

平成28年度 文部科学省委託事業
「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進」事業

社会基盤分野における次世代ニーズに係る
中核的専門人材養成プログラム開発プロジェクト事業

海外展開人材ケースメソッド講座

2017.12



日本工学院八王子専門学校

講座の目的・ねらい

- ・あらゆる場面での問題解決能力を養成する。
- ・これまでの常識が通用しない世界で仕事をするケースを想定し、問題を発見して解決する模擬訓練を行ない、参加メンバーの適応力、判断力、実現力、コミュニケーション力等をきたえる。
- ・グループによる討議、まとめ、発表を通して、アイディアのまとめ方、他のメンバーおよびグループの意見による「気づき」とフィードバック、オリジナリティの創出などについて学ぶ。

課 題

火星における
6ヶ月間の
移・食・住・通の案を
作成する

課題＝ミッション

●火星における6ヶ月間の移・食・住・通の案を作成する

- ① 我々は火星への先発隊として6ヶ月間生命を維持しつつ活動（調査等）を行なう
- ② 先発隊が火星に入る前に、着陸船（無人）による物質の搬入、AIロボットによるコロニーの先行建設は行なわれている
- ③ 6ヶ月が経過した後も、コロニーは後発隊が使用し、かつ拡大発展していく
- ④ 移動、食料、住居、通信について、どれかを選択して（全部でもよい）案をまとめてほしい

スケジュール

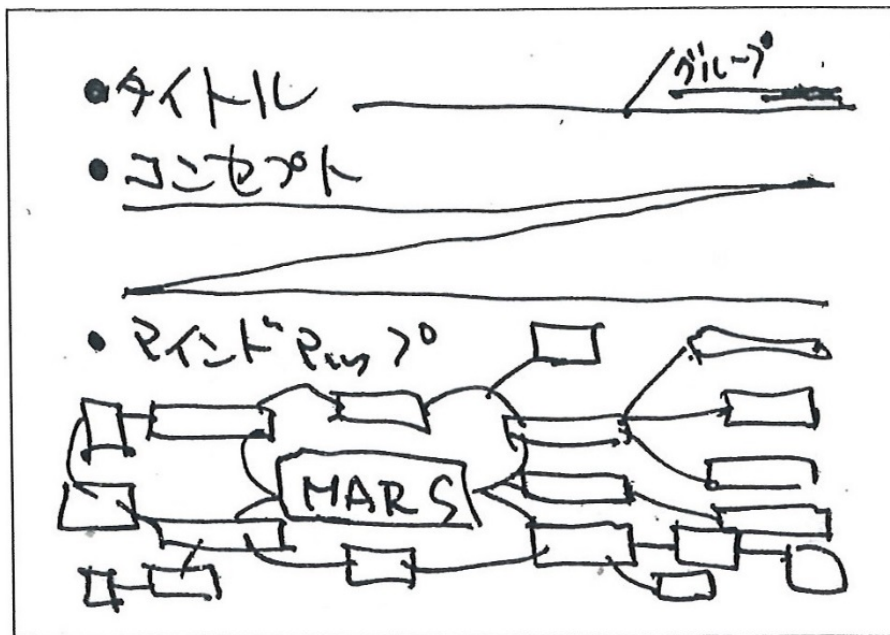
2016年12月8日（木）		12月9日（金）	
9：00	課題説明	9：00 ～ 12：00	グループ案のまとめⅡ
10：00 ～ 12：00	グループ討議Ⅰ		
	昼休み		昼休み
13：00 ～ 17：00	グループ討議Ⅱ ＋ グループ案のまとめⅠ	13：00 ～ 14：00	講評＋優秀案選出
		15：00 ～ 17：00 の間で	海外展開・BIM・CIM 委員会で優秀案発表

提出物＝アウトプット

表現形式は自由！

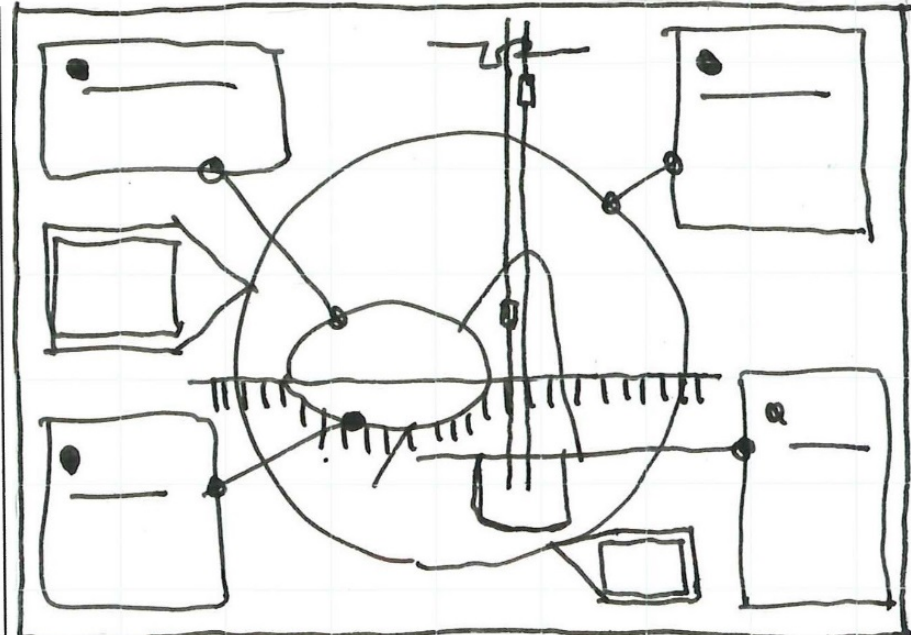
●シート1【コンセプトシート】

タイトル/コンセプト/マインドマップ



●シート2【イメージシート】

カラー・イメージスケッチなど



時代の関心が火星に向いている ～リアリティが高まっている

●イーロン・マスク(スペースX CEO)が火星開拓計画を発表(2016.9.28)

- ①スペースXは2025年までに火星への有人飛行を目指す
- ②火星への大量輸送構想では、新型エンジンを積んだ全長120m以上のロケットに100人以上が乗れる宇宙船を搭載
- ③その時の火星往復の費用は1人1～2,000万円にする

