



電子ビーム溶接による金属・レゴリス材料の
革新的接合技術の研究開発について

Space Quarters

The Pioneers of Space Architecture

Background

宇宙における活動の多様化

軌道上サービス

大型構造物組立・製造
プロダクト製造
衛星修理・機能追加



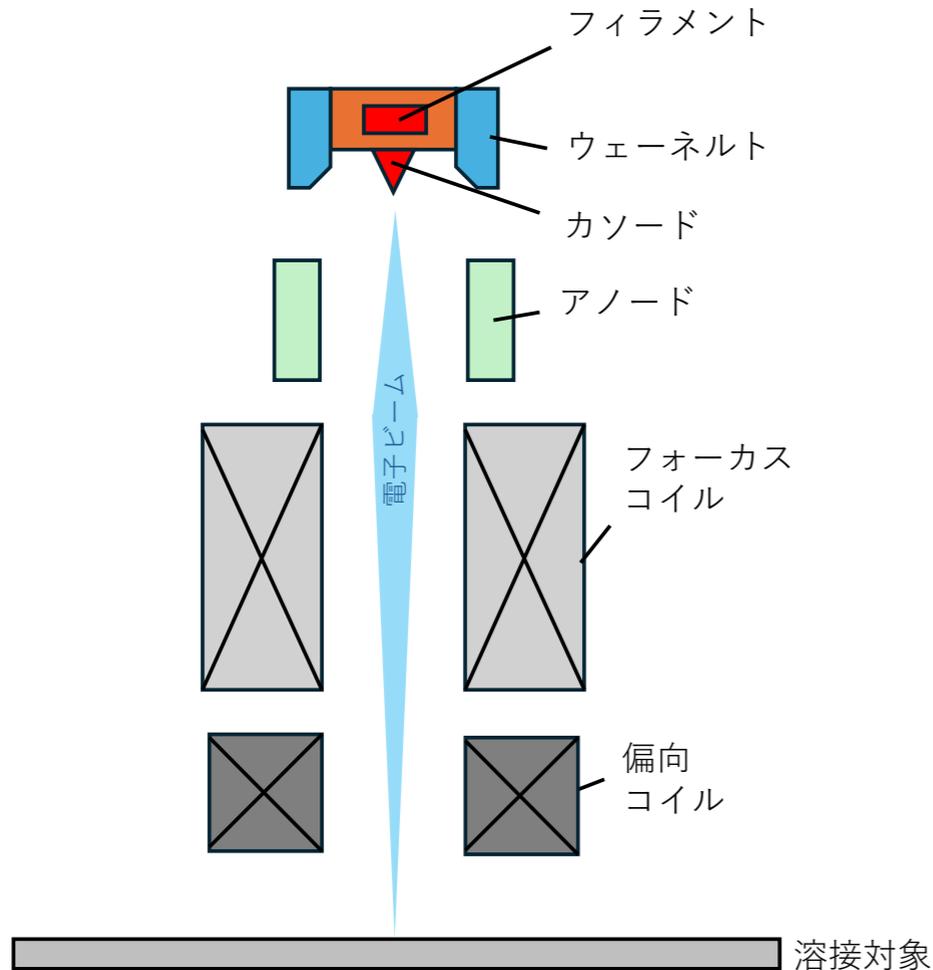
月面開拓

月面基地建設
機器補修
月軌道大型構造物組立

宇宙空間においてもものをつなげる・組み立てる需要が高まっている。

電子ビーム溶接

地上の産業では60年以上の歴史がある成熟した技術



動作原理

- ①フィラメントを加熱することで熱電子を放出させる
- ②カソードとアノード間に高電圧を印加し、電子を加速させる
(カソード：マイナス、アノード：GND)
- ③ウェーネルトで電界を制御し電子を1次収束させる
(最終的なビーム径に影響する)
- ④フォーカスコイルを用いてローレンツ力で電子を2次収束させる
- ⑤偏向コイルを用いてローレンツ力で電子ビームを曲げる

電子ビーム溶接の宇宙利用における優位性

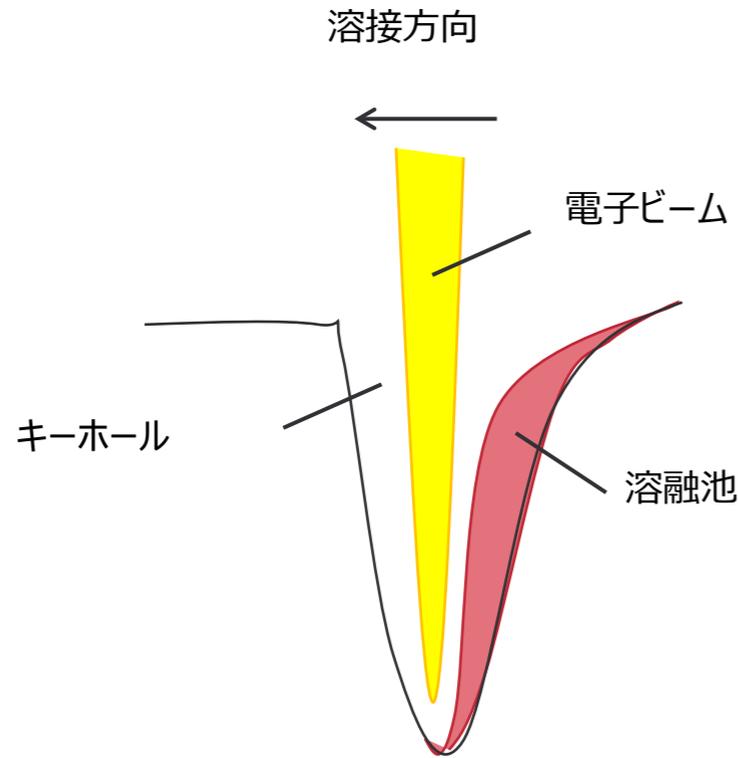
宇宙空間利用に非常に適した技術であり、実績のある技術

- ✓ 真空中で施工可能
- ✓ 接合資材が不要
- ✓ 非常に高いエネルギー効率
- ✓ 母材同士を接合可能
- ✓ 安定したキーホールモードの実現
- ✓ 宇宙空間で過去に接合実証済み



