フロンティアビジネス研究会　公開シンポジウム

非宇宙民間企業による月面水素・酸素生成ミッション
～“無謀な挑戦”が“計画的な挑戦”へ～

2026年 7月 23日

高砂熱学工業株式会社
研究開発本部 水素技術開発部

環境クリエイター® TakasaGo!
高砂熱学

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

エグゼクティブサマリ

ご説明概要	・**非宇宙企業・非メーカ**である当社が**初めて試みた宇宙開発** ・**月面では世界初**となる**水素と酸素の生成**を目指したプロジェクト
プロジェクト概要	・当社単独実施の**社内プロジェクト** ・**自社開発した水電解装置**を月着陸船に搭載。月着陸船のインフラを用いて**地上から持参した水を電気分解**し、水素と酸素を生成 ・開発期間：**4年**（＋待ち時間**1年以上**） ・運用期間：**10日**前後
宇宙開発上の意義	**月面に存在するとされる水**から水素と酸素を生成すれば、**水素はロケットや機械の燃料**として、**酸素は人が呼吸する空気**として利用可能 ⇒将来的に、**月面で人の長期滞在**、**惑星への中継基地**利用が可能
ご紹介する内容	・**どういう経緯**で本プロジェクトを実施することになったか？ ・地上開発と宇宙開発は**どんな違い**があるか？ ・**どんな課題**に直面し、**どう解決**したか？　※苦労話 ・**非宇宙の仲間**に**伝えたい**こと ・今後どう取り組んでいくか？

ご説明内容

１．会社概要
２．月面ミッションの立上げ経緯
３．月面ミッションの全体像
４．地上開発と宇宙開発の違い
５．開発機器の搭載要件
６．直面した課題
７．プロジェクトの振返り
８．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

1．会社概要-1/3

社是

『人の和と創意で社会に貢献』

創立

1923年11月16日（創立102年）

資本金

13,134百万円

従業員数

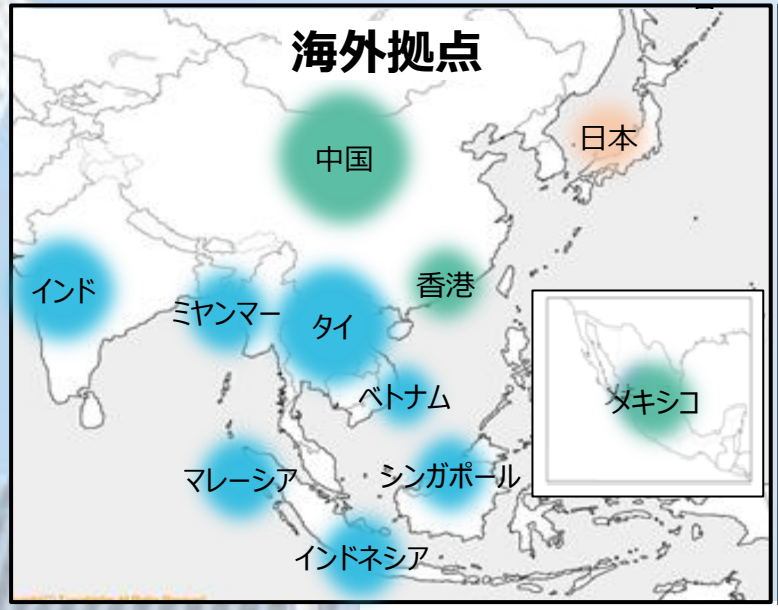
7,287名（2026年3月末、連結ベース）

売上高

4,239億円（2026年3月末、連結ベース）

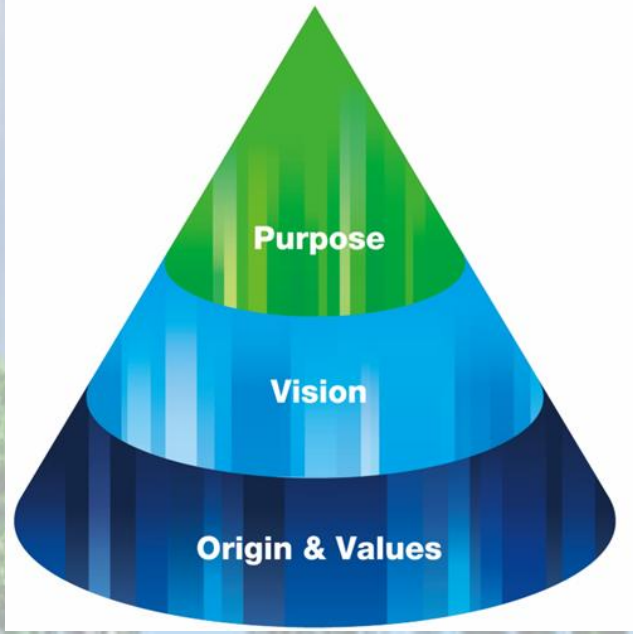
事業内容

空調設備を中心に、建築設備の企画・設計・
施工・保守管理までを一貫して手がける、
総合エンジニアリング事業



子会社(5社)	関連会社(3社)
TMES	日本設備工業
日本ピーマック	苫小牧熱供給
ヒューコス	MTグリーンエネルギー
上総環境調査センター	
石狩厚田グリーンエネルギー	

高砂熱学グループ



Purpose

環境革新で、
地球の未来をきりひらく。

空気を調和する。そこから生まれる無限の可能性がある。
高砂熱学は、一人ひとりが百年の歴史から受け継いできた
技術と誇りを胸に、人の和で多様性と共創の輪をひろげていく。
空間環境を創造し、地球へ、そして宇宙へ。
あらゆる環境革新をリードしつづけます。
私たちと家族、世界中の人々の笑顔、すべての生命とともに。