●NASA(アメリカ航空宇宙局)は人類初の火星への有人探査飛行を2030年に計画

その中で、宇宙飛行士のVR(Virtual Reality)訓練を実施する

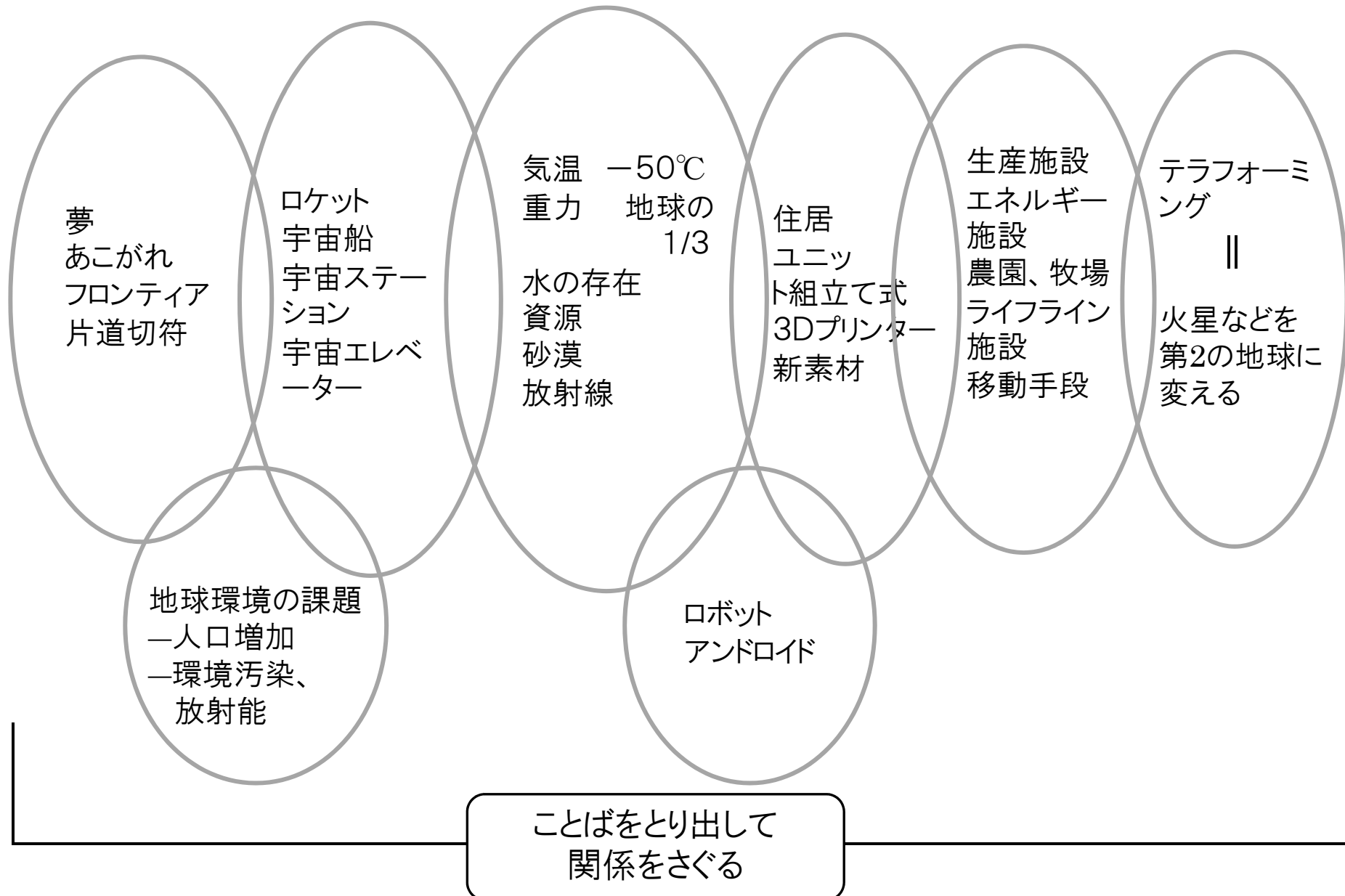
基本条件＝火星の現況

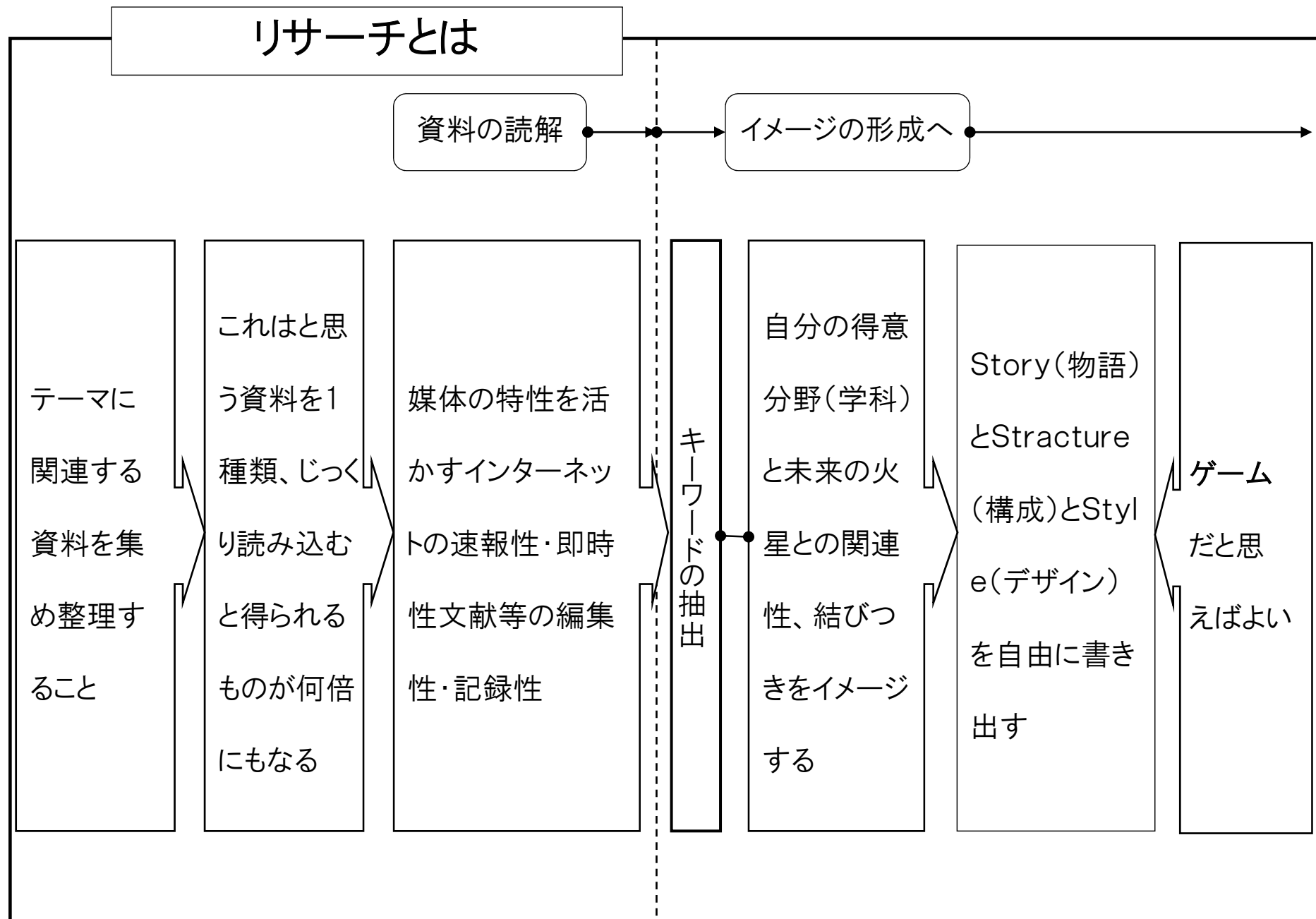
火星の環境	
1日	24時間39分35秒
1年	687日（地軸が25.2度傾いているため、季節が存在する）
気温	平均マイナス53℃（赤道付近の昼は27℃くらい）。数十億年前は、地球並みに暖かかったとされる
大気	地球より薄い（気圧は地球の0.006倍）。大気成分の95%が二酸化炭素。風速40メートルをこえる風がふくが気圧の低さから、風圧は弱い
重力	地球の38%
水の存在	昔は豊富に存在。今も地下に存在？
大きさ	平均直径6780km。地球の約半分
火星の衛星	二つ（フォボスとディモス）