キーホールモード

非常に高い入熱エネルギー密度で局所的に材料が蒸発させ、その反作用でキーホールを形成、深部への直接的な入熱を可能とする



高真空化でより深い溶けこみを実現される

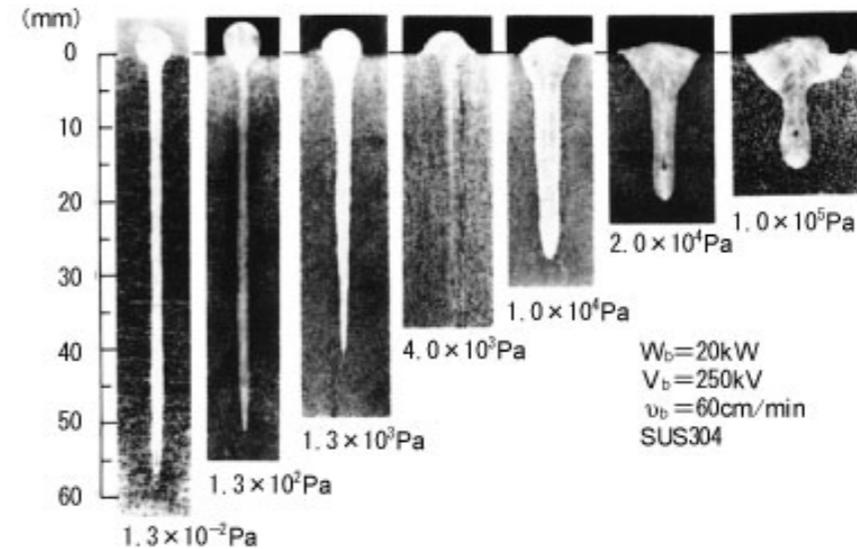


図1 加工雰囲気による電子ビーム溶接ビード断面の変化²⁾

© (社)日本溶接協会, 2004

既存電子ビーム溶接技術の宇宙利用の課題

地上ではその利用目的から大型・高出力・高重量が主流であり、
小型・省エネ・軽量に特化した研究開発は推進されてこなかった



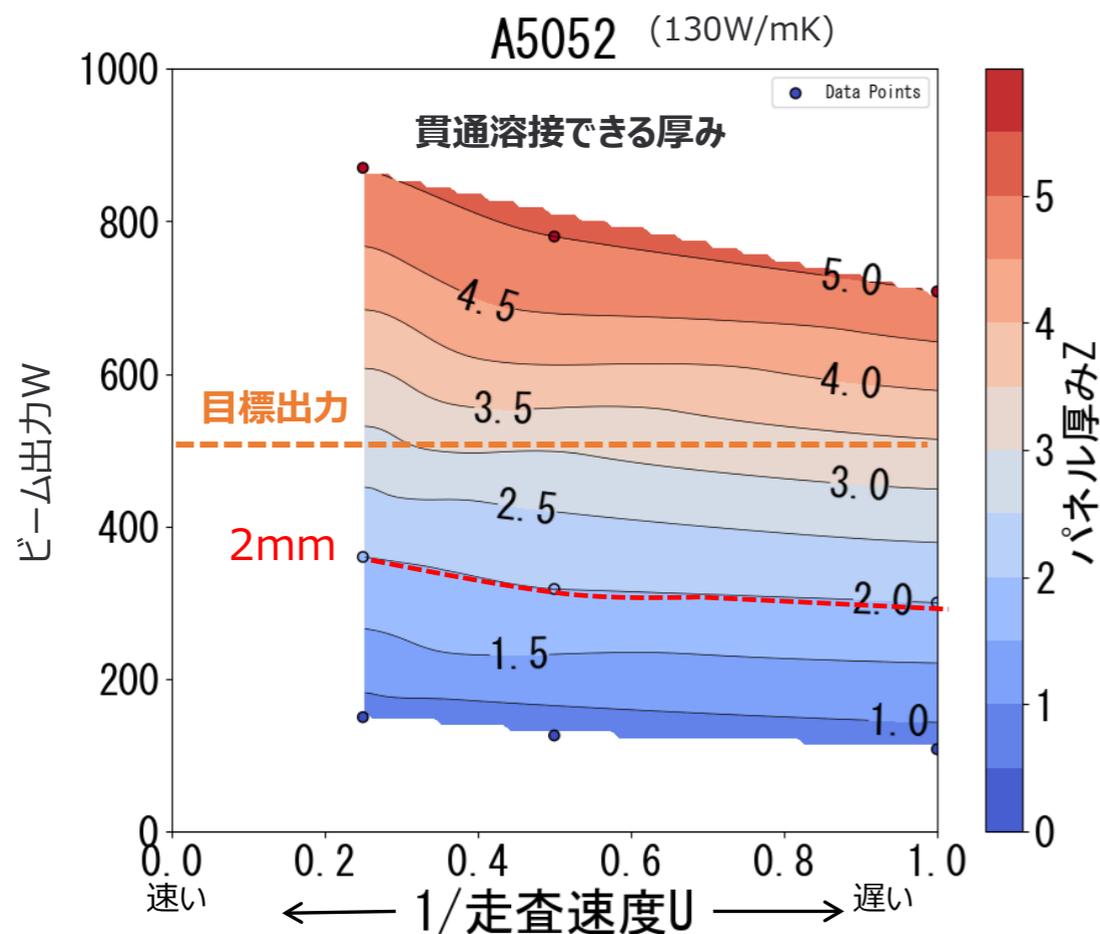
©STEIGERWALD



©NEC

宇宙利用に特化した省エネルギー金属溶接技術の開発

