

フロンティアビジネス研究会
月実証分科会
公開シンポジウム発表資料

July 23th, 2026

リーダー：ispace、参加メンバー（順不同）：栗田工業、荏原製作所、安藤・間

月実証分科会概要

目的	参加企業様に、月面設置機器開発や月面実証に必要な情報・検討事項の理解を深めてもらい、月面産業参入の後押しをする。
WG内容	分科会WG参加企業様へ、月面設置機器開発に必要なこと・考慮すべきポイントをispaceよりレクチャーする。 ワークショップにて参加企業各社様の自社機器開発へ反映または検討するべき内容を簡単にレポートしていただく。 上記レポート内容をまとめてフロンティアビジネス研究会全体会にて発表。

講義内容難しさ、課題

全4回にわたる講義（自社テーマ策定・月への輸送／ランダー搭載・宇宙環境・宇宙機運用）を実施した。
今回はそのうち講義３（宇宙環境）と講義４（宇宙機運用）の講義内容とワークショップ結果を紹介する。

講義 1	ispace: 月面実証に向けた自社テーマ策定ワーク ワークショップ ： 次回に各社分析およびテーマ共有
講義 2	ispace:月への輸送のイメージ（ランダー搭載に関するご説明） ワークショップ ： 何をペイロードにしようとするかの案出し
講義 3	宇宙環境と部品材料の説明 ワークショップ: 各社想定ペイロードで懸念される環境・想定される材料
講義 4	宇宙機運用の方法

講義・ワークショップ

1.ペイロードに加わる宇宙環境負荷（講義7分）

- 各社様の想定機器でどのような宇宙環境が懸念されるか（ワーク3分・発表12分）

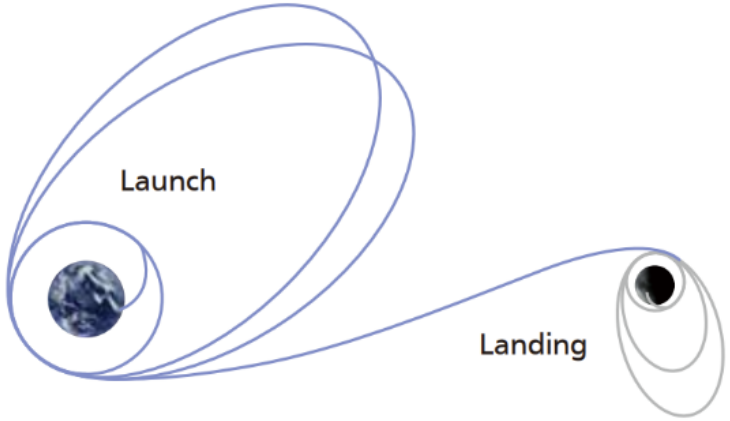
2.宇宙で使える部品材料の選定（講義7分）

- 各社様でどのような新規材料・部品が想定されるか（ワーク3分・発表12分）

3. ペイロードを使った月面運用のイメージ（5分）

ペイロードに加わる宇宙環境負荷ッションの難しさ、課題







Launch
<12hours

Earth Orbiting	Lunar Transfer	Lunar Orbiting	Lunar Surface
10 – 25 Days	5 Days	16 – 30 Days	~10 Days

	打ち上げ時	地球周回	月への遷移	月周回／着陸	月面
振動／音響／衝撃	○	×	×	△ (着陸時／弱い)	×
減圧(真空環境)	○	△ (高真空を維持)	△ (高真空を維持)	△ (高真空を維持)	△ (高真空を維持)
温度サイクル	△ (分離～起動まで)	△ (姿勢による)	△(姿勢による)	○ (蝕サイクル)	○ (越夜するなら)
放射線	×	○(ヴァンアレン帯通過)	△	△	△(期間による)
塵・レゴリス	×	×	×	○ (着陸時)	○