基本条件＝火星の現況

分野	項目	内容	備考
環境	重力	地球の約1/3（38％）	
	気温	平均-50℃	
	大気 大気圧	96％がCO ₂ 6hPa（ヘクトパスカル）	地球の 6/1,000
	気象	砂嵐（100m／秒）	
	放射線	銀河宇宙線、太陽放射線	地球の100倍
エネルギー源	太陽光 電気	無線で電気を送る実験 （三菱重工） ライデンフロスト効果 （CO ₂ より発電）など	
資源等	水	氷として存在。 過塩素酸塩化合物	
	土（レゴリス）	植物の生育可能。 レンガ等つくれる。 （NASAによる）	
	鉱物など	チタン鉄鉱 （イルメナイト）など	

●KeyWords





知る ――― 量は質を生む

●手に入れやすい資料

WEB	NASA	https://www.nasa.gov/
	Jaxa	http://www.jaxa.jp/
	Mars one	http://www.mars-one.com/
	Space X	http://www.spacex.com/
SITE	Jaxa テラフォーミング	http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/terraforming.html
	MARS Society	http://www.marssociety.org/
	宇宙、NASAなどに関するニュース	http://www.space.com/

- 直近の話題 2015.9月
- ―NASA発見 火星に液体の塩水
 - ―NASA基地デザインコンテスト 1位「火星の氷の家」日本人建築家グループ

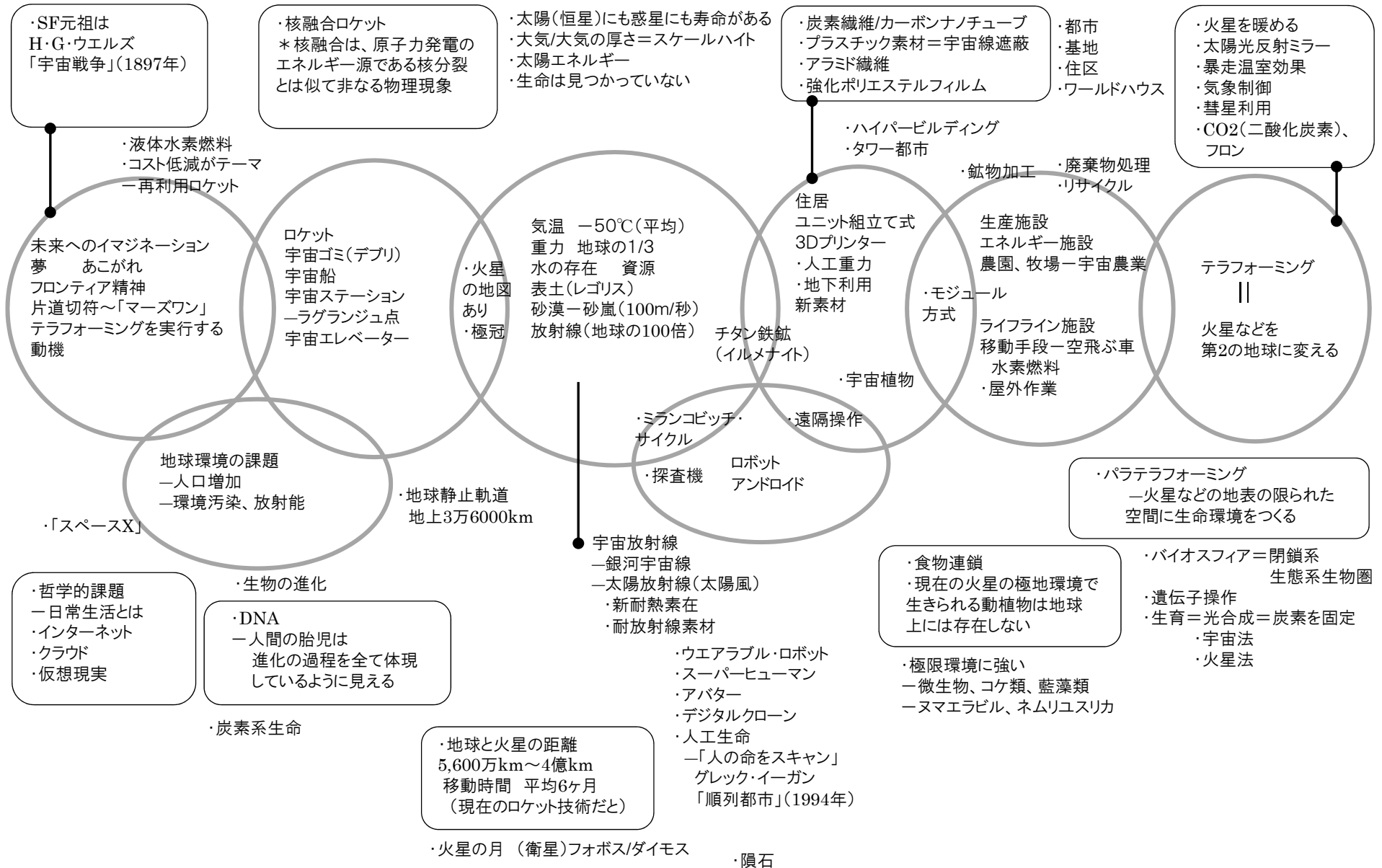
テーマの推移 SF ―――→ 火星を探索する ―――→ 火星に人を送る ―――→ 火星に移住する ～ 現実性が増している