プロセスマップ作製し宇宙利用に適したパラメータを選定

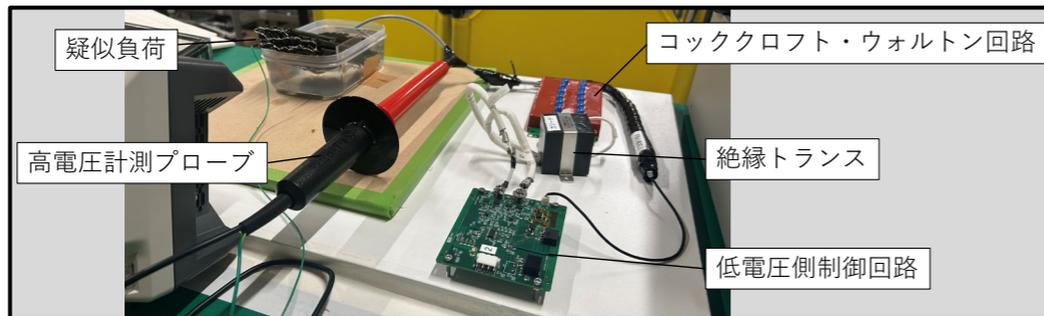


500W以下の出力で良好な接合を確認

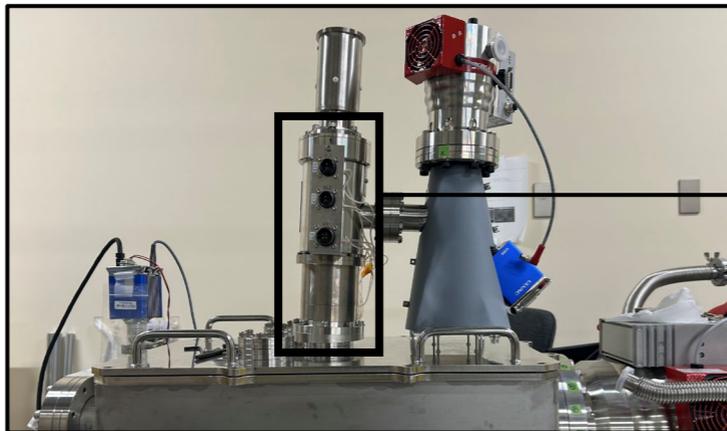
小型・軽量電子ビームユニットの開発

前記結果をもとに仕様を決め、小型電子ビームユニットを開発

高圧電源系



電子銃



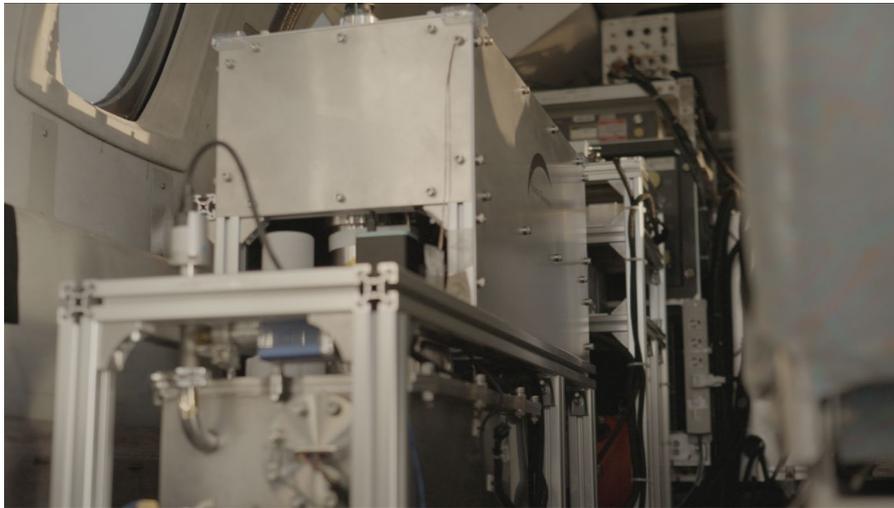
重量:7.0kg、 Φ 80mm、消費電力:400W

無重力・高真空溶接実験

微小重力環境における接合実証も完了



小型飛行機・社内開発小型スペースチャンバーにより、
無重力・宇宙真空環境での電子ビーム溶接試験を実施。
複数の金属材料での良好な接合状態を確認。