宇宙環境を考慮した試験 ミッションの難しさ、課題

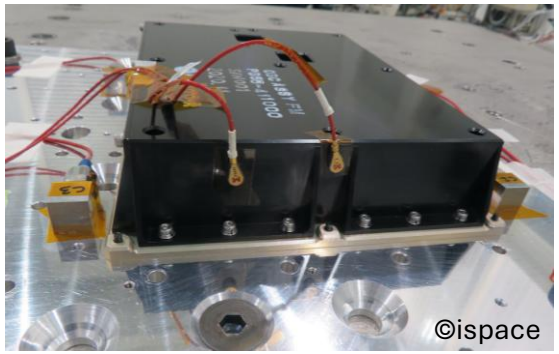
分類	試験項目	試験目的	備考
機械環境 (主に打ち上げ)	ランダム振動試験	• 打上げ時の機械環境に耐えられるかの確認。 • EM品で設計検証に高レベル (QT)、FM品に打上げ相当(AT)の試験を行う。	• ispaceより条件を提示。 • 射場安全審査のためのも必須。
	正弦波振動試験	• 同上。 • より低周波数でロケット／宇宙機との共振をチェック	• 同上
	モーダルサーベイ	• 機器の共振周波数を確認する。	• ロケット／宇宙機は固有値が100Hz以下なので、搭載品は140Hz以上が業界標準
	衝撃試験	• ロケットからの分離衝撃に耐えられるかの確認。	• 着陸の衝撃よりも厳しい想定
熱・真空環境	熱サイクル試験	• 高温／低温で機能を発揮できるかの確認。 • FM品に対しては初期故障除去の意味合い。	• ispaceから提示の条件にマージンを考慮
	熱真空試験	• 宇宙模擬の真空環境(対流が利かない)で温度維持ができるかの検証。	• 同上
宇宙放射線	放射線試験	• 宇宙放射線環境における部品の耐性を確認する。部品／材料レベルもしくは組立品レベルで実施	• ispaceより放射線環境条件を提示。 • 実施は必須ではなく、劣化が致命的な部位／部材について実施することが多い

宇宙環境試験の例①ションの難しさ、課題

- 振動試験

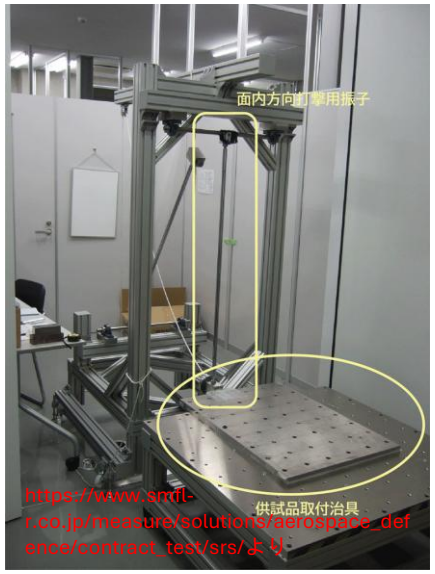


振動試験装置



供試体への
加速度センサ取付

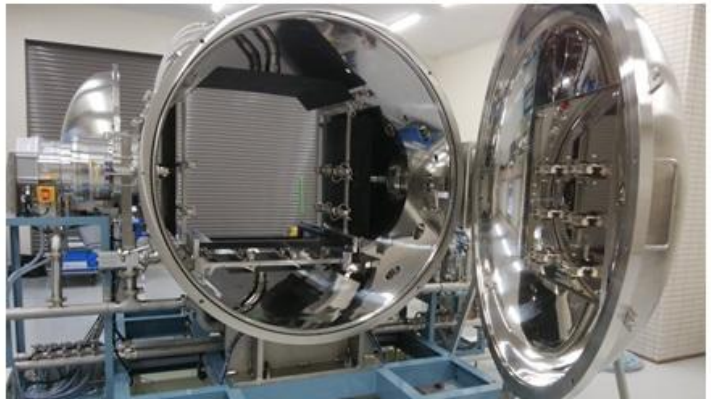
- 衝撃試験



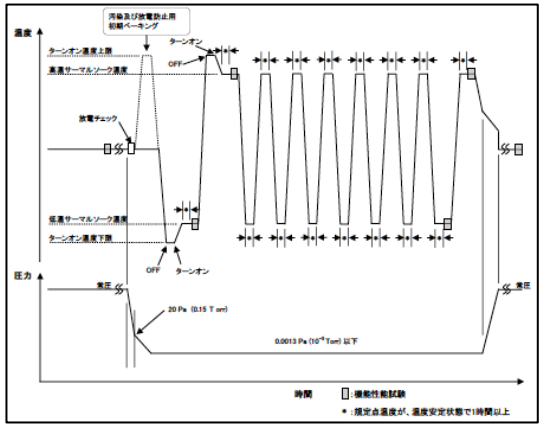
ハンマリング
衝撃試験装置

SMFLレンタル
HPより

- 熱真空試験



熱真空試験装置 福井工業大学HPより
https://www.fklab.fukui.fukui.jp/kougi/machines/list/00817.html



