食品 ※R&Dのみ試算	農業	0.1億 USD
想定市場規模	49億USD程度 (7,800億円程度) ※1USD=159円で計算		

有人関連サービス				
サービス例	5	観光	宿泊業、飲食サービス業	10億～USD
		宇宙イベント、エンタメ	生活関連サービス業・娯楽業	
		宇宙医療	医療・福祉	
		宇宙学習	教育・学習支援業	
想定市場規模	10億USD～程度 (1,590億円～程度) ※1USD=159円で計算			

商業有人低軌道の利用ニーズ例：創薬・バイオ

微小重力により対流・沈降の影響を抑制し、均質な結晶生成や三次元細胞培養が可能となる。これにより、地上では困難な創薬支援や製品製造が実現が期待される。

現状	- 創薬開発や再生医療向け材料製造では、重力が高品質な結晶生成や立体培養の制約となる - 骨粗しょう症、サルコペニア、心血管疾患、免疫老化、神経変性疾患は地上での進行が遅く、メカニズム解明や薬効評価に時間を要する
解決策	- 微小重力空間を利用することで、対流・沈降の影響を抑制し、より均質な結晶生成や三次元的な細胞培養環境を実現 - 微小重力環境により老化関連疾患の進行が加速し、研究効率が向上
必要技術・課題	- 実験の品質・精度の標準化や量産化に向けた設備の未整備 - 地上の薬事・品質基準への適合に加え、宇宙環境下での製造プロセス・品質保証の妥当性を示す枠組みが必要
その他	創薬分野には、宇宙で実験・実証を行った知見を地上の創薬に活かし、量産を行う研究知見還元型や、宇宙で培養などを行い種結晶を生成する種結晶活用型を含む「地上量産モデル」、宇宙で製造まで行う「軌道上生産モデル」などのモデルが想定される

ユースケース

地上量産モデル

■タンパク質結晶生成

Merck社は、微小重力下での結晶化研究の知見を活用し、がん治療薬キイトルーダの皮下注製剤化を実現



軌道上生産モデル

■バイオマテリアル製造

LambdaVision社はISSの微小重力環境を活用し、地上では難しい均一な薄膜形成により、網膜色素変性症などの視力障害向けタンパク質ベース人工網膜の製造技術を研究・実証



商業有人低軌道の利用ニーズ例：半導体

微小重力により半導体結晶生成時の容器からの不純物混入や、対流・沈降・圧力の影響を抑制し、均質な結晶生成が可能。これにより、地上では困難な高品質結晶生成・半導体製造が期待されており、軌道上での検証が始まっている。

現状

- 地上では高品質な半導体結晶の生成に限界がある。理由①容器の壁から不純物が熔融材料中に浸出して、結晶中の欠陥が発生。理由②重力により浮遊と沈降を引き起こし、結晶成長中に材料の偏析を起こす。理由③液体の圧力が不均一なため、成長させられる結晶サイズに制限がある。

解決策

- 宇宙で成長させた種結晶を地球に帰還させ、地上で拡大生産する。既存のサプライチェーンを置き換えるのではなく補完するハイブリッド製造モデルを構築する。

必要技術・課題

- 宇宙環境下で種結晶を量産するための製造プロセス・品質保証の妥当性を示す枠組みが必要
- 種結晶を高頻度に回収するために、地球帰還用の回収カプセル、および地上での高頻度回収体制(回収船など)が必要

その他

- 地上での種結晶生成に比べてコストが高くなるため、コストに見合う高付加価値が得られるかがポイント
- また、SiCなどの半導体高品質化は地上でも取り組みが進んでおり、宇宙活用のメリットを継続可能な領域の見極めが必要

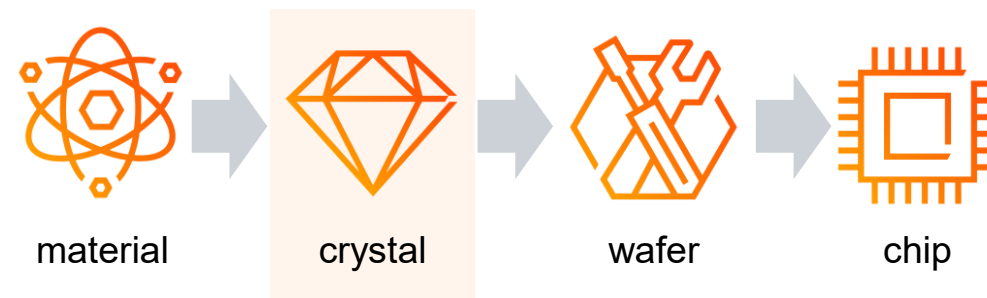
ユースケース

■半金属・半導体複合結晶

Ⅲ-V族化合物半導体の結晶製造実績を活かし、新材料の開発を進行中(材料非公開)

■パワー半導体

微小重力環境を利用し、SiおよびGaNの結晶生成を2027年に低軌道で実施予定



商業有人低軌道の利用ニーズ例：情報通信

地球観測・宇宙実験・衛星運用で生まれるデータ量が増大する中、ISS等の有人低軌道拠点を活用し、軌道上でデータを即時処理し、高速・効率的に地上へ届ける通信・計算基盤へのニーズが高まっている。