軌道上組立システムへの組み込み

溶接ユニット小型化により、小型ロボットへの搭載を実現

DAIQ system : 独自の小型協調型軌道上溶接組み立てシステム

軌道上組立に必要なパネル輸送、設置、接合・検査を一気通貫で実施可能なシステム

接合プロセス

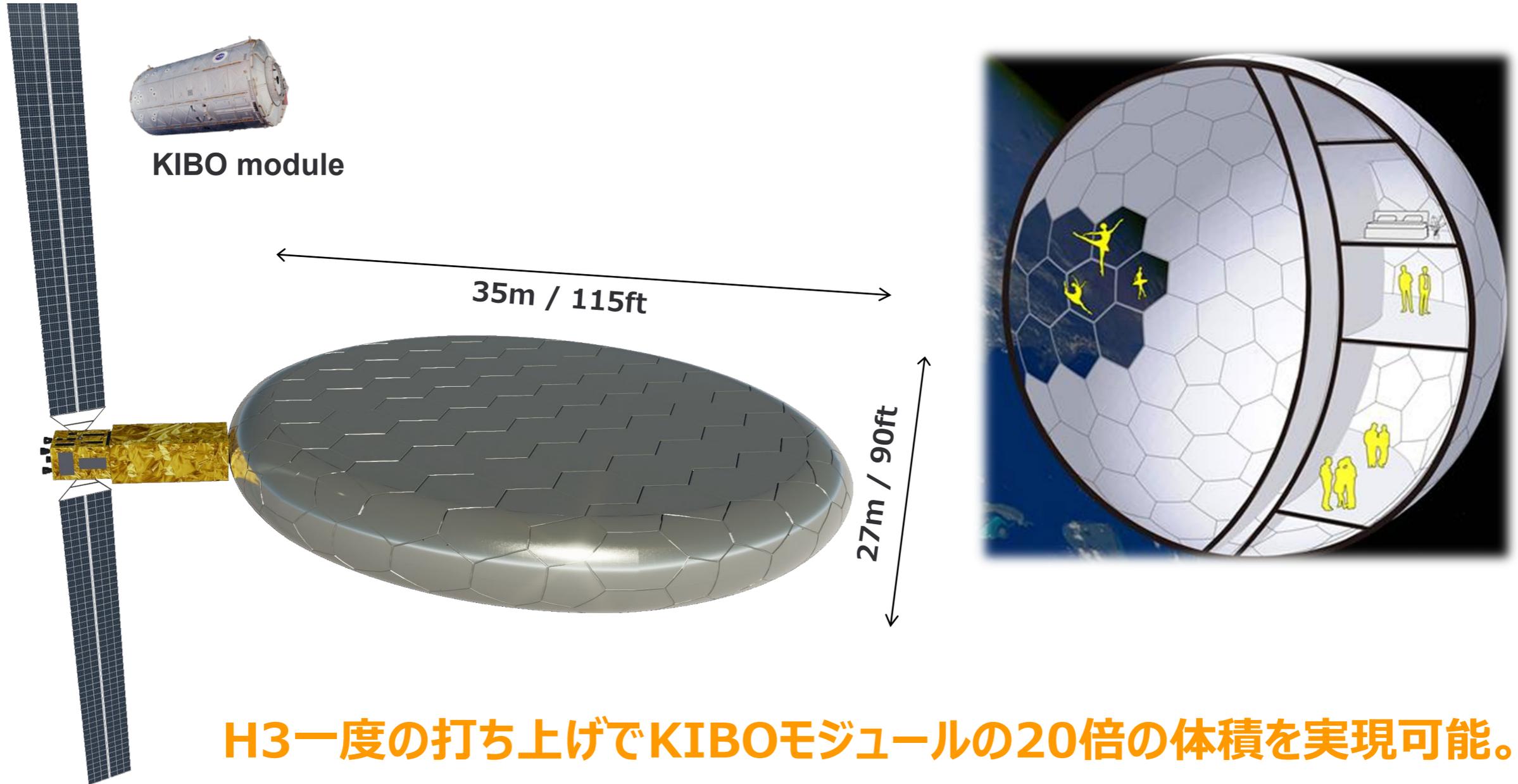
Launch and transport

Take out panels

Assembling panels

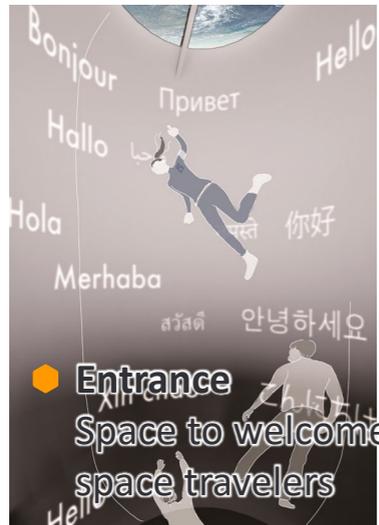
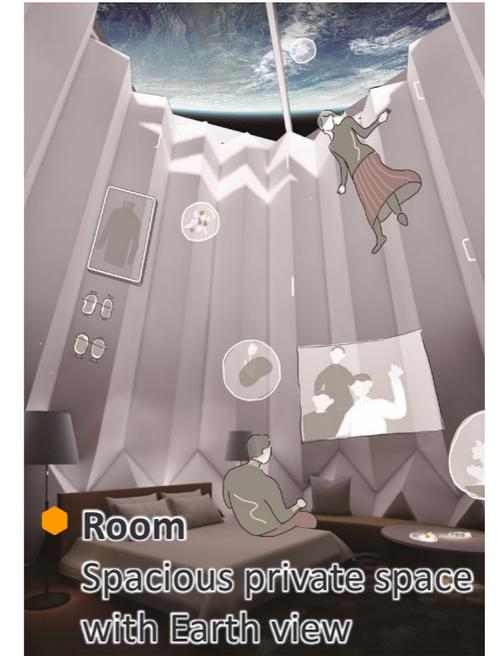
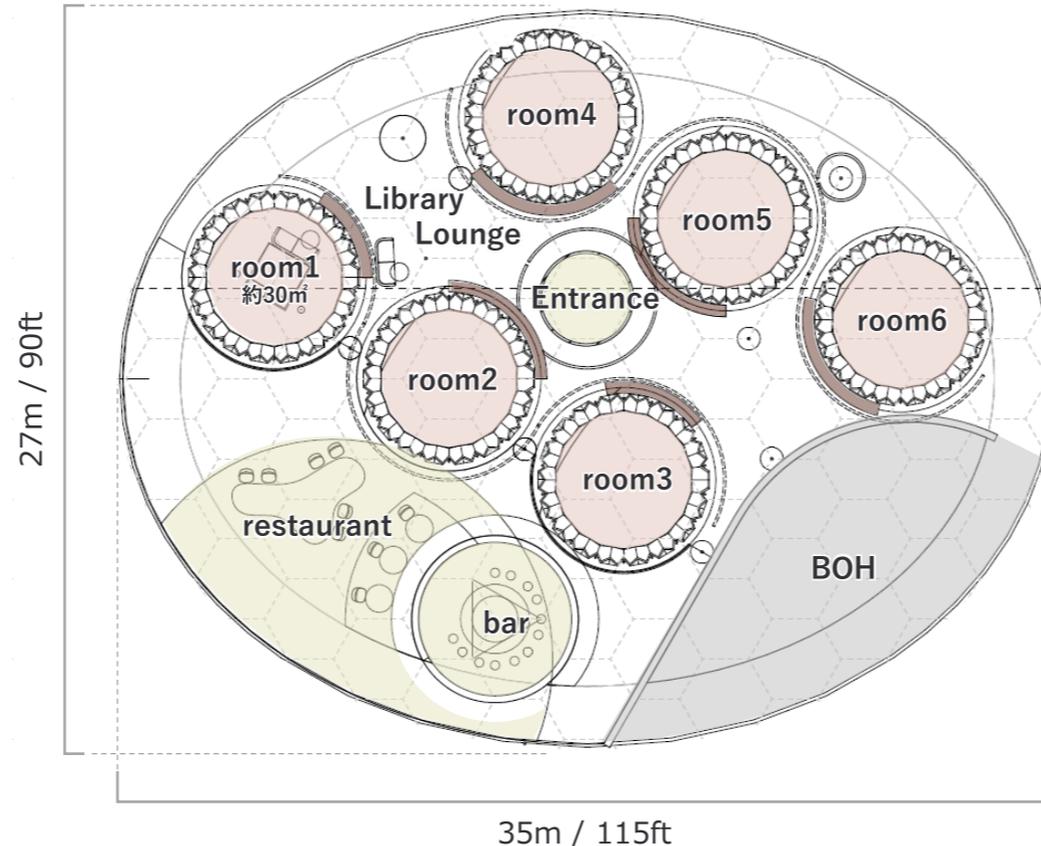
Welding the edge