JERG-2-130-HB006環境試験信頼性要求ハンドブックより

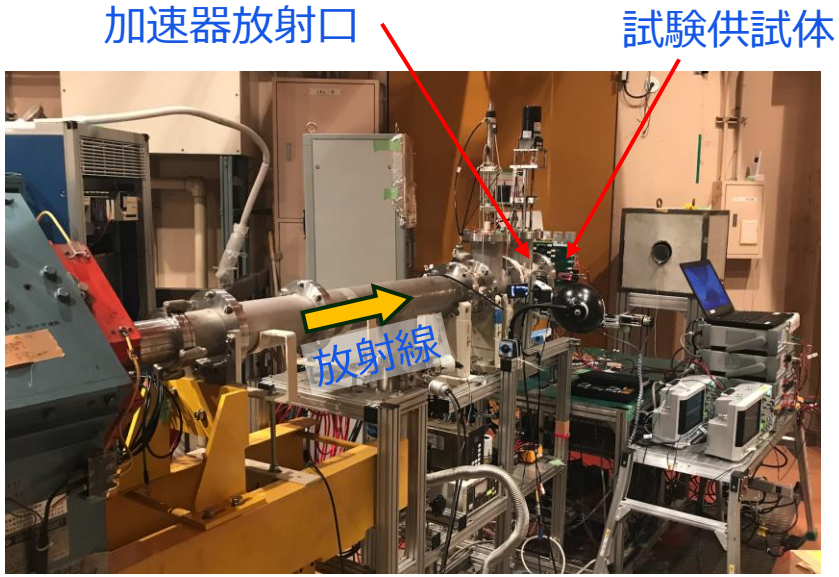
熱真空試験プロファイル

宇宙環境試験の例② ョンの難しさの難しさ、課題

- 放射線試験



トータルドーズ試験実施例



シングルイベント試験実施例

ワークショップ①：各社様の想定機器でどのような宇宙環境が懸念されるか

荏原製作所様回答

「月着陸機スラスターポンプ」を想定

■振動：
・出荷前破損・初期不良

■温度サイクル:
・材料選定の制約

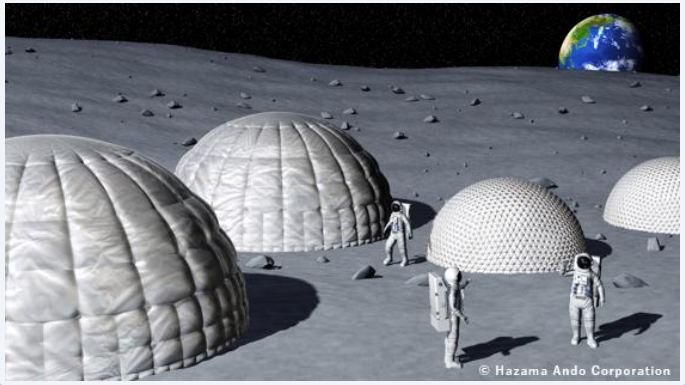
■レゴリス:
・ポンプ内部不具合

■流体：
・凝固・気化による運転異常

安藤ハザマ様回答

「宇宙シェルターを構成する レゴリスパック」を想定

■月面環境における懸念点
・耐放射線性
・月面での温度変化
・レゴリスの帯電
・真空及び低重力環境における 施工性



栗田工業様回答

「水処理装置」を想定

■打上時振動：
・水処理装置の破損、水漏れの発生
■真空:圧力変化：
・（加圧・減圧の繰り返し）部材からのオフガス発生による機器の故障
■温度サイクル:
・水が凍結（夜）または沸騰（昼）し内圧上昇により装置破損
・１度の凍結で破損しなくとも、凍結・融解の繰返しによる破損の可能性あり
■放射線:
・装置部材（特に樹脂部材）の劣化
・電子機器のエラー発生、テレメトリデータ破損。
■レゴリス:
・着陸時に舞い上がったレゴリスがカメラ等の機器に付着し機能低下