Vision

環境クリエイター®

Origin 社是

人の和と創意で社会に貢献

Values

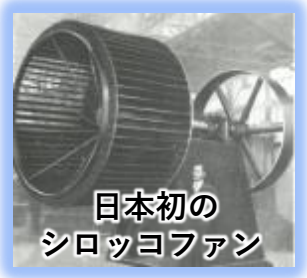
TakasagoWay

Beyond：期待以上の価値を提供する
Pride　：正々堂々とやり抜く
Trust　：人との縁が財産

1．会社概要-2/3

100年の変革の軌跡と当社グループの強み

産業や社会の基盤を支える存在として、『空気調和設備』を中心に事業を展開し続けてきました。


日本初の
シロッコファン



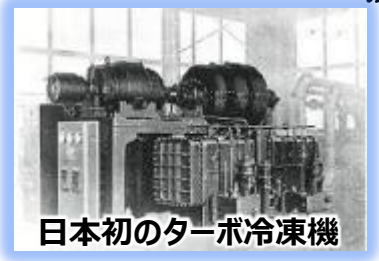
革新的な成層空調システム

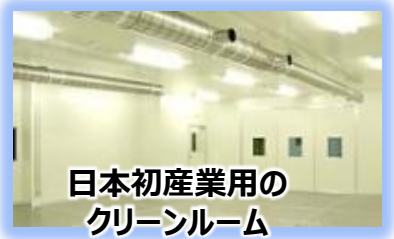

産業用電池製造向け
ドライルームシステム


高純度水素製造装置
Hydro Creator®

創業と成長 ―― 挑戦と発展 ―― 開発と躍進 ―― そして百年


初代社長
柳町政之助


日本初のターボ冷凍機


日本初産業用の
クリーンルーム



空気膜構造（東京ドーム）



施工プロセスの変革
T-Base®プロジェクト

技術資料がない時期に自らの設計・施工経験より導き出した技術を纏め、国内初の先駆的な『空気調和技術』を確立

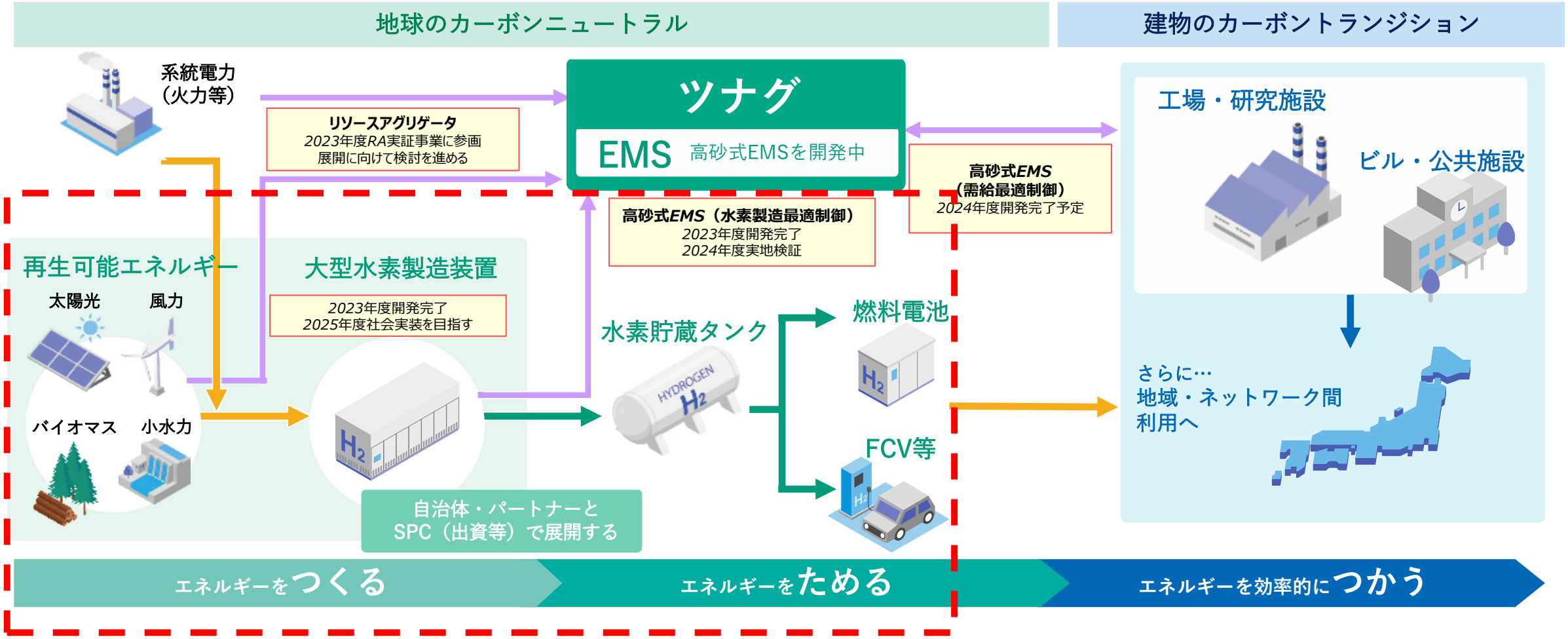
100年で培ってきた高砂熱学グループの強み

時代の要請・社会変化に応じて変革しつづける力

技　術		人　財		バリューチェーン	
環境技術	エンジニアリング力	現場力	専門性	既存顧客の施工実績	協力会社とのパートナーシップ

1．会社概要-3/3

脱炭素社会に向けた高砂熱学の挑戦



©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

2．月面ミッションの立上げ経緯-1/2 当社を取り巻く環境

■ミッション発足（2019～2020年）時

・少子高齢化の進展等により、国内の**建設投資額は今後徐々に減少**するとの予想

・当社の事業ドメインは、**“空調設備を基軸とする建築事業のみ”**と言って過言でない状況

・社業の継続的発展には、**事業の多角化・新たな成長産業への参入**が不可欠



エンゲージメント向上に繋がるフロンティアビジネス候補の１つとして**“宇宙事業”**が挙がった

2．月面ミッションの立上げ経緯-2/2 ミッション決定までの経緯

STEP-1：宇宙産業の市場規模を調査

・2017年時点で約37兆円、2040年には**100兆円超**の見込み

・日本国内においても、2050年には**40兆円**超と予想

STEP-2：参入のきっかけを模索

・2019年12月、**フロンティアビジネス研究会**に参画

・月への資材輸送ビジネスを目指すispace社と知り合う。**コーポレートパートナー契約を締結**

・同社との協議で、「何らかの**荷物（ペイロード）**を月着陸船に搭載しないか」との提案を受ける

・参入の足掛かりとして、**当社開発品をペイロードとして搭載**することを社内決定

STEP-3：ミッションの決定

・以下の理由から、**水電解装置をペイロードにする**ことを決定

①月面にあるとされる水が、将来の貴重な資源になり得る

②当社製水電解装置の知名度を高めたい

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

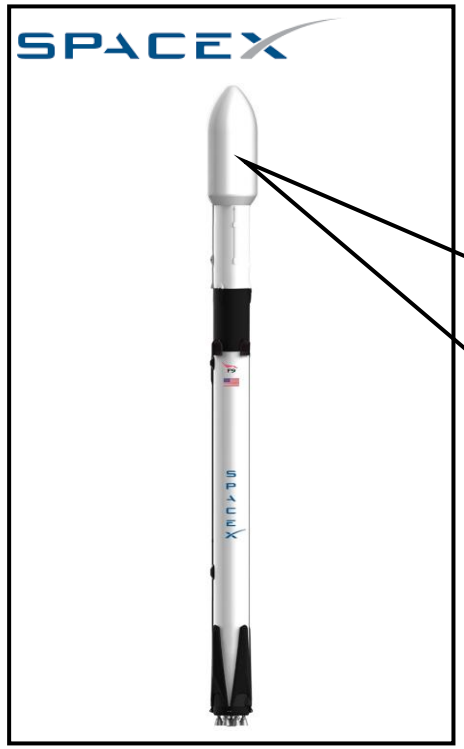
ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