What we can build | Station module



Example of our module | Space Hotel

従来のRoom型のモジュールでは提供不可能な、
リッチな建物体験の提供が可能。

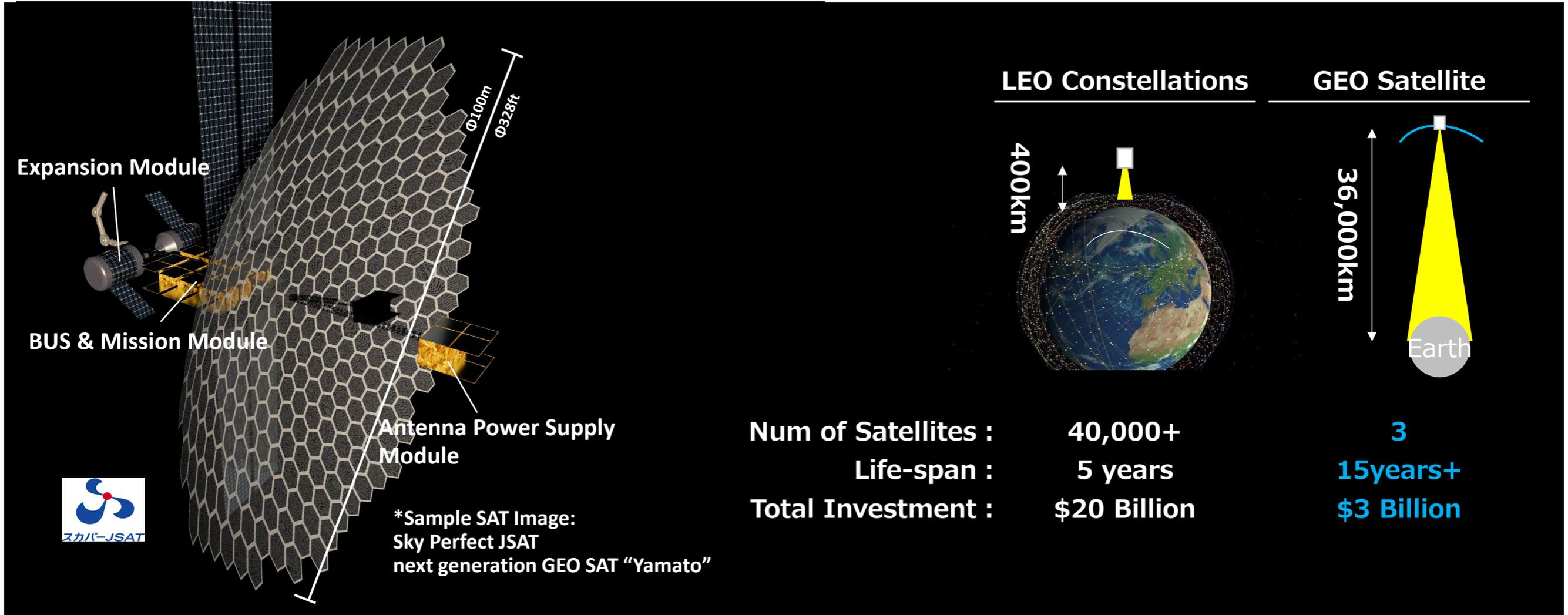


● BOH
Storage area for ECLSS, equipment, and accommodations for staff



What we can build | Gigantic Antenna Reflector

地上で精度を出したパネルを、調整しながら組み立てることで
高精度の巨大アンテナリフレクターの建築が可能



Milestone

軌道上サービスツールとして2027年、
軌道上組立サービスとしては2031年の商用化を目指す

2026年

Micro G Welding
+ TVAC test

2027

Welding demo
on ISS

2029

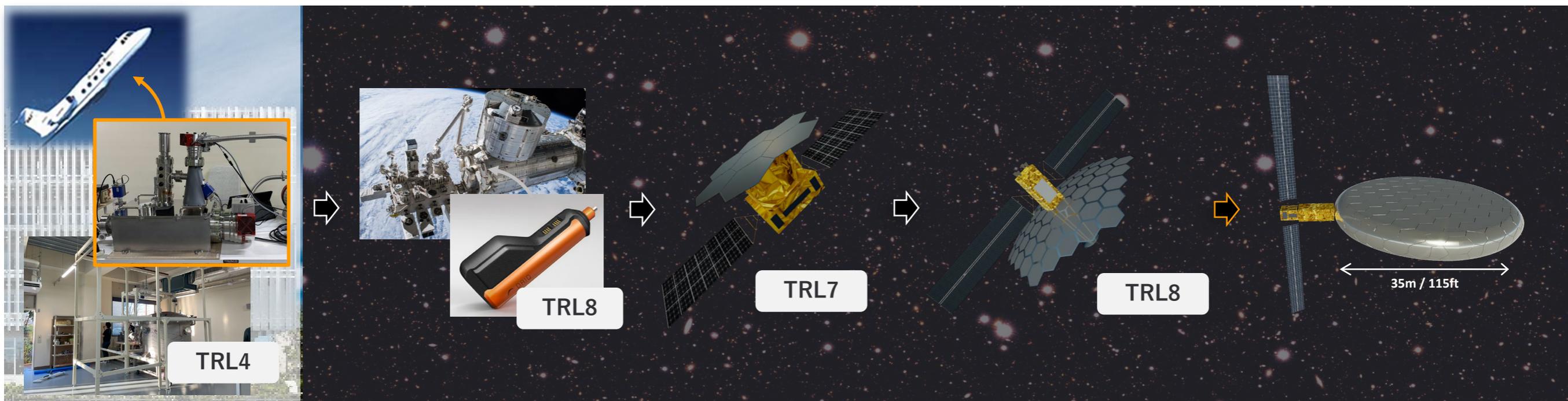
In-space Welding
assembly demo

2031

Construction
Demonstration

2034~

Construct Commercial
Station/module



Solution for Moon

現地組み立て、月面資源を利用しインフラを建設

現状

完成体の輸送

理想

建材の輸送
・月面組立

建材の
月面製造・組立

レゴリス焼成体の建材利用における課題

焼成サイズが限定的かつ接合資材なしで成立する既存接合技術がない

① 低い熱伝導率 × 高真空 × 点接触

↳ 熱が非常に伝わりにくく、深さ方向への入熱が困難

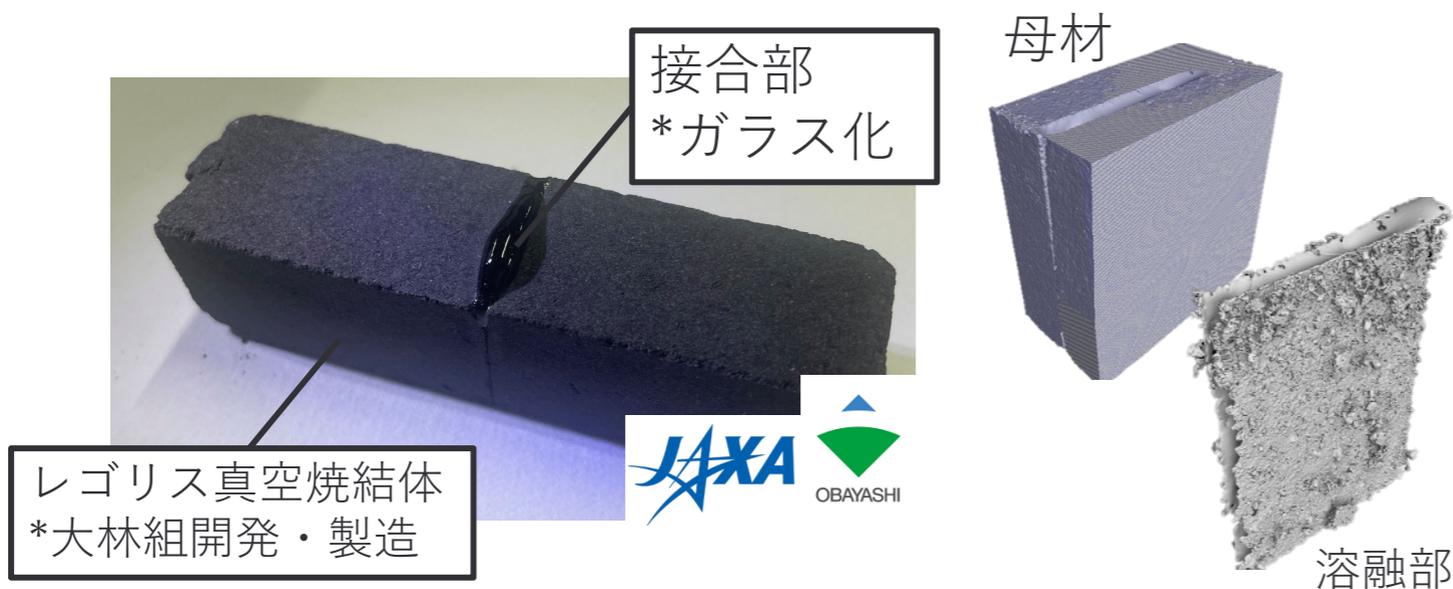
- ✓ 電気/太陽光炉等で表面からの入熱で大きな焼成体を作るのは非効率的
- ✓ 熱伝導モードでは奥まで熱が入らず一定厚さ以上の溶接は困難