	2012年以前	2013年	2014年	2015年
書籍	●「ローバー、火星を駆ける」 スティーヴ・スクワイヤーズ 早川書房 2007年9月 (初出2005年「ROVING MARS」)	●「未来を変える天才経営者 イーロン・マスクの野望」 竹内一正 朝日新聞出版2013年12月	●「ミッション・トゥー・マーズ 火星移住大作戦」 バズ・オールドリン エクスナレッジ 2014年6月 (初出2013年「MISSION TO MARS」)	●「人類が火星に移住する日 ～夢が現実に！有人宇宙 飛行とテラフォーミング～」 矢沢サイエンスオフィス＋竹内薫 技術評論社 2015年6月
雑誌 新聞等	●「テラフォーマーズ」2011年～ 原作：貴家 悠(さすが ゆう) 1988年生/大学生の時から創作を はじめる (ミラクルジャンプ、ヤングジャンプ/ 集英社)	●Newton NASA世紀の 大発見へー期待のミッション 火星に生命を求めて(2013.4月号) ●別冊Newton NASAの最重要 ミッション 人類を火星に！火星探索の時代 (2013.5月 *内容は4月号を軸に増強)	●別冊宝島 イーロン・マスクの挑戦 人類を火星に移住させる (2014年9月)	
映画・TV	●「ブレードランナー」(1982年) 火星からもどったアンドロイド ●「イノセンス～GHOST IN THE SHELL」(2004年)	●「ゼロ・グラビティ」(2013年) 宇宙にとり残された宇宙飛行士		●「The Martian」(2015年) 火星で1人ぼっちになった宇宙飛 行士 ●NHK「NEXT WORLD」5話 (2015年2月) ～人間のフロンティアはどこまで広 がるのか

●Key Words

Connecting the dots. = 異なる要素をつなぎあわせろ
Stay hungry. Stay foolish. = 食欲であれ。愚かであれ

スティーブ・ジョブス(1955-2011年)
2005年スタンフォード大学講演



「火星で新しい文明を創造するのだ。」
(イーロン・マスク/2012/
ナショナルプレスクラブ)

「火星で新しい文明を創造するのだ。」
(イーロン・マスク/2012/
ナショナルプレスクラブ)

	移動・活動				設定	生きる			設定	住む・生活する			設定
エネルギー	地球	ロケット	水素エンジン/核融合エンジン	可 テレポートはまだ不可	環境対応	重力	地球の約1/3（38％）	シェルター内で制御可	囲繞	地下	掘削	可	
		宇宙ステーション	地球の月および火星の静止軌道上	可		気温	平均－50℃ 赤道は最高27℃、最低－70℃			シェルター	ドーム建築等	可	
		下降・上昇船	ステーションと火星の地上を結ぶ	可		大気	96％がCO2			ユニット	地球から持込み組み立て	可	
		宇宙エレベーター	火星の赤道上のポイントから静止軌道上のステーションを結ぶ	可		大気圧	6hPa（ヘクトパスカル） 地球の6/1,000	シェルター外活動用宇宙服有り		生産	生活必需品	一部の生産（組立て）	可 （原則は地球から）
	火星内	地上	地上走行車/地上歩行車	可	気象	ダストデビル（砂嵐）100m/秒	資源としての土		土（レゴリス）の加工		可		
		地下	地中活動モビル	可	放射線	銀河宇宙線、太陽放射線（紫外線） 地球の100倍	建材		鉄等の建材への加工		可		
		空中	飛行モビル（核融合エンジン）	地上500mまで可	空気	シェルター内/工場等で合成	可	鉱物	チタン鉄鉱（イルメナイト）が存在		鉄、チタンの抽出可		
	機械	重機	遠隔操作無人重機	可 （3Dプリンター作動可）	生命維持	水	氷として存在 過塩素酸塩を含む	真水抽出可	伝達	通信	火星内基地から30 km以内 および地球と	可	
		軽作業機	すべての火星環境で作動	可		食物	野菜工場/食物生産	可		情報処理	コンピューター/サーバー作動	可	
	ロボット	自動作業	自分で判断して自分で行動	可 AI(人工知能)付		排泄	リサイクル	可	余暇	運動	シェルター内の施設	可	
		操縦作動	モビルスーツ（人が中で操縦）	可／ガンダム型、エヴァンゲリオン型		病気	人体に害を及ぼすウイルス等	存在しない		リラックス	シェルター内及び外での活動	可	
	エネルギー	太陽光発電/水素エネルギー/核融合/ライデンフロスト効果（CO2より発電）/無線で電気を送る全て可能とする											

●はじめに

2015年3月時点

- NASAの探査車2機が活動中/探査衛星3機
- ヨーロッパ宇宙機関(ESA)の1機とインドの1機が飛行中

●巻頭・火星最新報告

・探査機 Curiosity

- 2013年9月 大量の水の存在を確認

極冠の地表だけでなく、地中の水分として蓄えられている(塩水濃度が高い酸性)

●火星有人飛行計画

- NASA 2030年 4人を火星に
- マーズ・ワン(オランダ) 2024年までにスペースXの“ドラゴン”を利用
- アメリカ非営利組織 2021年 火星フライバイ*

* 加速スイングバイ、重力アシストも同時に

パート1 火星はどんな惑星か 最新情報①

●火星の最新地形図

- ・アリゾナ州立大学(ASU)とアメリカ地質調査所(USGS)が作成
- ・火星の最古の地表は37億～41億年前のもので、最近まで地質活動をくり返していた
(地球の誕生は46億年前、そこから6億年後に生命発生)

●マリネリス渓谷とオリンポス山

- ・マリネリス渓谷 — 赤道のすぐ南、深さ7,000m、最大幅200km、東西4,000km
渓谷の内部に豊富な水の浸食作用の跡
- ・オリンポス山 — 周辺からの高さ27,000m、すそ野の直径600km
(海がないので、海拔という概念がない)

●水の存在の証拠

- ・地球以外の天体ではじめて川の跡が発見された
タルシス山脈東部(1971年11月/マリナー9号)
- ・その他、デルタ地形(水と共に運ばれた粘土や炭酸塩鉱物の堆積)
大洪水跡が発見されている

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート1 火星はどんな惑星か 最新情報②

- 極冠 — 北極と南極の氷(北極—水の氷、南極—二酸化炭素と水の氷の混合)
 - ・火星の極冠は季節によって大きさが変化する
 - 冬 — 大気中の二酸化炭素が固化してドライアイスの霜が降り積もる
 - 夏 — ドライアイスが気化して水の氷(万年氷、永久極冠)が現れる
 - ・北極の極冠の厚さ3,000m、直径1,200km、南極は直径450km
- 火星生命の存在の可能性
 - ・研究者たちは、過去には原始的な微生物が生きていた可能性があるともみている
 - 液体の水の存在と関係 — 地下に存在していると考えている
 - ・南極で発見された火星隕石からナノバクテリアの化石が見つかった(1996年)
 - しかし、後に地球上のナノバクテリアは生命ではないことが判明し、生物起源ではないとされた
- 火星は誰のものか — 宇宙法
 - ・宇宙空間の利用を定める 国際宇宙法～1950年代末 国連が制定
 - ・宇宙ゴミ(デブリ)、資源開発、領有権などの整理が必要

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート2 宇宙輸送システム①

●火星に向かう“宇宙の道”

- ・地球と火星の距離 — 最短で5,460万km。公転周期 地球365日、火星687日
- ・火星へのルートは複数ある。化学ロケットを使用した場合7～9ヶ月かかる

●化学ロケット

- ・化学ロケットで最高の性能を生み出せる燃料は水素。3km/秒がMAX
- ・地球重力圏の脱出速度は11.2km/秒。多段式にし、各段の最高速度の合計で脱出
- ・宇宙空間における化学ロケットの最高速度10～20km/秒→数週間で火星につく宇宙船は不可