現状

- 地球観測・宇宙実験では取得データが大容量化し、地上へ全量伝送してから処理する方式では遅延・通信帯域不足が課題
- 災害監視、安全保障、海洋監視等では、撮像・取得後すぐに解析・判断・配信するニーズが拡大

解決策

- ISS上にエッジコンピューティング機能を搭載し、宇宙で取得したデータを軌道上で即時処理
- ISSと中継衛星・地上局をレーザー通信等で接続し、大容量データを高速・効率的に地上へ伝送

必要技術・課題

- 宇宙環境で稼働する高性能計算機、AIアクセラレータ、耐放射線・熱制御技術
- レーザー通信、通信経路の自動最適化、サイバーセキュリティ、データ主権への対応

その他

- ISSに限らず、AxiomやSpaceX等により「軌道上データセンター」構想が進展
- 電力・冷却・保守性・経済性が今後の課題

ユースケース

HPE Spaceborne Computer-2

- ISS上でAI・HPC処理を実証
- 宇宙データを軌道上で解析
- 必要な情報だけを地上へ送信



NASA ILLUMA-T/LCRD

- ISSとGEO中継衛星をレーザー通信で接続
- 高速・大容量データ中継を実証
- 将来の有人拠点通信インフラに活用



商業有人低軌道の利用ニーズ例：農業・食品

ISSでの農業・食品に関する実験数は医薬・ヘルスケア関連と比較して少ないが、今後の有人宇宙活動拡大に伴う商用化や地球上の食料安全保障確保に向けた実証は不可欠であり、既に一部民間企業が事業参入している状況

現状

- 本ニーズは、宇宙有人活動に必要な食糧確保と微小重力環境を活用した学問研究(栽培知見・品種改良等)の2つに大別
- 食糧確保について、空間キャパシティ観点から大量生産は難しいが、NASAとして、将来的に宇宙空間での有人活動が増加すると共に栽培体制を構築していく必要性を主張
- 微小重力環境における学問研究を通じた地上課題(特定地域における食糧不足、気候変動に伴う病害発生等)の解決に期待が寄せられている

必要技術・課題

- 閉鎖環境における生物再生型生命維持システム早期構築(制御環境農業等)
- 創薬等と比較して獲得データがコモディティ化しやすく、単なる食物栽培改良ではなく、高単価食品開発へ落とし込み(機能性食品、医療用食品等)
- 研究ROIの判断材料に資する実験サンプル増(ISS実験数として創薬分野のタンパク質結晶が500件以上の中、食物分野は数十～百件のみ)
- 地球帰還用の回収カプセル・地上での高頻度回収体制構築(回収船等)

その他

- NASAは将来的に月や火星のレゴリス等の宇宙環境原料活用も視野に研究を進めている

ユースケース



■宇宙空間作物栽培

- レタス等の葉物野菜や花の栽培に成功し、実際に宇宙飛行士が食用
- 某米国企業は23年に民間で初めて栽培ハウスをISSに設置し、宇宙空間における持続可能な食糧自給を目指す



■新種開発

成長パターンと遺伝子発現に関する新データを獲得し、小麦や大豆等の食料安全保障確保に欠かせない作物の病害虫や環境ストレス(温度、日射量、降水量等)耐性の高い品種を地上で開発



■農業における化学肥料利用量低減

微小重力環境での微生物の挙動や遺伝子発現変化より新データを獲得し、地上での栽培における化学肥料依存を低減し、より人体影響の少ない耕作を実現

商業有人低軌道の利用ニーズ例：観光

民間の宇宙旅行者数は増加傾向にあり、さらなる需要拡大に向けて、金銭面や身体的なハードルの解消を目的とした、宇宙滞在の快適性向上や魅力の強化、ターゲット層拡大に向けた多様な取り組みが進められている。

現状

- 2021年が宇宙旅行元年といわれ、民間人の宇宙旅行者は増加傾向にある。
- 一方で、宇宙ステーションに滞在する旅行は高額な費用や、訓練にかかる時間的拘束、安全面などでの心理的ハードル等、いまだにハードルが高く、需要拡大のボトルネックとなっている

必要技術・課題

- 輸送代の削減に向けた輸送機の再利用技術
- 観光商品化に向けた高付加価値な船内体験設計
- 長期滞在を支える居住性向上技術
- 宇宙酔い・体調変化に対応する医療モニタリング技術