② SiO₂等の無機化合物の混合物であり融点が高くかつ複合的

③ 溶融するとガラス化し脆性が高く熱ひずみより割れてしまう

レゴリス焼結体接合技術

世界初でレゴリス建材溶接技術を開発し、接合実証に成功



電子ビーム溶接に適した焼結体を大林組と共同開発

レゴリス接合に特化したキーホールモードを利用した電子ビーム入熱・接合手法を開発



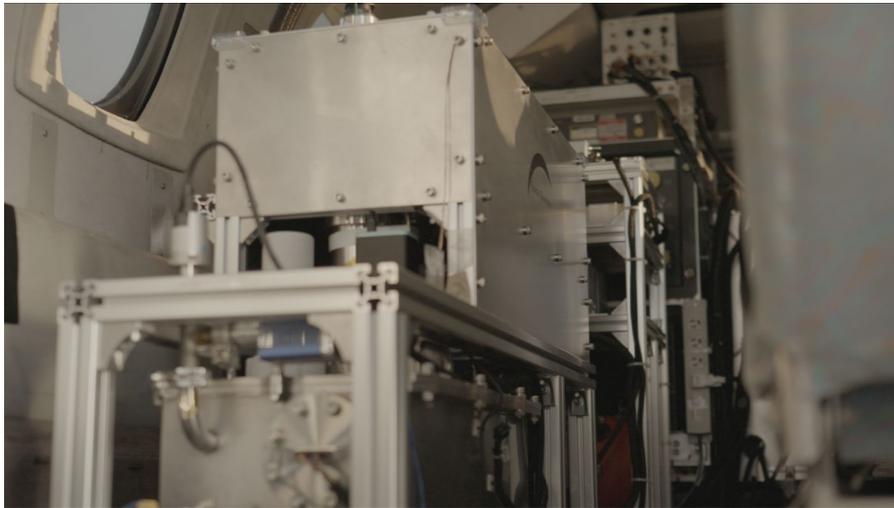
厚さ20mmの貫通溶接、過去の研究で示された焼結体強度の30%以上という目標値を達成