講義・ワークショップ

1.ペイロードに加わる宇宙環境負荷（講義7分）

- 各社様の想定機器でどのような宇宙環境が懸念されるか（ワーク3分・発表12分）

2.宇宙で使える部品材料の選定（講義7分）

- 各社様でどのような新規材料・部品が想定されるか（ワーク3分・発表12分）

3. ペイロードを使った月面運用のイメージ（5分）

宇宙で使える部品材料の選定①

A-1 材料の選定での注意点

- **温度環境への対応**
  - 宇宙／月面で外に暴露される部分は温度変化が大きく注意が必要 (ひと声 -150~+150℃)

- **真空環境への対応**
  - 水分／有機成分の揮発＝アウトガスの量に注意 (ひと声 質量の1%が揮発しないこと)
    宇宙機関のデータベーを調べるか、試験して確認するか、が必要
  - 周辺の物を汚染しないという観点と自身が縮むことの影響がある
  - 潤滑剤(グリス類)の揮発が動作に影響する可能性もあり

- **放射線への対応**
  - 様々な線源による総体的な劣化（トータルドーズ）を懸念
  - 金属は感受性なし、分子構造で判断できるところもあり。樹脂材料の中には明確にボロボロになるものあり。

- **紫外線への対応**
  - 紫外線での劣化は、大気が無い分地上よりも厳しい

宇宙で使える部品材料の選定②

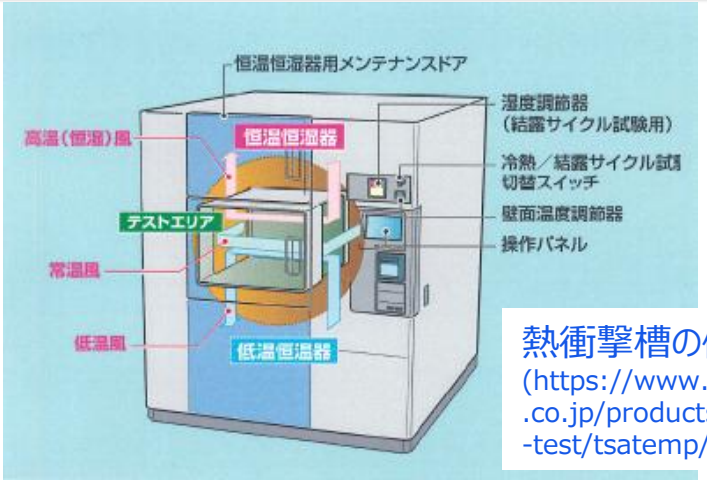
A-2 新規の材料を選ぶ時の検討／試験

- **温度環境への対応**
  - 材料のスペックを調査
  - 高温／低温のサイクルが心配な場合には温度サイクル試験を実施

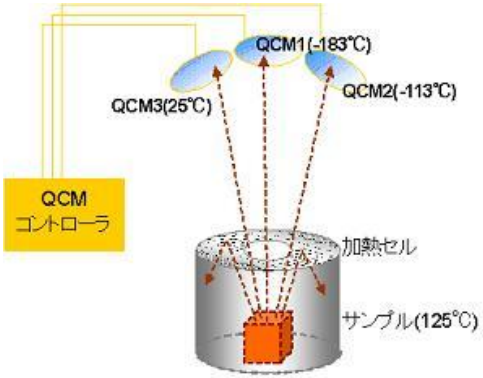
- **真空環境への対応**
  - かなり多くの材料は既にデータベースにあり
  - 新規材料は小クーポンサンプルを使ったアウトガス試験を実施
  - 他の材料で覆って真空暴露させないという手段も併用
  - 駆動部については真空中での寿命試験(連続動作)も検討

- **放射線への対応**
  - まずは材料としての宇宙実績をよく確認する。類似材料であれば耐放射線性を期待できる
  - トータルドーズ劣化の評価についてはコバルト60の放射線照射試験が有効

- **紫外線への対応**
  - 試験自体は地上品と同じ。宇宙／月面での紫外線量は非常に多くなることに注意



熱衝撃槽の例
(https://www.espec.co.jp/products/env-test/tsatemp/)



アウトガスレート測定装置概要
(https://matdb.jaxa.jp/OutgassingRate/OGR_explain_j.html)