その他

- 宇宙旅行の中でも、軌道上まで到達せず短時間の宇宙空間滞在を主眼とするサブオービタル観光とステーションなどに滞在し軌道上を数週間周回するオービタル観光がある

ユースケース

■身体条件の多様化

小児がんサバイバーであり、義肢を持つHayley Arceneaux氏の宇宙飛行が実現（サブオービタル飛行）



■宇宙空間の快適な環境設計

Starlab社はHilton、Journeyと提携し、ステーション滞在体験価値や快適性の向上を図っている

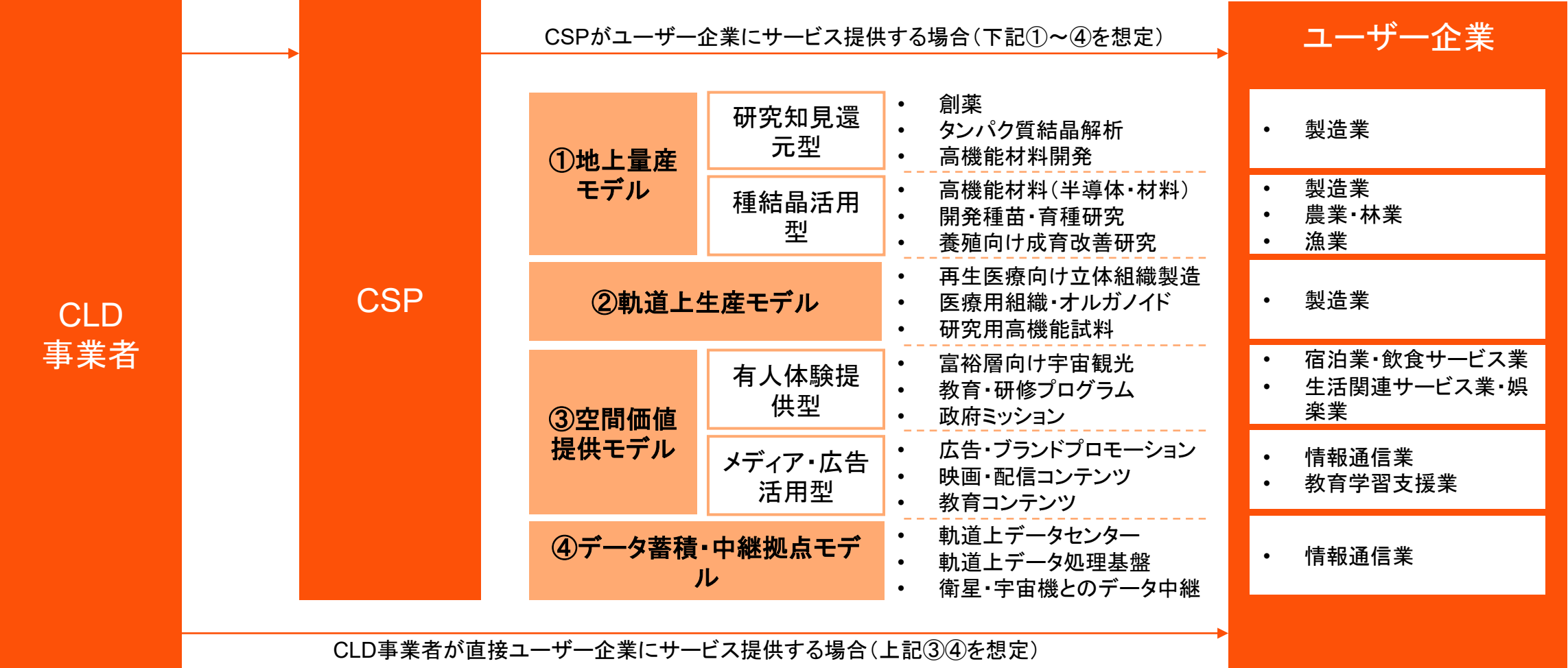
■宇宙船での最高級食事体験

Space VIPは、宇宙船ネプチューン号の中でのミシュラン獲得シェフによる食事体験サービスを提供（サブオービタル飛行）



商業有人低軌道における多様なビジネスチャンス

商業有人低軌道を活用した事業の成立モデルには以下のようなパターンが想定されるとともに、多様な業種の企業に活用・参入可能性があると考えられる。



まとめ

NASAはISS退役後の低軌道活動について、政府主導の運用から民間事業者が運営する商業宇宙ステーション利用へ移行する方針を進めている。今後、いずれのCLD選定・移行ケースにおいても、様々な分野における利用拡大が重要であり、日本企業にとっても活用・参入可能性を検討する好機である。

- ✓ ISS後の低軌道活動は、政府主導から民間事業者が運営する商業宇宙ステーション活用モデルへ移行しつつあり、NASAのCLDプログラムでは民間事業者による開発・実証が進められている。
- ✓ 商業有人低軌道活動は、政府、CLD事業者、CSP、輸送・建設・運用関連事業者、低軌道利用ユーザー企業等の多様なステークホルダーによりエコシステムが形成されていくと考えられる。
- ✓ 利用観点では、微小重力、宇宙曝露、地球近傍、有人対応等の特性を活かし、創薬・バイオ、半導体、情報通信、農業・食品、観光等様々な産業・領域での活用が期待されており、実際に取り組みが進んでいる。
- ✓ 日本企業にとっては、市場の広がりが期待できる部分もあり、自社事業との接点を見極め、商業有人低軌道の活用・参入可能性を検討する好機と言える。

Thank you