●巨大ロケット「SLS」(化学ロケット)

- ・スペースシャトルのメインロケットエンジン(RS-25)を流用。2018年打上予定
- ・これまでの技術的蓄積を生かし、開発予算を抑えながら、信頼性と安全性の高い宇宙有人飛行の手段をわずか数年で完成させようとするもの

●ヴァシミールロケット(原子力ロケット)～実用化されていない

- ・可変比推力電磁プラズマロケット — 燃料をイオンプラズマにし、噴射
- ・地上から重い物体を宇宙に押し上げる力はきわめて小さい — 地球周回軌道から外宇宙に向かうときに最適 — 地球周回軌道から火星周回軌道まで39日

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート2 宇宙輸送システム②

●原子力ロケット(核分裂エネルギー使用)～実用化されていない

- ・燃料(極低温の液化水素)を小型原子炉が生み出す核分裂連鎖反応による熱エネルギーで超高温に加熱 — こうすると水素燃料は爆発的にガス化して膨張し、ロケットの噴射ノズルから非常な高速で噴出し、推力を発生させる

●核融合ロケット～研究段階

- ・水素などの軽い原素どうしが超高温・超高压のなかで融合(水素の原子核4個が結合したヘリウムの原子核1個に変わる) — このとき質量の一部がエネルギーとして放出される。この核融合エネルギーをロケットに利用。火星と地球の往復が30～60日となる

●加速スウィングバイ

- ・宇宙船が惑星の公転軌道の後方近くを通過すると、宇宙船は惑星の重力に引かれて加速する(重力アシスト)

●軌道エレベーター(宇宙エレベーター)

- ・赤道地域から宇宙静止軌道(地球では36,000km)の先までケーブルを延ばし、その先端にカウンターウェイトを固定すると、ケーブル全体の重心が静止軌道より高い位置で安定する。このとき、地球の自転によってカウンターウェイトに生じる遠心力と地球重力とがケーブルを引き合うため、ケーブルは静止軌道から地上へと垂直に垂れる軌道エレベーターとなる

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート3 人間は火星環境にどこまで適応できるか

●火星有人飛行と宇宙放射線被爆

- ・宇宙では、宇宙放射線とよばれる高エネルギーの荷電粒子や電磁波にさらされる。
宇宙放射線には銀河宇宙線と太陽放射線(太陽風)がある
- ・仮に約1年間(360日)をかけて火星を往復した場合の宇宙飛行士の被曝線量は約660ミリシーベルト — 現在のアメリカの被曝許容量を超える

●宇宙放射線被爆を最小化する方法

- ・地球は磁場(磁気圏)によって銀河宇宙線、太陽風を跳ね返している
- ・水素原子を多量に含む材質(液体水素、液体メタン[CH₄]、プラスチック、水など)に放射線遮蔽効果がある
- ・ウォーターウォール(水壁)で宇宙船をおおうことで、生命維持機能と放射線遮蔽機能をもたせることができる

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート3 人間は火星環境にどこまで適応できるか

●強い放射線環境で生きる動物・植物

- ・高レベルの電離放射線の中で生きる生物の存在が報告されている
 - チェルノブイリ28年後調査～動物や鳥類が強い放射線耐性を持つように変異。植物が繁栄
 - ブラジル ミナスジェライス州 ウラン鉱跡～強い放射線耐性を持つ昆虫や植物
 - JAXA 国際宇宙ステーションで長期冷凍保存したマウスの精子と卵子から宇宙マウス誕生

●無重力環境下での長期生活

- ・無重力空間では、人体は宇宙酔い、宇宙貧血などをおこすがすぐ順応する。
しかし、これは心臓機能の低下、骨の強度低下などをもたらしている
- ・火星有人飛行を行う場合、長期無重力状態をへて火星に着陸
(地球重力の38%)した場合も健康上の問題が生じる

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート3 人間は火星環境にどこまで適応できるか

●人工重力

- ・無重力の宇宙環境から宇宙飛行士の健康を守る対策
～宇宙船に人工的に重力を発生させる
- ・近年のNASAの提案～中央部にドーナッツ状の回転モジュールのついた「ノーティラスX」

●無重力空間で植物は育つか

- ・植物は重力を感知して地面から垂直方向に茎を伸ばし、根を地下に張る
- ・国際宇宙ステーション(ISS/地上約400kmの低軌道を周回飛行)での培養室での実験では、シロイヌナズナがLED光源を重力のかわりにして成長した

●閉鎖生態系のつくり方

- ・火星移住は、火星の地上につくられた狭い「閉鎖生態系」からはじまる。そこは最終的には「自律的な物質循環」が成立することが求められるが、当初は管理された不完全な閉鎖生態系となる

第1部
火星有人飛行
の計画と課題

パート4 火星テラフォーミングへのプロローグ

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●生命の存在を許すハビタブルゾーン

- ・ハビタブルゾーン(habitable zone)=生命居住可能領域
 - ～太陽からの適度な放射エネルギーがある
 - ～水が液体で安定的に存在できる/大気がある

太陽系のハビタブルゾーンは、地球公転軌道の少し内側から火星公転軌道の少し外側まで

- ・エコポイエーシス(ecopoiesis)=火星に地球生命を“移植”し、そこで新たな生命圏・生態系をつくり出せるとする着想

この着想(ロバート・ヘインズ)が発展し、「テラフォーミング」が誕生した

●始まりは金星テラフォーミング

- ・1960年代～90年代に、科学者によって金星テラフォーミングの提案が様々に行なわれた。提案には大気の改造、海の形成、温度の制御、1日の長さの短縮、などについての方法が含まれている。

～大気中に藻類をばらまいて光合成を行わせる(カール・セーガン/1961年)

～小惑星の衝突で二酸化炭素を宇宙に追い出す(ソウル・エーデルマン/1982年)

- ・金星探査機が予想以上に過酷な金星の環境を明らかにし、火星の方が地球環境に近いことが注目されはじめた

パート4 火星テラフォーミングへのプロローグ

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●カール・セーガンの火星の「長い冬モデル」

- ・火星では温暖期と寒冷期が交互に生じてきた、とする推論。これは地球における「ミランコヴィッチ・サイクル*」と重なっている可能性がある

*ミランコヴィッチ・サイクル(1920年)

地球が受ける太陽エネルギーは、地球の自転軸の傾きの変化、公転軌道の離心率の変化、地球の首振り運動によって周期変動する

- ・セーガンの火星テラフォーミング(100年ほどの変化)極冠に表土を散布→黒くして太陽光を吸収→ドライアイスが二酸化炭素に気化→大気ができる→温暖化→氷がとけて水もできる→人間が住める

●「火星人」の進化

- ・タコ型火星人 — 「宇宙戦争」(H・G・ウェルズ/1897年)に登場するイラスト
- ・人が火星の大気中に放り出されたら(ほぼ真空)

～空気がないので窒息する

～真空状態になっても皮膚が破れたり、眼球が飛び出すことはない(NASA)