月面重力・高真空レゴリス溶接実験

1/6Gにおけるレゴリス溶接にも世界で初めて成功

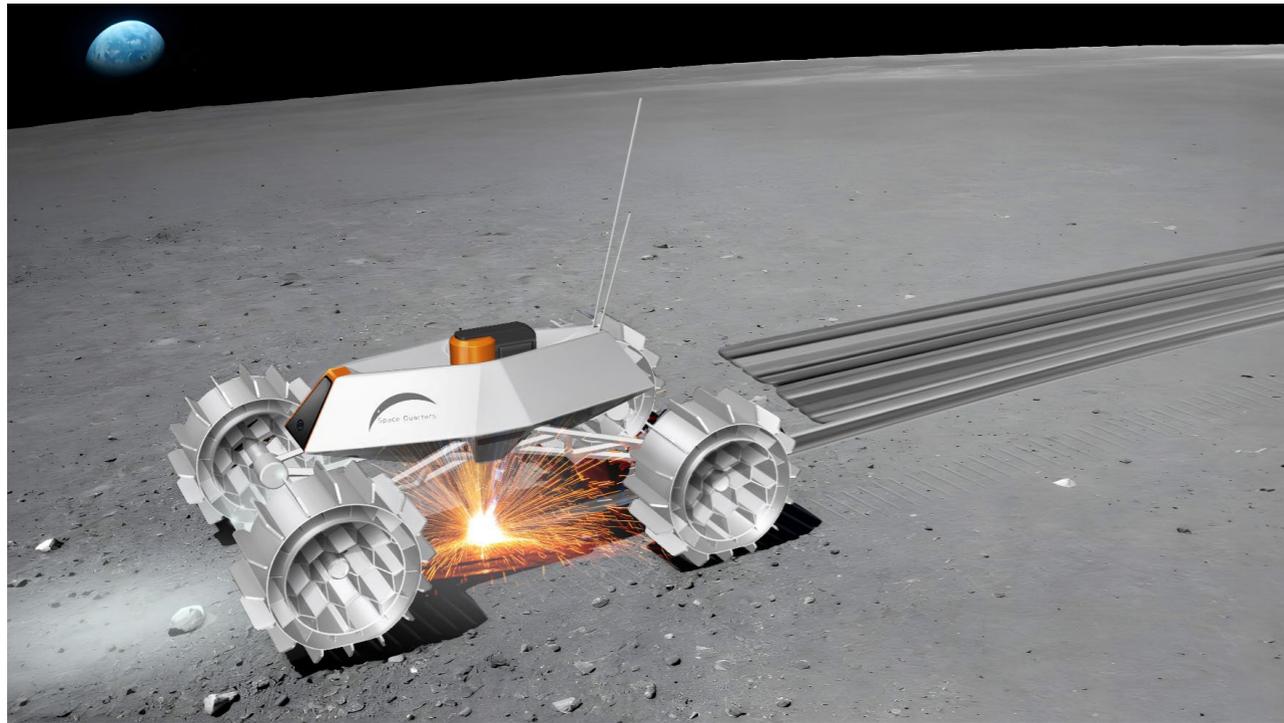


小型飛行機・社内開発小型スペースチャンバーにより、
1/6G・宇宙真空環境での電子ビーム溶接試験を実施。
複数のレゴリス焼結体で良好な接合状態を確認。

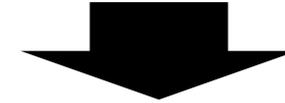


レゴリス接合技術の応用

レゴリス接合技術を応用し、月面直接凝固・舗装技術を開発



深さ方向への効率的な入熱・凝固物生成を実現

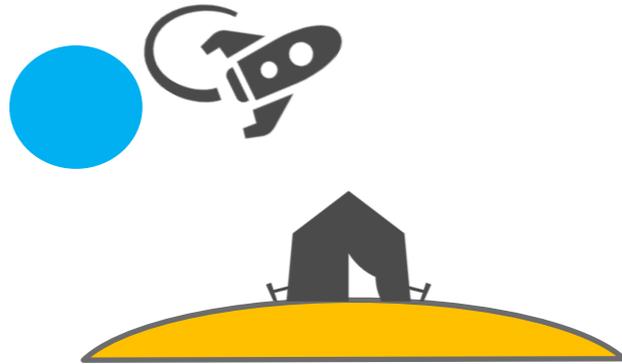


射場や道路の建設に利用

月面建築における電子ビーム利用の展望

対象構造物や建設手法に応じて幅広く電子ビームが利用可能

地球輸送型

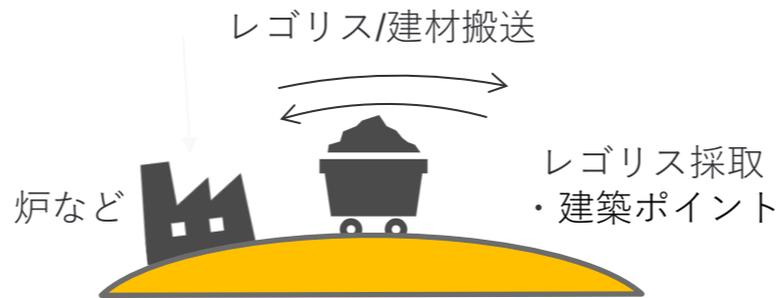


金属接合技術

月面資材（レゴリス）による建築

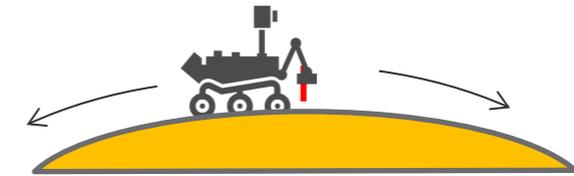
建材組立型