ワークショップ②：各社様でどのような新規材料が想定されるか

荏原製作所様回答

「月着陸機スラスターポンプのシール材」を想定

【部材】
・シール部材（樹脂）が最大課題

【対策の想定】
・金属シールへの置き換え検討

安藤ハザマ様回答

「宇宙シェルター」を構成する『レゴリスパック』を想定

【部材】
レゴリスを入れる袋のシート素材

【対策の想定】
月面で長期間の設置をするため、耐放射線、耐温度変化、施工性が必要。

栗田工業様回答

「水処理装置の樹脂部材」を想定

【部材】
シール部材、水浄化用の機能性部材

【対策の想定】
・アウトガス量が少なく、放射線耐性のある材料の採用が必要。
・樹脂材料の使用が多いため、放射線耐性のある樹脂材料の選定、外部宇宙環境の影響を与えないユニット構造（保温、耐圧、放射線防護）が必要。

講義

1.ペイロードに加わる宇宙環境負荷（講義7分）

- 各社様の想定機器でどのような宇宙環境が懸念されるか（ワーク3分・発表12分）

2.宇宙で使える部品材料の選定（講義7分）

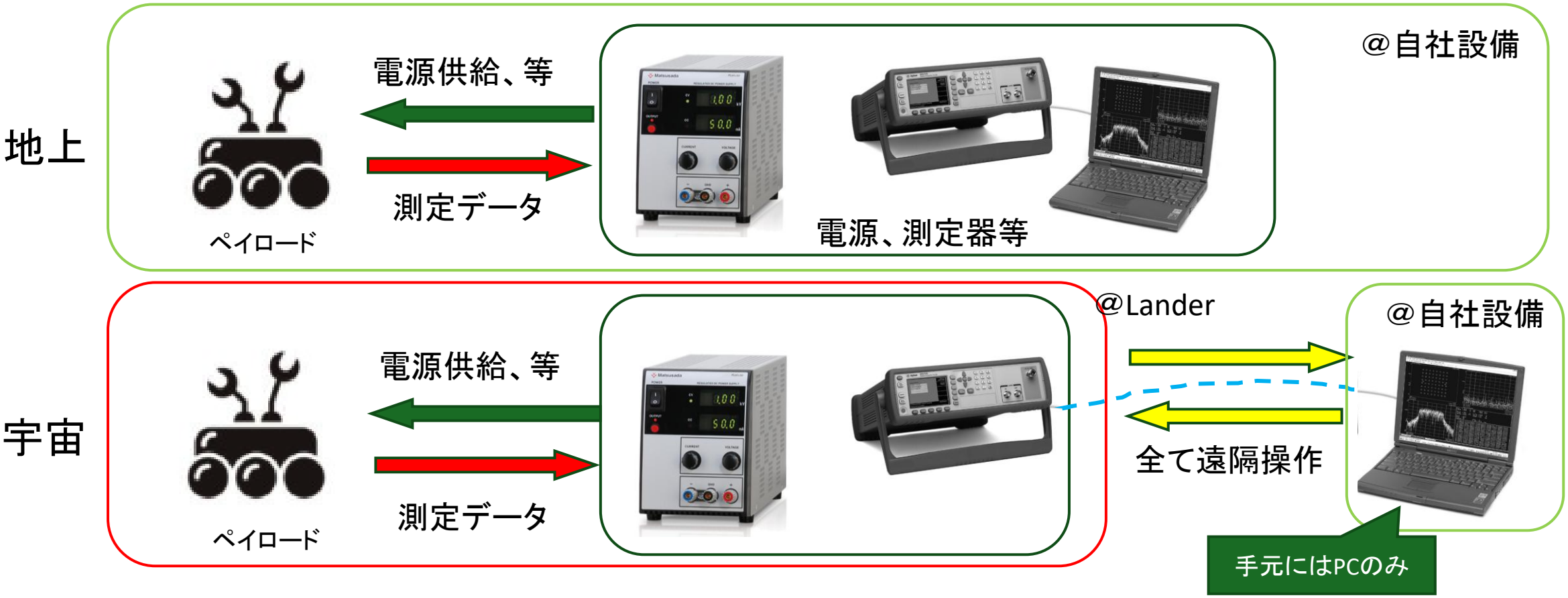
- 各社様でどのような新規材料・部品が想定されるか（ワーク3分・発表12分）

3. ペイロードを使った月面運用のイメージ（5分）

ペイロードを使った月面運用のイメージッションの難しさ、課題

- 宇宙実験では全てが遠隔操作