映画「トータル・リコール」(1990年)のA・シュワルツネッガーのシーンはウソ

- ・移住時、地球と同じ大気成分と大気圧に保たれた施設で生活していても、弱い重力のせいで、身体的な特徴が変化する可能性がある

パート5 火星の“修復”計画

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●人類はなぜ火星をテラフォーミングするのか？

・クリス・マッケイ(NASA)の仮説

— 環境修復の視点 ～現在の科学技術レベルからみてテラフォーミングの可能性がある

～かつて火星は居住可能な世界であった

— 大気をつくる ～植物－太陽エネルギー光合成→二酸化炭素を酸素に(10万年かかる)

～最初は昔の(大半は二酸化炭素の)厚い大気を取り戻す



レゴリスと南極に閉じ込められて凍結している二酸化炭素は開放されれば300～600hPaの大気に



— 火星を暖める ～二酸化炭素の温暖化効果→正のフィードバック

パート5 火星の“修復”計画

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●火星を温暖化させる3つの手法

- ・火星温暖化を人工的に引き起こす手法（クリス・マッケイ(NASA)、ロバート・ズー布林）

①周回軌道に太陽光反射ミラーを設置

- この方法で南極の極冠に含まれるCO₂を気化させるには、半径100km以上の反射ミラーが必要

②外惑星から温室効果物質を運び込む

- 小惑星の飛行軌道を変え、火星に衝突させる。
4個の小惑星を火星に衝突させれば、火星の温暖化が実現する

③火星で温暖化物質を生産

- 火星の地上で温暖化物質としてフロン類を製造する。
この時必要なエネルギーは1000メガワット、必要な時間は50年

パート5 火星の“修復”計画

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●初期の火星基地

- ・クラフト・エーリケ(アメリカ/ロケット工学・宇宙工学/1917～1984年)の仮説
 - 初期の有人基地は円筒型モジュールの組合せになる可能性がある。
組み立て、輸送が容易。
 - 半地下～低温、乾燥、砂嵐、強い放射能 など対策
 - 資源採取、分離・精製 ～ロケット燃料、水、酸素 など
- ・昼夜の温度差が大きい火星では、地表が見えなくなるほど激しい砂嵐(ダストストーム、ダストデビル)が発生することがある。
ただし、大気圧が非常に低いので、人間が立っていても吹き飛ばされたりはしない。

パート6 惑星工学で実現するテラフォーミング

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●50年で火星を“第2の地球”にする

・ポール・バーチの仮説(1992年)

- ソーラーミラー(太陽光反射板)を用いてレゴリスの一部を気化させ、揮発性物質(酸素、窒素、二酸化炭素、水)を大気中に開放する。

その後、火星に移植された植物の光合成によって呼吸可能な大気を生成

●“急速テラフォーミング”の3要件

・ポール・バーチの構想の要件

- ①火星の大気を最大17℃まで暖める
- ②最大240hPaの呼吸可能な大気を追加して大気圧を高める
- ③地下水と海を生み出せる量の水を補給する

・火星の重力が地球の38%しかない→人間への影響がはっきりしない

パート6 惑星工学で実現するテラフォーミング

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●火星のレゴリスを気化させて大気をつくる

・ポール・バーチの手法

ー 強力な熱ビーム(熱線)を地上に照射してレゴリスを溶融させる。

太陽光反射板(ソレッタ)+空中集光レンズを使用。

火星の地表に届いている太陽放射エネルギーの2.4倍＝ $360\text{W}/\text{m}^2$

(地球がうけている太陽放射エネルギー)を投入→8万 km^3 /年のレゴリスを気化

●レゴリスが融けた火星

・火星で呼吸可能な大気をつくり出すには、約240hPaの酸素分子が必要。

・レゴリスの中には水深にして最大1000mに相当する水が含まれている

極冠には水深にして15mに相当する可能性がある

パート6 惑星工学で実現するテラフォーミング

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●火星の2つの月、フォボスとダイモス

・中継所となる可能性

— 地球から火星に到着した宇宙船は、一度フォボスかダイモスにつくられた基地に着陸し、そこから別の着陸船で火星の地上に降りる方法が考えられる。ただし、フォボスの軌道は下がっていて、5000万年後には火星に落下する。（地球の月は地球から遠ざかっている）

●宇宙の大鉱物資源としての小惑星と彗星

・火星と木星の公転軌道の中に“小惑星帯”が存在（数百万個）

小惑星には豊かな鉱物資源、水が含まれている

*ラグランジュ点 —— ある天体とその周囲を回る別の天体の重力が釣り合い、かつその場所における遠心力も釣り合っている点。物体は静止する。宇宙ステーション、スペースコロニーの設置場所として最適

パート7 人類の火星改造の能力

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●地球環境から類推する火星テラフォーミング

・マーティン・フォッグ「Terraforming : Engineering Planetary Environments」(1995年)

- 自立型の地球外コロニー(スペースコロニー)を確立する努力がすでに成功を収めているときにのみ、テラフォーミングを実行する動機が存在する
- 人類文明の地球環境に対する干渉の大きさ(温室効果ガスの生産量など)をみた上で、火星の環境をどんな方法で修正するか考察する

●人類が操作する物質とエネルギーのスケール

・火星テラフォーミングの要件(マーティン・フォッグ)

表面重力 — 0.38G — 修正不可能

自転周期 — 24.6時間 — 不要

自転軸傾斜角 — 25度12分 — 不要

- ①地表の平均温度を約60度(K)上昇させる
- ②大気圧を上昇させる
- ③大気の化学組成を変える
- ④地表に届く紫外線のフラックス(強度)を減少させる

パート7 人類の火星改造の能力

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●火星に“暴走温室効果”を生み出す2つの手法

- ①火星の周回軌道を回る巨大な反射ミラーによって太陽光を地表に集める
- ②CFC(フロンまたはフレオン)を火星大気中に大量に放出して、人工的な温室効果を引き起こす ～CFCは二酸化炭素の1万倍以上の温室効果

・火星の30億年史

- ①30億年以上前の火星 — 厚い二酸化炭素の大気＋北半球に広大な海
- ②火山活動が終わるとともに大気中の二酸化炭素は海に溶け込み→大気がうすくなる→寒冷化
- ③大気がますます薄くなる→水蒸気は氷河に＋それ以外の水と大気は宇宙へ逃げた
＊ 渡邊の？—大気を新たにつくれても、また宇宙へ逃げるのでは？

●非現実から現実的なシナリオへ

・火星テラフォーミングを2段階に分けて実行(マーティン・フォッグ)

- ①エコポイエーシスによって単純な生命圏をつくり出す
- ②完全なテラフォーミングを実行する
 - ①には、以下が必要
 - 220 hPaの二酸化炭素の生産 ～レゴリスの暴走放出による
 - 酸素と窒素が必要 ～硝酸塩から工業生産
 - 地表温度を氷点以上まで上昇 ～反射ミラーによる
 - 十分な水を確保—永久凍土をとかすのに時間がかかる—核爆発で洪水、海をつくる