現地施工型



レゴリス接合技術

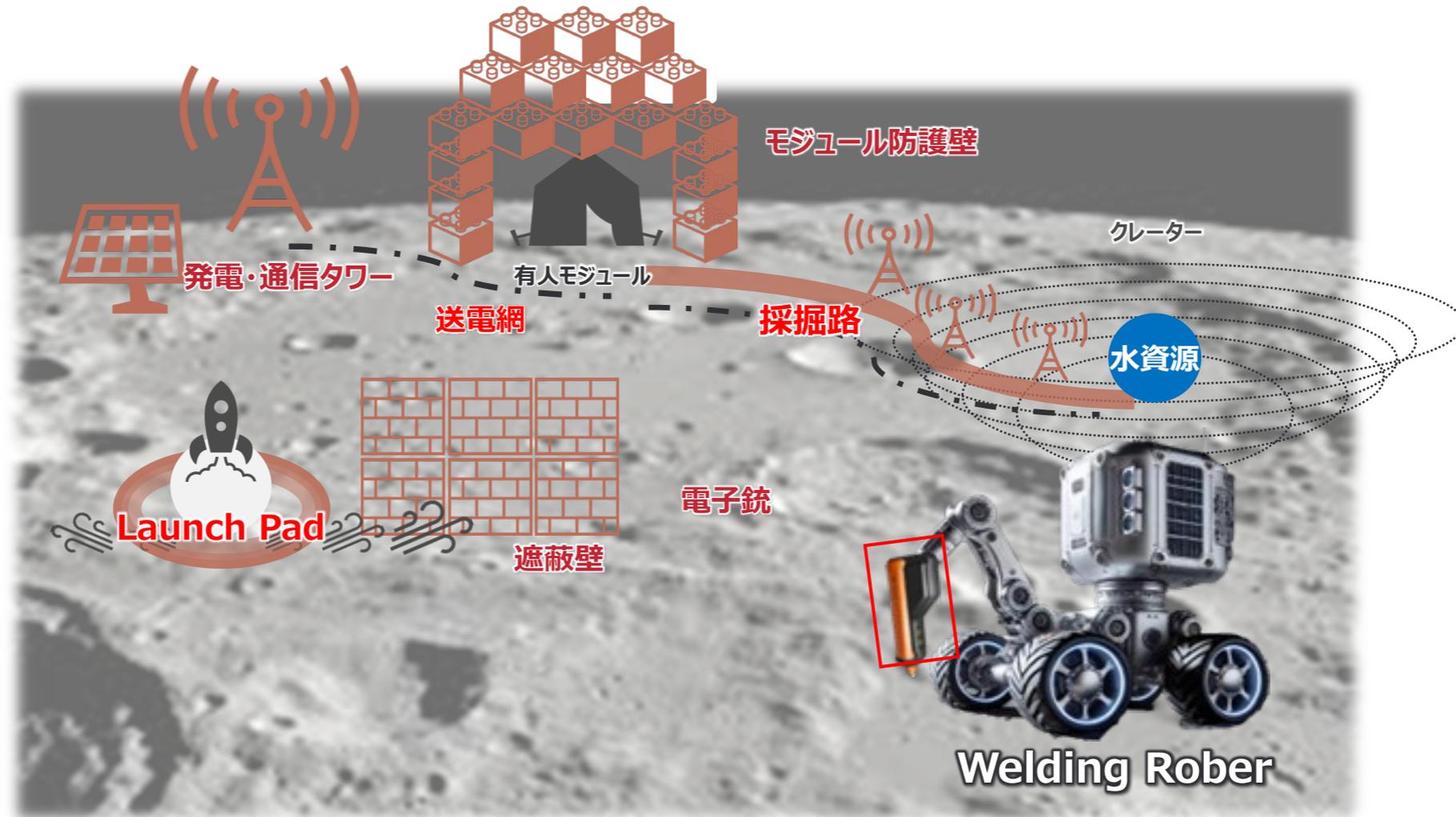
月面舗装・建材の接合



レゴリス凝固技術

月面アプリケーション

種々の必要不可欠な月面インフラ建設に利用可能



Milestone

2030年代初頭で月面実証を行い、
そこから速やかに実月面インフラ建設への技術投入を目指す

2026年

Micro G Welding
+ TVAC test

2027

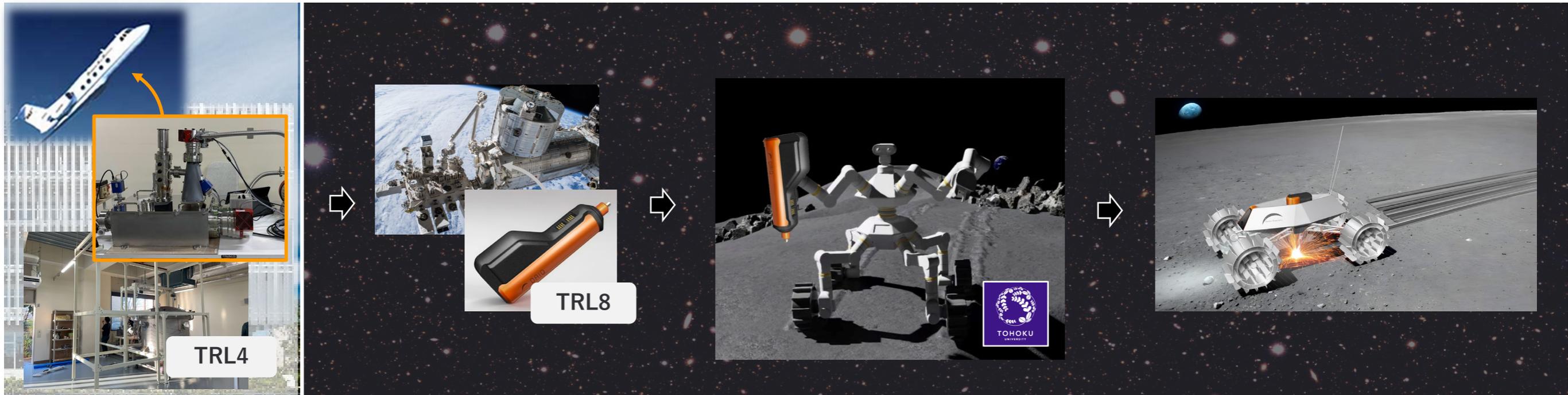
Welding demo
on ISS

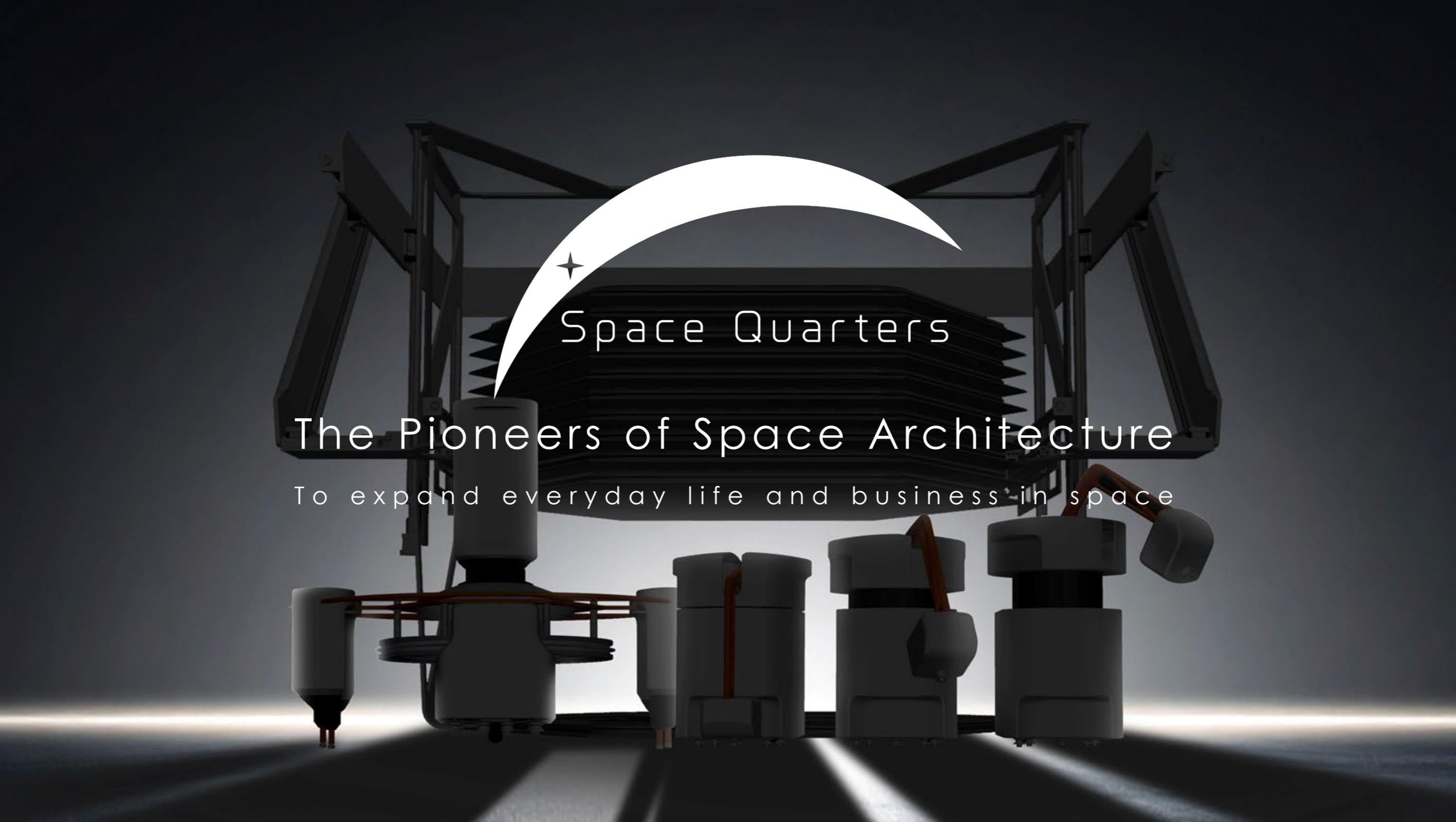
2031

Regolith construction
Demonstration

2032~

Construct Luna
Infrastructure





Space Quarters

The Pioneers of Space Architecture

To expand everyday life and business in space