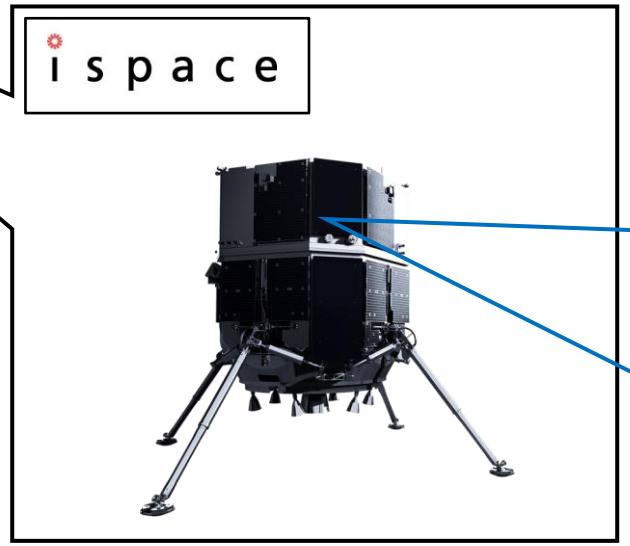
©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

3．月面ミッションの全体像-1/3 概要

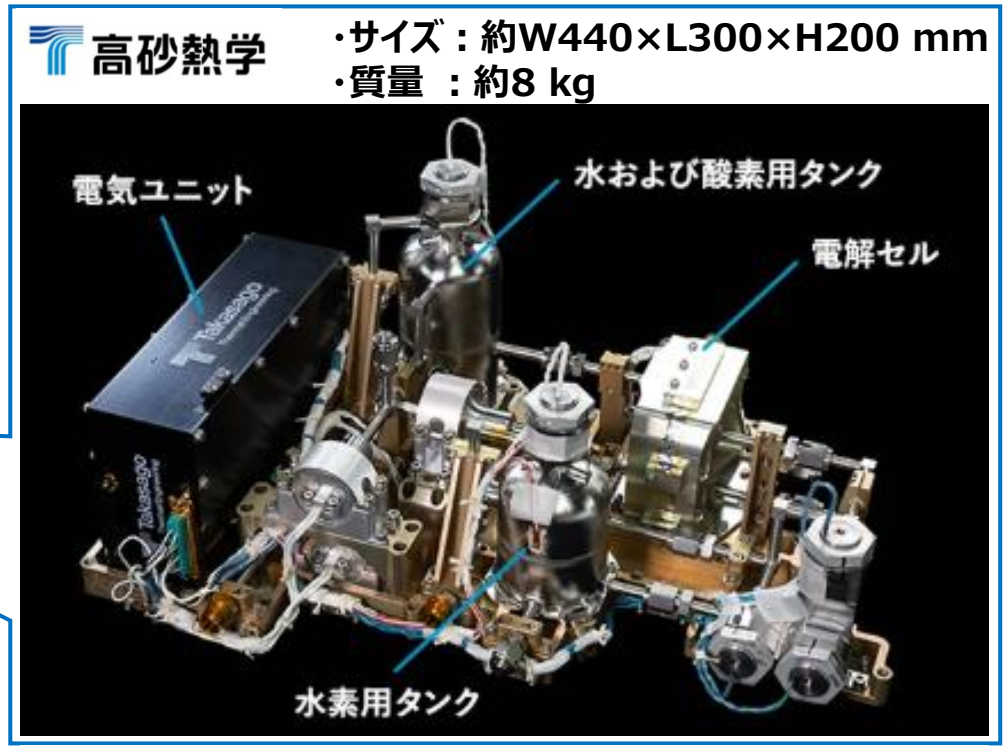
- **月面では世界初**となる**水素・酸素の生成**を目指す、当社単独実施の**社内プロジェクト**
- 月面実証用の**水電解装置**を自社開発し、**ペイロード**として月着陸船に搭載
- **地球上のコントロールセンター**から、月面に到着した水電解装置を**遠隔操作**