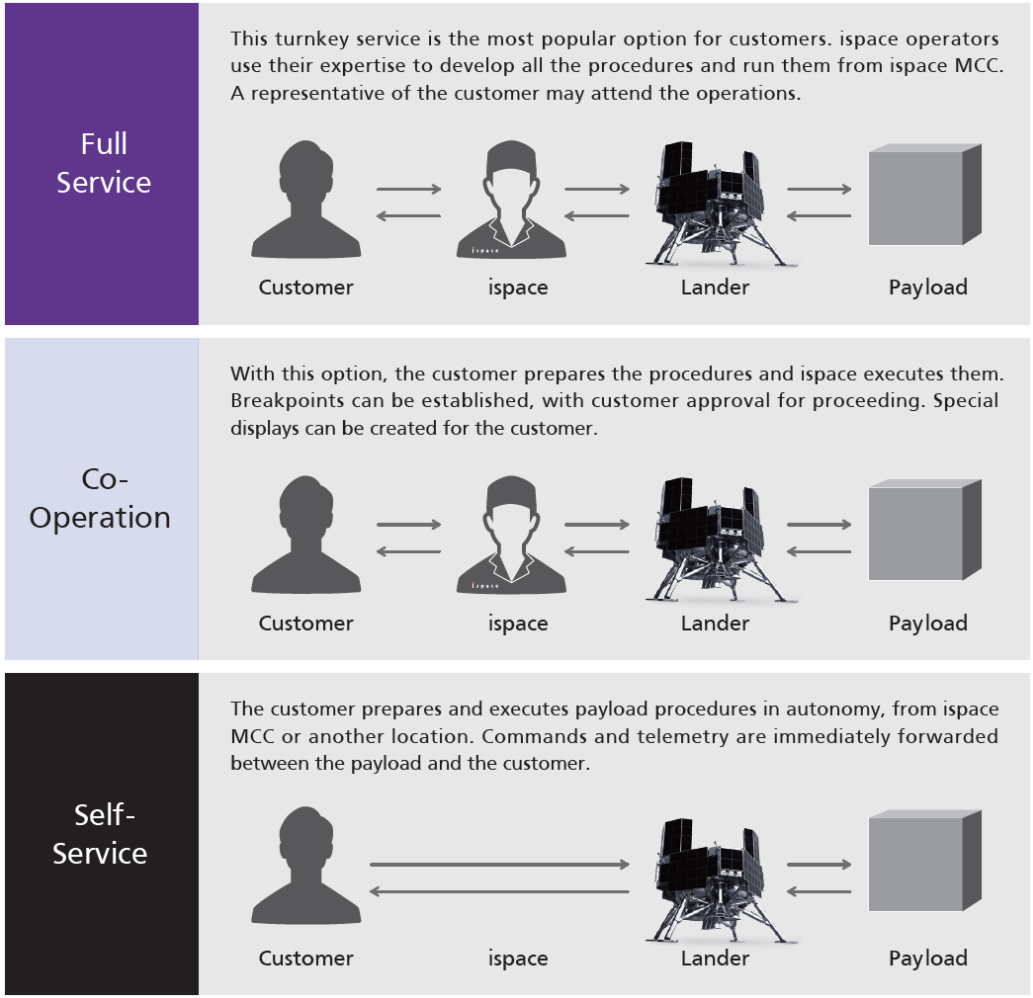
  地上の研究開発 では電源も測定器もすべて手元にあり、ペイロードに直接接続できますが、宇宙実験ではこれらをあらかじめLanderに組み込んだ上で、IoTのように遠隔操作しなくてはなりません。



運用のスタイルは色々ある

- 運用のスタイルは色々ある

  シナリオ（手順）を決めて頂き、それに沿ってispaceが実証を行う”Full Service”の他、管制室に入っていただきテレメトリの結果を見ながらシナリオ分岐を切り替えていく”Co-Operation”など様々なやり方があります。



まとめ

講義3：宇宙環境と部品・材料の選定

- 打上げから月面までで、振動・真空・温度サイクル・放射線・レゴリスが機器に負荷を与える
- アウトガス・耐放射線・温度／紫外線耐性を踏まえた材料選定と、振動・熱真空・放射線などの試験が必要

講義4：ペイロードを使った月面運用

- 宇宙実証はすべて遠隔操作。電源・計測機能をLanderに組み込み、IoTのように運用する
- 運用は「Full Service」から管制に参加する「Co-Operation」まで、複数のスタイルを選択できる

ワークショップ成果

- 参加各社が、実証機器（水処理装置、スラスターポンプ、レゴリスパック）を想定した。
- 各機器の宇宙環境懸念点と、シール材・樹脂部材など新規材料の課題・対策を整理した。