Falcon 9 ©SpaceX



Mission2 Lander



水電解装置　フライトモデル

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

3．月面ミッションの全体像-2/3 目標

■当社が取り組む意義

・**新規事業領域の参入**機会の獲得

・製品開発の**技術・品質レベル向上**

・技術力（水素技術）の**プロモーション**

・**次の100年**に向けた**新たな船出**の象徴

■今回のミッション

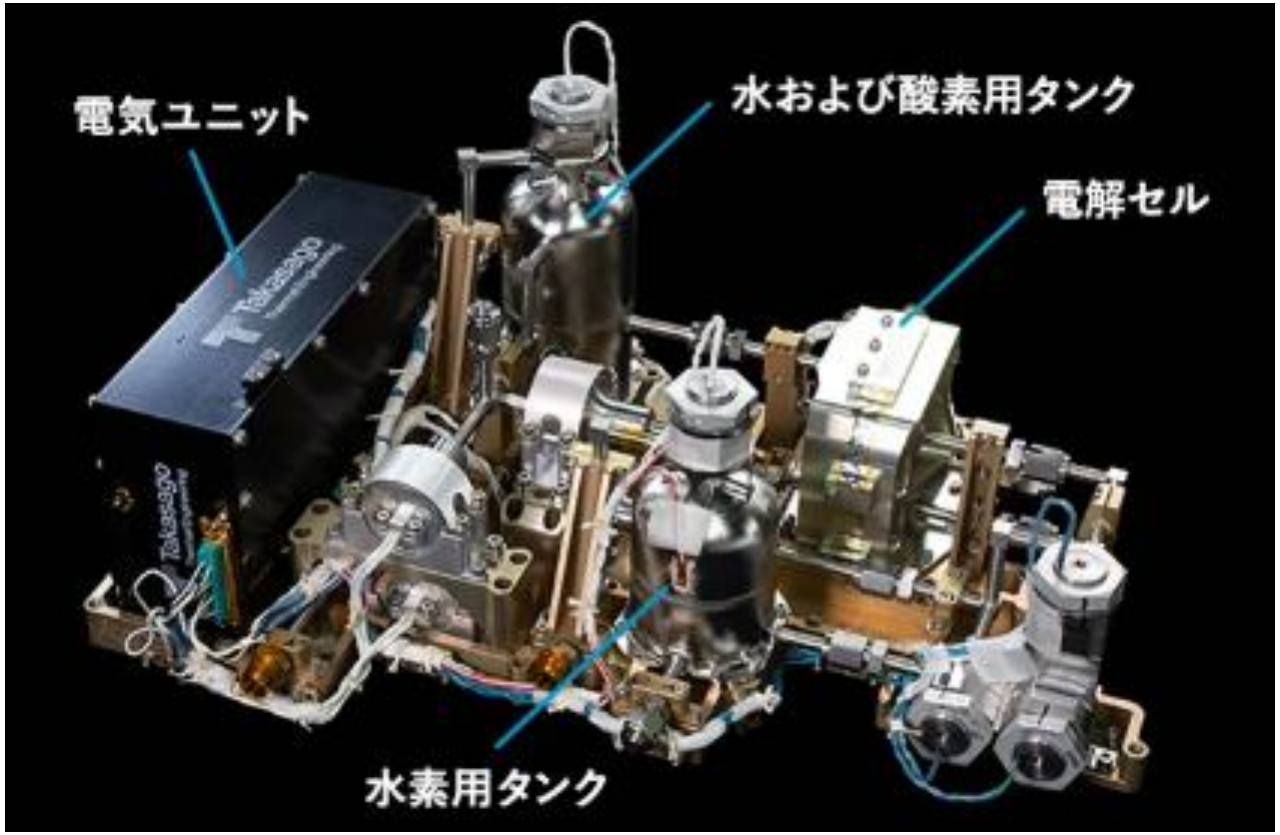
水素と酸素を“安定的につくる技術”の実証

具体的には、着陸後に以下の3つを実証

①水素・酸素を**「つくる」**

②水素・酸素を**「ためる」**

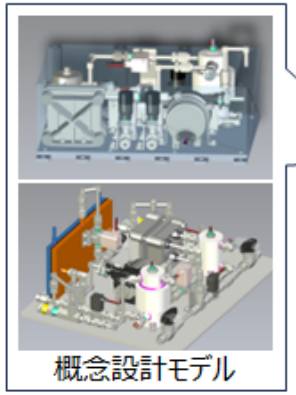
③運転と停止を**「くりかえす」**



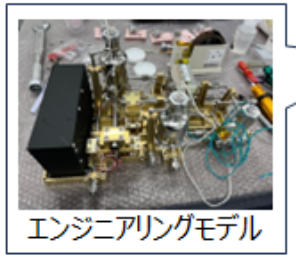
水電解装置 フライトモデル

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

3．月面ミッションの全体像-3/3 開発経緯


概念設計モデル


開発試験モデル


エンジニアリングモデル


フライトモデル

2019年12月　ispace社とコーポレートパートナー契約締結

2020

2020年　4月　開発プロジェクト始動

2020年10月　概念設計審査

2021

2022

2022年　6月　基本設計審査 (PDR)

2023

2023年　3月　詳細設計審査 (CDR)

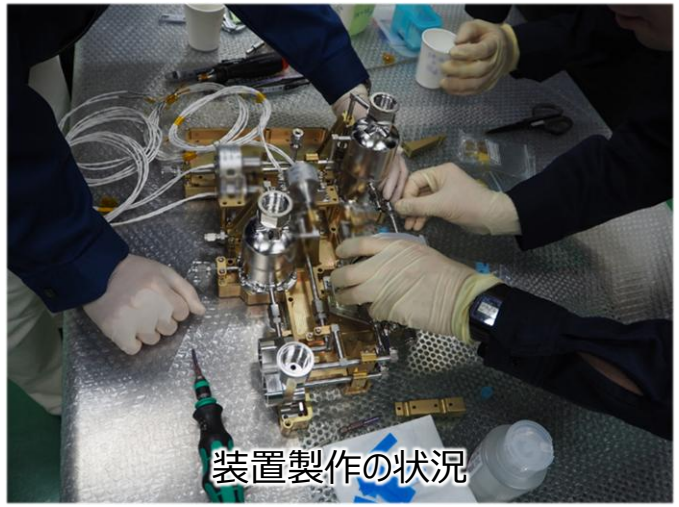
2024

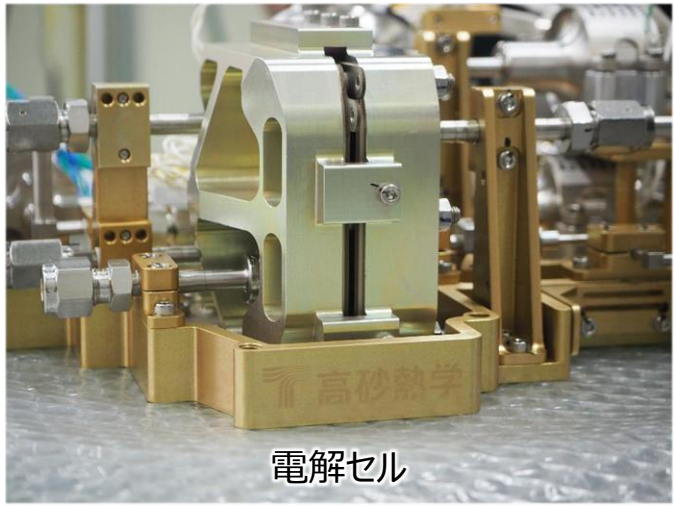
2024年　1月　出荷前審査 (PSR)
（開発完了）

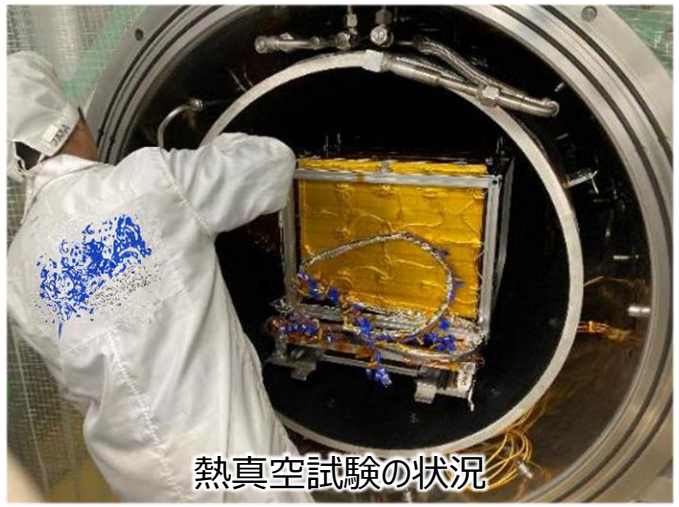
2025年　1月　ロケット打ち上げ

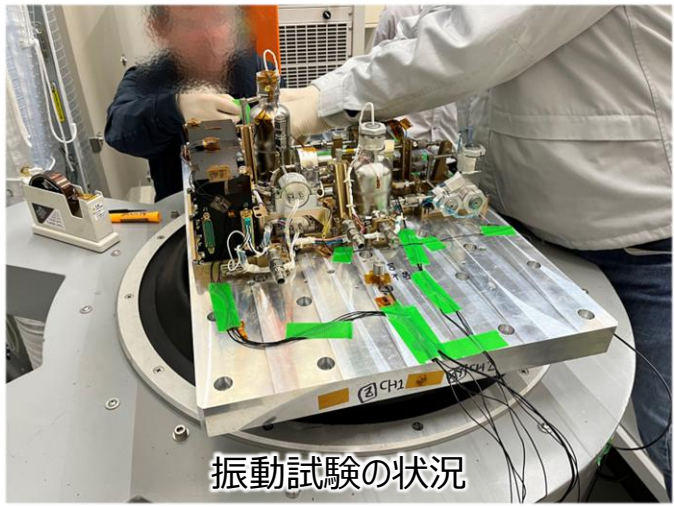
2025

2025年　6月　月面運用


装置製作の状況


電解セル


熱真空試験の状況


振動試験の状況

フライトモデルの製造・試験の様子

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

１．会社概要
２．月面ミッションの立上げ経緯
３．月面ミッションの全体像
４．地上開発と宇宙開発の違い
５．開発機器の搭載要件
６．直面した課題
７．プロジェクトの振返り
８．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

４．地上開発と宇宙開発の違い-1/3 一般的なポイント

①環境的な違い

「装置稼働までに晒される環境」、「装置稼働中に晒される環境」が異なる

１）**振動・衝撃**

２）**温度の振れ幅大・真空**

３）**高放射線**

４）**無重力（や低重力）**

②運用上の違い

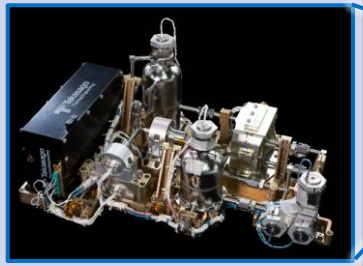
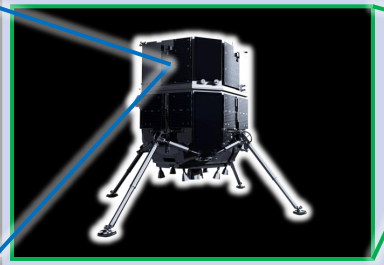
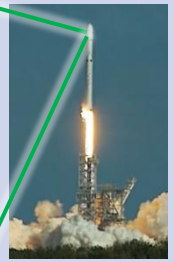
１）輸送会社への引き渡し以降、**運用開始まで１年以上**ある

２）輸送会社への引き渡し以降、装置に**一切触れない**

３）装置の状態を**目視できない。データのみから予測**するしかない

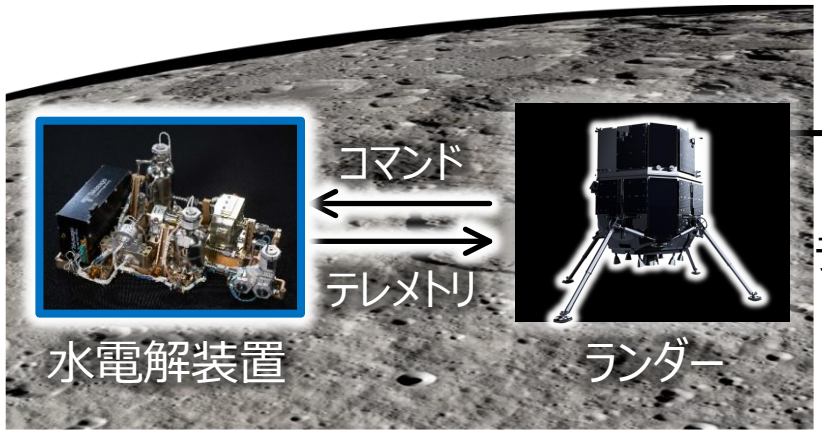
©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

4．地上開発と宇宙開発の違い-2/3 本ミッションでの具体例

	出荷	積荷~輸送		到着から運用開始まで
地上用				
	地上用水電解装置	・トラックに積み込み ・トラックで陸送		・トラックから積み降ろし ・人手による装置調整を経て運転開始
	所要期間：	1~2日		1週間~
月面用			 	
	月面用水電解装置	・ランダーに搭載 ・ランダーの各種環境試験(熱真空・振動他) ・射場へ空輸	・ランダーをロケットに搭載 ・ロケットで打ち上げ ・宇宙空間でロケットからランダーを分離 ・月に向けてランダーが深宇宙を航行 ・装置内で水がランダムに移動 【地上環境との違い】 振動・衝撃、真空、高放射線、無重力	・ランダーが着陸 ・地球から遠隔操作 ・遠隔監視のみにより装置の状態を推定し、ランダーに搭載された状態で運転開始 【地上環境との違い】 着陸時の振動・衝撃、真空、高放射線、1/6重力、設置傾斜角度あり　※運用期間制限あり
	所要期間：	半年~1年	4、5ヶ月	1日前後

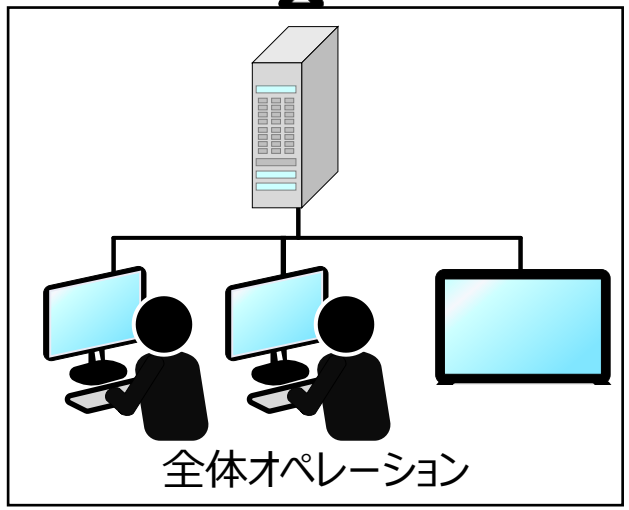
©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

4．地上開発と宇宙開発の違い-3/3 月面上装置のオペレーション方法



月面

テレメトリ
38万km
コマンド
地上局



ispace ミッションコントロールセンター

コマンド
テレメトリ



高砂熱学 ミッションコントロールセンター

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

5．開発機器の搭載要件-1/2

①搭載を許可されなくなる要件（無人飛行・無人場所着陸時）

要件	具体的な許可要件	必要な対応
宇宙装置特有の要求からの逸脱	・アウトガスが規定値以下であること ・暴露環境で部品が外れないこと	・事前の書類確認や環境試験による確認
事前に取り決めたインターフェース条件からの逸脱	・機械的な接続（取付け）条件が正しいこと	・「逸脱した側」が、事前の取り決め条件に直す
搭載機器引渡し日の遅延	・お互い合意した期日に搭載機器を引渡すこと	・代わりにマスダーミーを引渡す
射場安全要求（Range safety）からの逸脱	・ハザードレベルに応じた数の安全装置（インヒビット）が設けられていること ※説明責任者：ロケットに対するペイロード（今回はispace） ※当社は、ispaceから求められた資料を提示	●ハザード分析※ ・圧力、可燃性、毒性、エネルギー密度(電池等)などからハザードの該非判定 ●ハザード要因への処置 ・インヒビットの検証、根拠資料の整備 ※ハザード分析は説明責任者が実施
その他、搭載機側が許容しない要件	・受け入れ側の解釈次第？	・初期段階で装置仕様の共有・擦り合せが必要。「この装置はこういうもので出来ていて、こういう動きをする。問題ない？」

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

5．開発機器の搭載要件-2/2

②搭載は可能だが、自分たちのために必要な要件

要件	具体的な要件	必要な対応
搭載機側が設ける暴露環境への耐性	以下項目への耐性 ・振動・衝撃 ・圧力 ・温度 ・放射線	・事前の書類確認や環境試験による耐性確認
事前に取り決めたインターフェース条件への適合	・通信、電気のインターフェース ・熱のインターフェース	・事前の擦り合せ、共同での適合性試験 ・熱解析

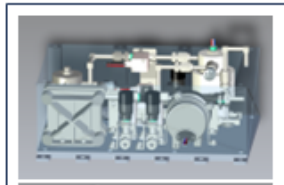
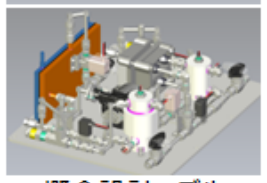
©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

6．直面した課題-1/4 全体



概念設計モデル


開発試験モデル


エンジニアリングモデル


フライトモデル

2019年12月　ispace社とコーポレートパートナー契約締結

2020
- 2020年　4月　開発プロジェクト始動
- 2020年10月　概念設計審査

2021

2022
- 2022年　6月　基本設計審査 (PDR)

2023
- 2023年　3月　詳細設計審査 (CDR)

2024
- 2024年　1月　出荷前審査 (PSR)（開発完了）

2025
- 2025年　1月　ロケット打ち上げ
- 2025年　6月　月面運用

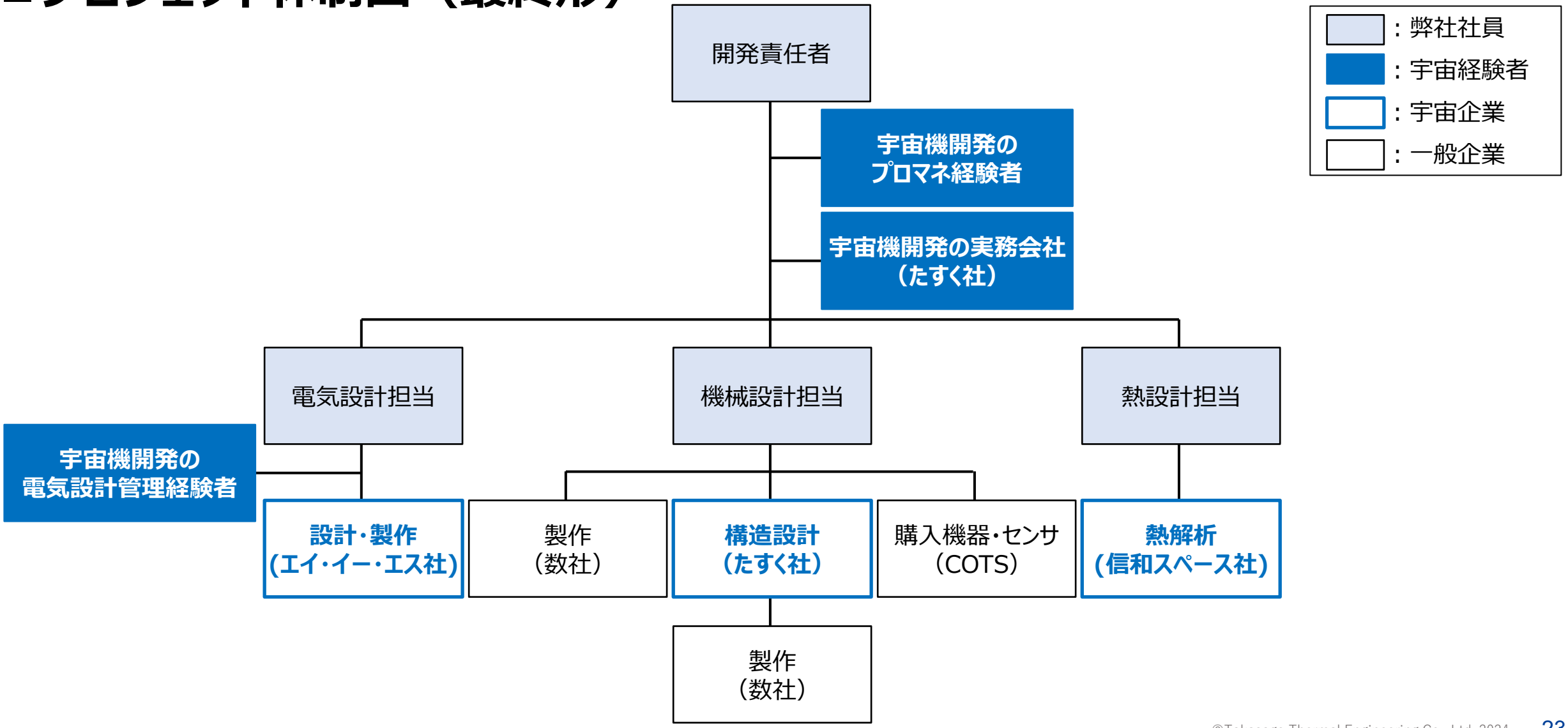
技術面	①	・当社で宇宙機開発の前例がない。 →開発計画を立てる上で参考になるものが何もない。 ・開発の全体像が掴めない。 →開発ボリュームがわからず、必要な資源（時間・人・金）を見積もれない。
	②	・ispaceから宇宙機開発の基本的な進め方を聞くも、“やることがたくさんあることだけ“はわかったが、実際に何をやるのか全くイメージがわかない。 ・やることがわかっても、当社は非メーカなので参考に出来るベースラインがほぼない。
	③	・全てを自社では開発できないため業務委託が必要になる。その際、以下が問題となった。 ①宇宙分野で、何を専門とするどんな会社があるのかわからない ②付き合いの無い会社のため評判もわからない ③一見さんの当社の仕事を受けてくれるかわからない
	④	・打合せしてて、会話が噛み合わない、何を心配・期待しての話なのかわからない
技術面	①	・一旦は概念設計を完成させるも、宇宙機開発のプロセスが見え始めた中で再度概念設計結果を見ると、技術的な潜在リスクが高い設計となっていた。
	②	・月着陸船には以下の制約がある。 ①インフラが少ない ②搭載するための条件
	③	・製造委託先と協議するも、言っていることの技術的な内容や意図を理解できない。 →情報のミスマッチが生じて後からトラブルになりうる。
技術面	①	・電解特有の問題は誰にも頼れない。
	②	・宇宙環境の中でも1/6Gだけは再現が困難。
	③	・海外製部品の納期が何度も遅延。納期見通しが立たずプロジェクト全体に影響を及ぼし得る状況に陥る。

※契約面も、技術面と同様に極めて重要

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

6．直面した課題-2/4 ①プロジェクト始動～概念設計審査まで

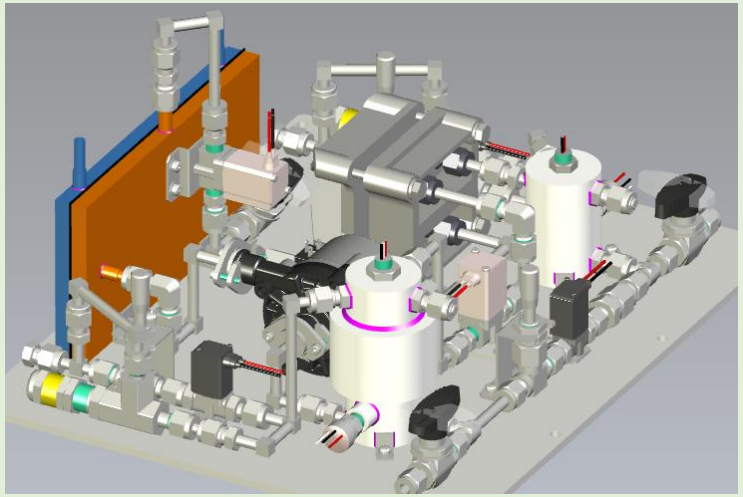
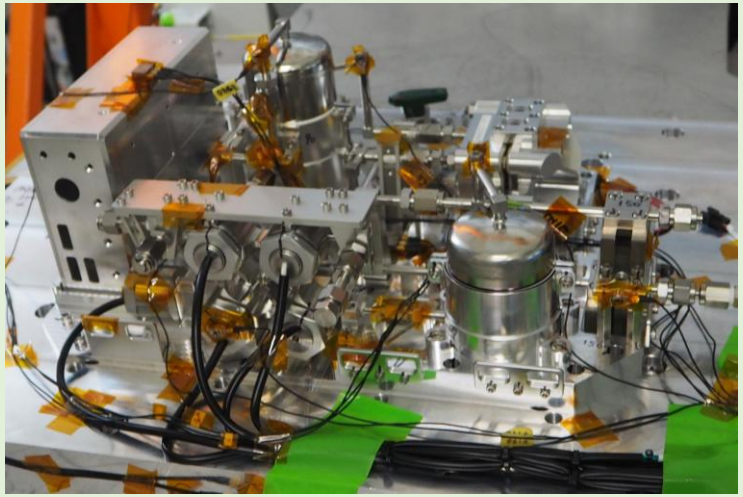
■プロジェクト体制図（最終形）



©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

6．直面した課題-3/4 ②概念設計審査後～基本設計審査まで

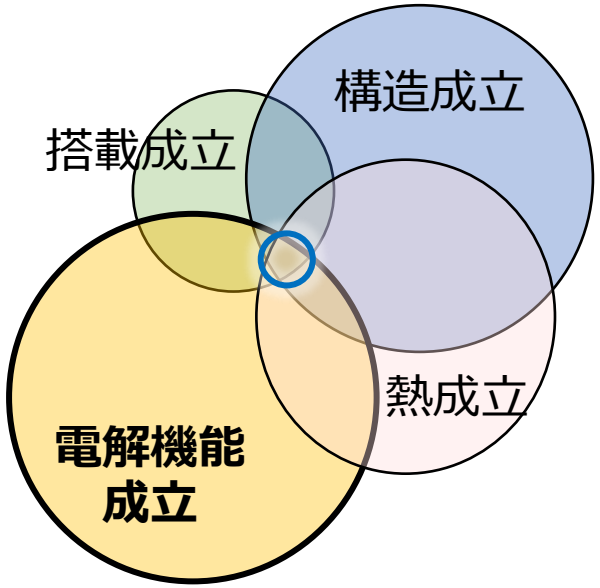
■設計の見直し

	概念設計	基本設計（ブレッド ボード モデル）
装置の外観		
設計のポイント	・地上装置・地上品ベースで設計 ・搭載可能な規模感・課題出し	・必要な機能・性能の絞込み ・宇宙実績品の採用
メリット	・地上品ベースのため、装置コストが安価 ・知りたい状態を計測可能なセンサが豊富	・「必要な機能・性能の絞込み」により、 ①システムが簡素化 ②開発負荷を適正化 ・「宇宙実績品の採用」により、 ①個別の環境試験が不要 ②当該部品トラブルの心配ほぼ無し（＝重点管理部品を限定可能）
デメリット	・打上げ、宇宙暴露環境での環境試験が必要 ・信頼性は低い	・やれること、試せることが絞られる ・状態を計測可能なセンサが限られる

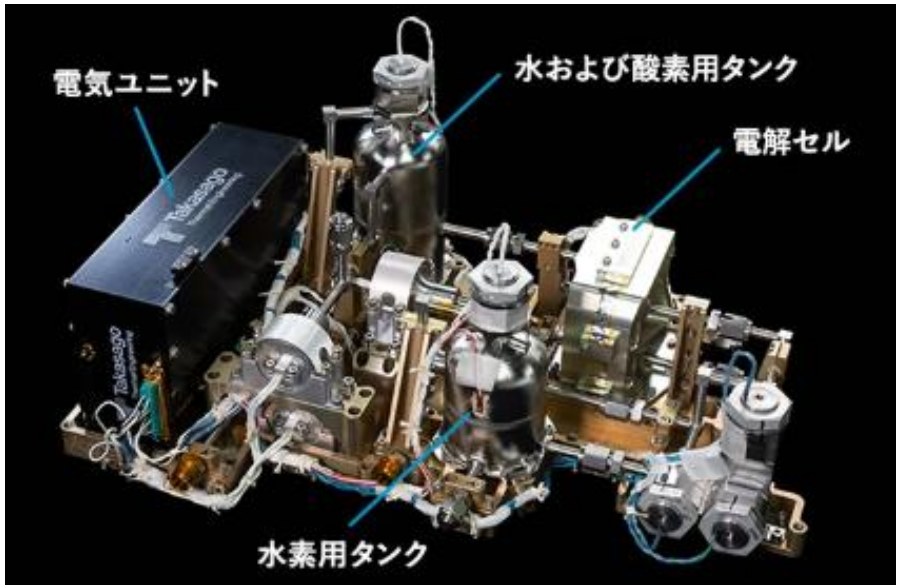
6．直面した課題-4/4 ③基本設計審査後～詳細設計審査まで

■電解特有の問題

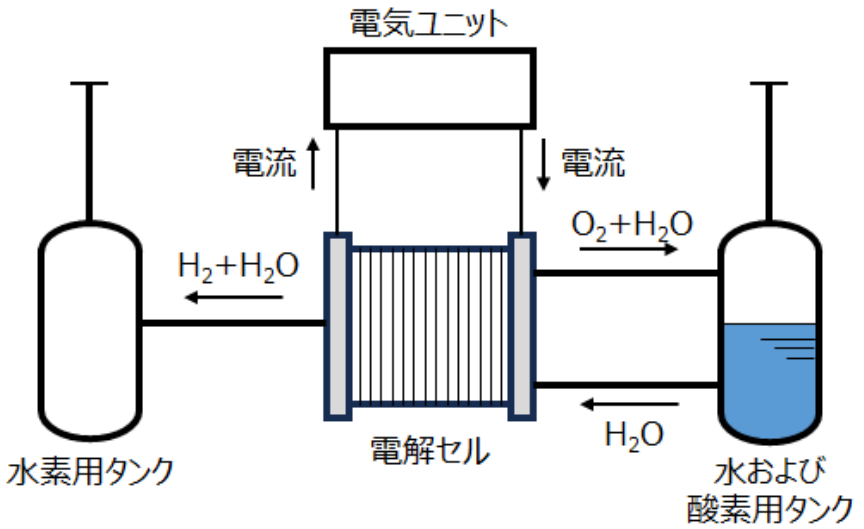
①電解メーカの役割



設計解のイメージ図



水電解装置 フライトモデル



水電解装置 簡易フロー図

②1/6Gへの対応

・地上用の水電解装置にとって、「重力」は貴重なリソース
・無重力でも稼働する装置は、1/6Gでも稼働すると考えられる
・「無重力対応の装置」の適用は困難

⇒月面の資源である**1/6Gを活用する設計**とした

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

7.プロジェクトの振返り-1/2

■「初挑戦」で「計画的な挑戦」となった理由

①**経営層の考えが「挑戦せよ」**で一貫していた。
- 開発が遅延し、出口がない状況でも、責任追及や状況説明要求は無し。「全て開発陣が決めて良い」であった。
- 「成功させろよ」といった類のプレッシャーは一切無かった。
- 費用を気にせず開発に集中できた。

②自社プロジェクトであり、開発に関わる**全ての決定を自社**で出来た。
- 「蓋然性」をどこまで求めるか？で開発の負荷や期間は大きく変わる。自社判断でリスクテイクできた。
- 「受注案件」だとしたら、搭載まで到達しなかった可能性大

③プロジェクトの**規模や難易度が適切**（となるプロジェクト設計）であった
- 「無人飛行」であり、搭載要求が厳しくなかった。
- 最初に「要求」を明確にし、欲や雑念に惑わされることなく、要求を満たす確度の高い装置開発に専念した。

④わからないながらも、**オーナーシップ**を持って**各委託先との調整や決め事決め**を行った。

⑤開発人員を**絞り込んだ**。

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

7.プロジェクトの振返り-2/2

■どうすれば、非宇宙企業が宇宙用装置を作れるか？

①授業料と考えて、**「自社単独のペイロードプロジェクト」で一通り経験**する。
- スモールスタートが良い。軌道上のペイロードなら費用も抑えられる。
- 「他社のペイロードプロジェクトの一部分を担う」では絶対にダメ。

②自社では出来ない部分は、**宇宙機実績の豊富な委託先企業※1に担って**もらう。
但し、以下の点にご注意。
- 何をして欲しいのか？を仕様書の形で明確に伝える必要がある。
- 頭脳だけのプロマネやコンサルはNG。単なる紙作りでは意味が無い。必要と思うことだけに集中するで良い。

③委託先への**丸投げは厳禁。オーナーシップを持って**開発を推進する。
- 委託先を活かせるかは自分たち次第。仕様・指示が曖昧、決断をしない場合、委託先がどこであれ失敗する。

④**フロントローディング**を徹底する。
- 自分たちの都合で打上げ時期はずらせない。引渡し期限を守れないと「質量ダミーモデル」を搭載することになる。

※1 当社が業務委託した宇宙企業
- 株式会社 エイ・イー・エス様：電気設計・製作
- 株式会社 信和スペース様　：熱設計・解析
- 株式会社 たすく様　　：構造設計・製作、開発全般の支援

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

ご説明内容

1．会社概要
2．月面ミッションの立上げ経緯
3．月面ミッションの全体像
4．地上開発と宇宙開発の違い
5．開発機器の搭載要件
6．直面した課題
7．プロジェクトの振返り
8．今後の取り組み

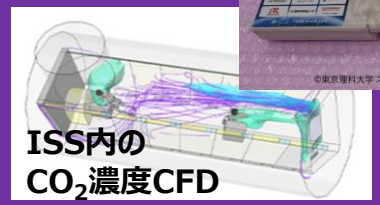
©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

8.今後の取り組み

- 本ミッションで得られた貴重な技術や経験を確実に次の進化に活かし、**月面用水電解装置だけでなく、宇宙・月面の様々な領域の技術開発・事業開発に挑戦**し続けていく。
- 地上のみならず**宇宙の環境クリエイター®として、企業価値向上と未来社会への貢献**を目指す。

探査居住に充足な環境・エネルギー制御を実現





・ISS「きぼう」内の空気環境の測定実験に参画・継続中（2025/5～）

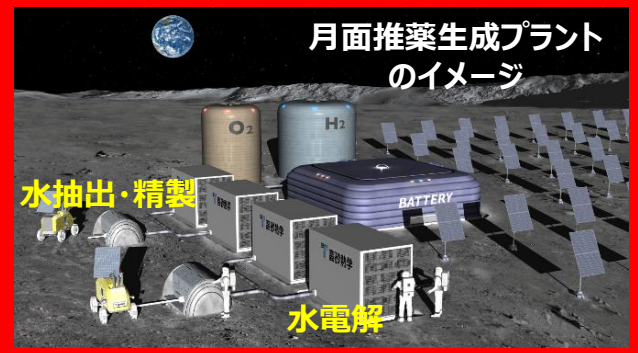
発電プラント等の安定した熱制御を実現

・JAXA宇宙探査イノベーションハブ「月面用ヒートポンプシステムに関する研究」採択・着手（2026/4～）



将来の宇宙・月面で目指す活動領域

推薬生成プラントの構築に貢献



・宇宙戦略基金事業 SX研究開発拠点「月面開発のための宇宙資源開発拠点」に参画しサプライチェーン全般を検討（2025/5～）

©Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. 2024

高砂熱学

Copyright © Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. All Rights Reserved.