パート8 パラテラフォーミングと「ワールドハウス」

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●すぐに居住可能になるパラテラフォーミング

・パラテラフォーミング = 人口閉鎖生態系を内包する巨大構造物
～火星の地表の限られた空間に生命環境を創造する

・リチャード・テイラー(ロンドン大学)の仮説

- 火星の物理学的パラメーターを変えることができない限り、地球環境をそっくり再現することは不可能である
- パラテラフォーミングの目的は、火星環境をつくり変えて地球の環境のような完全に自律的な生命圏を生み出すことではない。

DREE(Deliberately Restricted Ecospheric Environment)

= “ゆるやかな制約の下にある生命環境”を構築する

- 地上1,000～3,000mの高さに気密型の天蓋(ワールドハウス)を建造する。
ワールドハウスがホメオスタシス(恒常性=生命圏が自らを維持するために必要な要素を一定に保とうと調整する自律的傾向)を達成することは困難である

パート8 パラテラフォーミングと「ワールドハウス」

第2部 火星テラ フォーミングと “第2の地球”

●ワールドハウスのつくり方

・リチャード・テイラーの構想～地表の80%を天蓋でおおう

— 3種類の支持塔(高さ3,000m)

①居住型火星支持塔ユニット

②非住居型火星支持塔ユニット

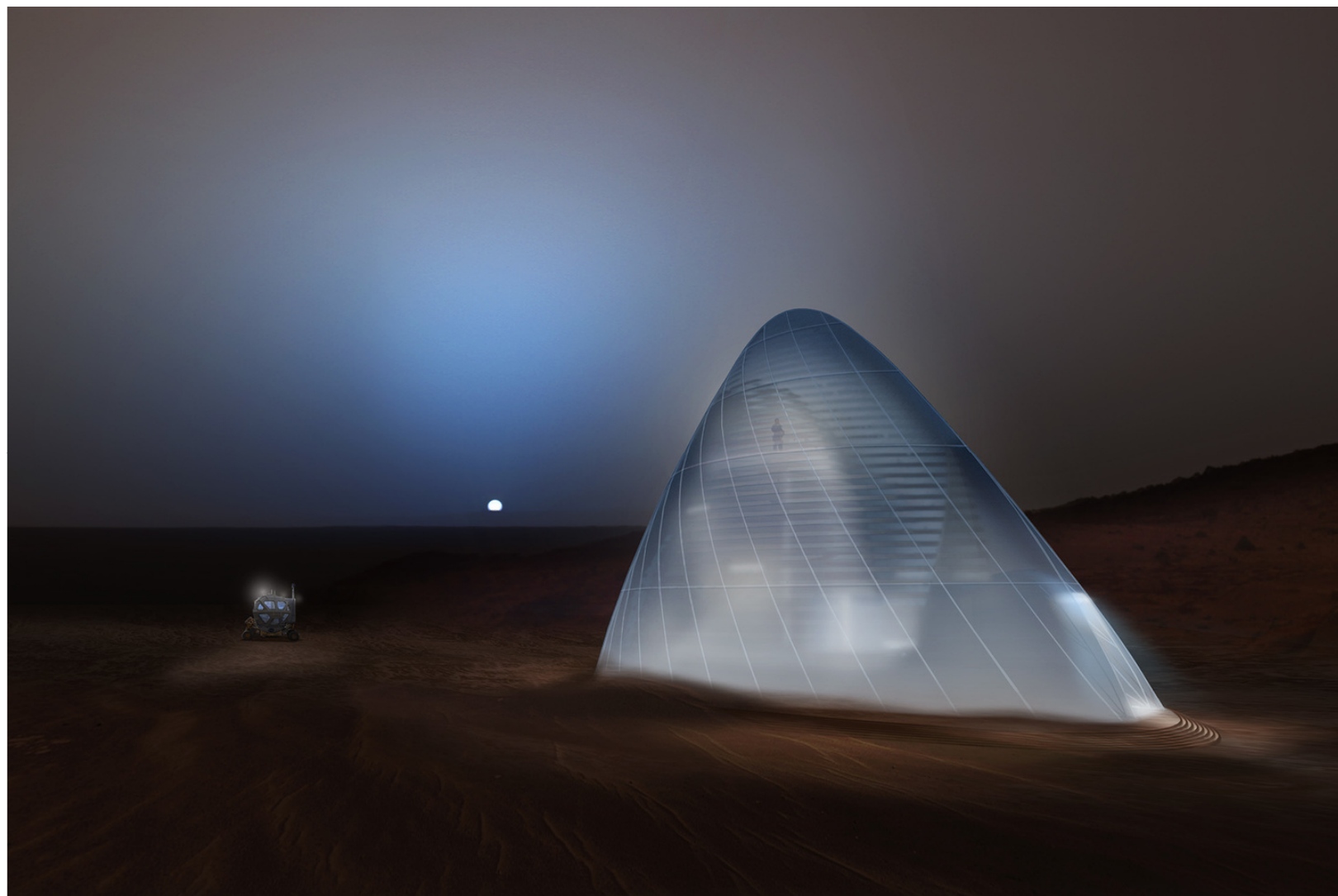
③加圧伸長型ユニット

～地球の38%の重力の中で建設

— 支持塔は六角形(ヘキサグラム)を構成して天蓋を支える主ケーブルを張り渡す

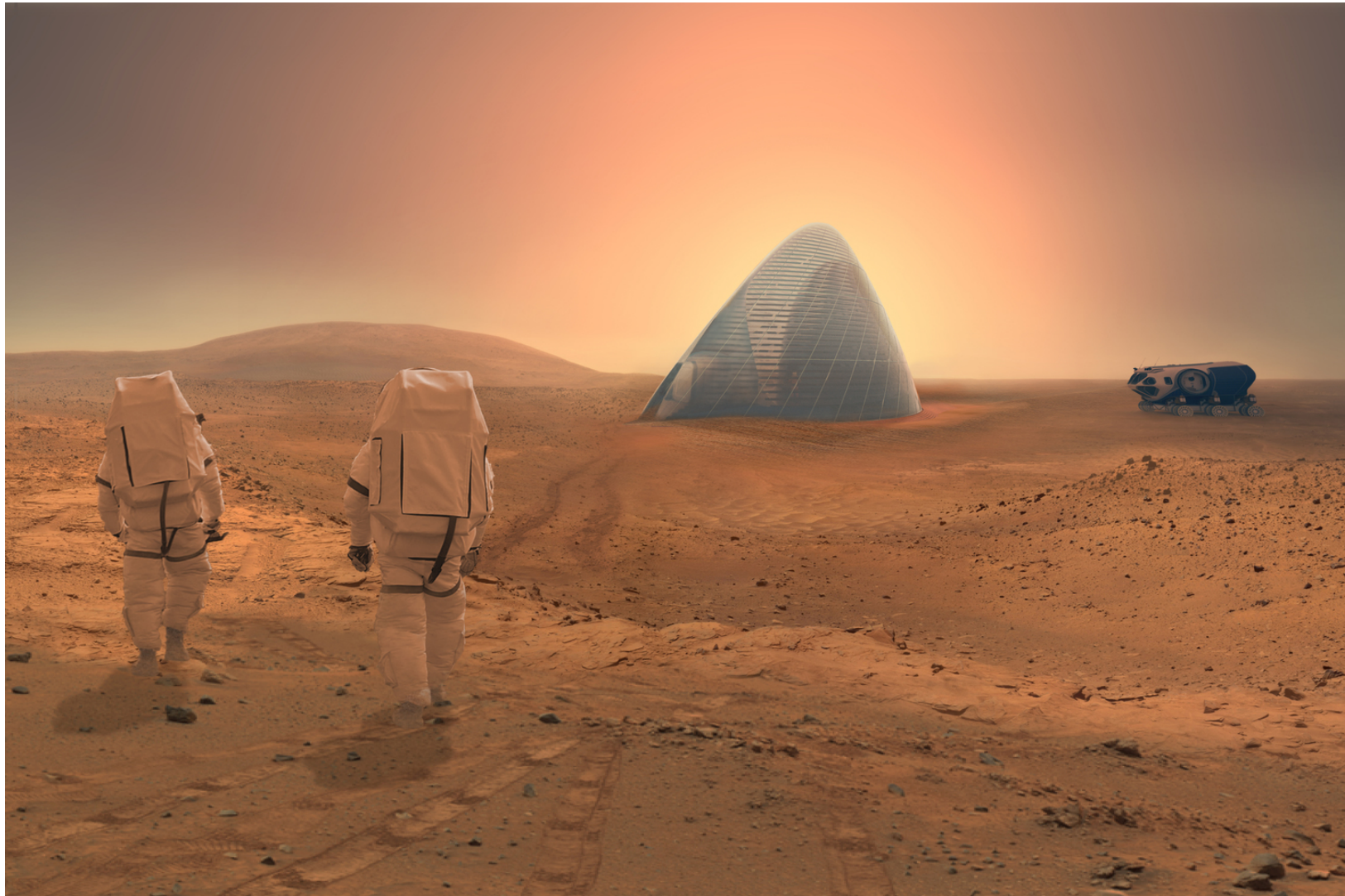
— 天蓋(透明)の中の大気は、地球の陸地の高度840mの気圧(912 hPa)に設定される～理想は1,000 hPa

組成は地球大気と同じにコントロールする



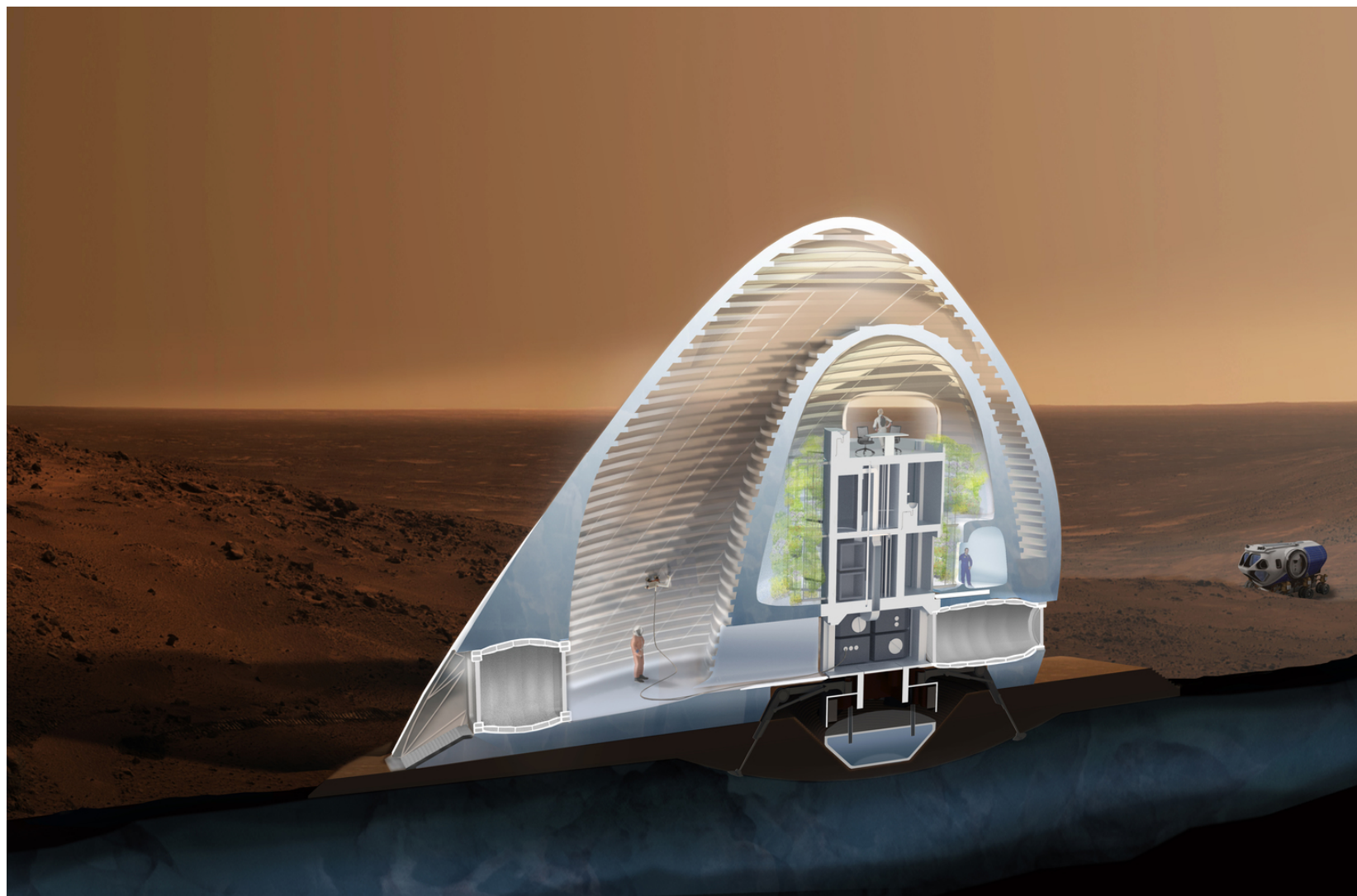
"The Universe is Awash with Water"

In probing the galaxy for knowledge about our universe and its origins, humanity has investigated various possibilities for enabling human habitation beyond Earth. Recent discoveries of water and water-ice in our solar system, such as water deposits on the Moon and Mars, give great promise to uncovering the presence of life forms as we understand them. As water is the baseline resource for future outposts on a number of extra-terrestrial carbon-bodies, NASA has adopted a "follow the water" approach towards exploration. As such, water, the essential building block of life, is our Team's primary material resource in the formation of the ICE HOUSE habitat design. Given the predicted abundance of water in certain areas on Mars, our approach takes full advantage of its properties as an indigenous material that acts both as a life-force to sustain a human and plant ecosystem, and, when 3-D printed, as our primary fabrication material.



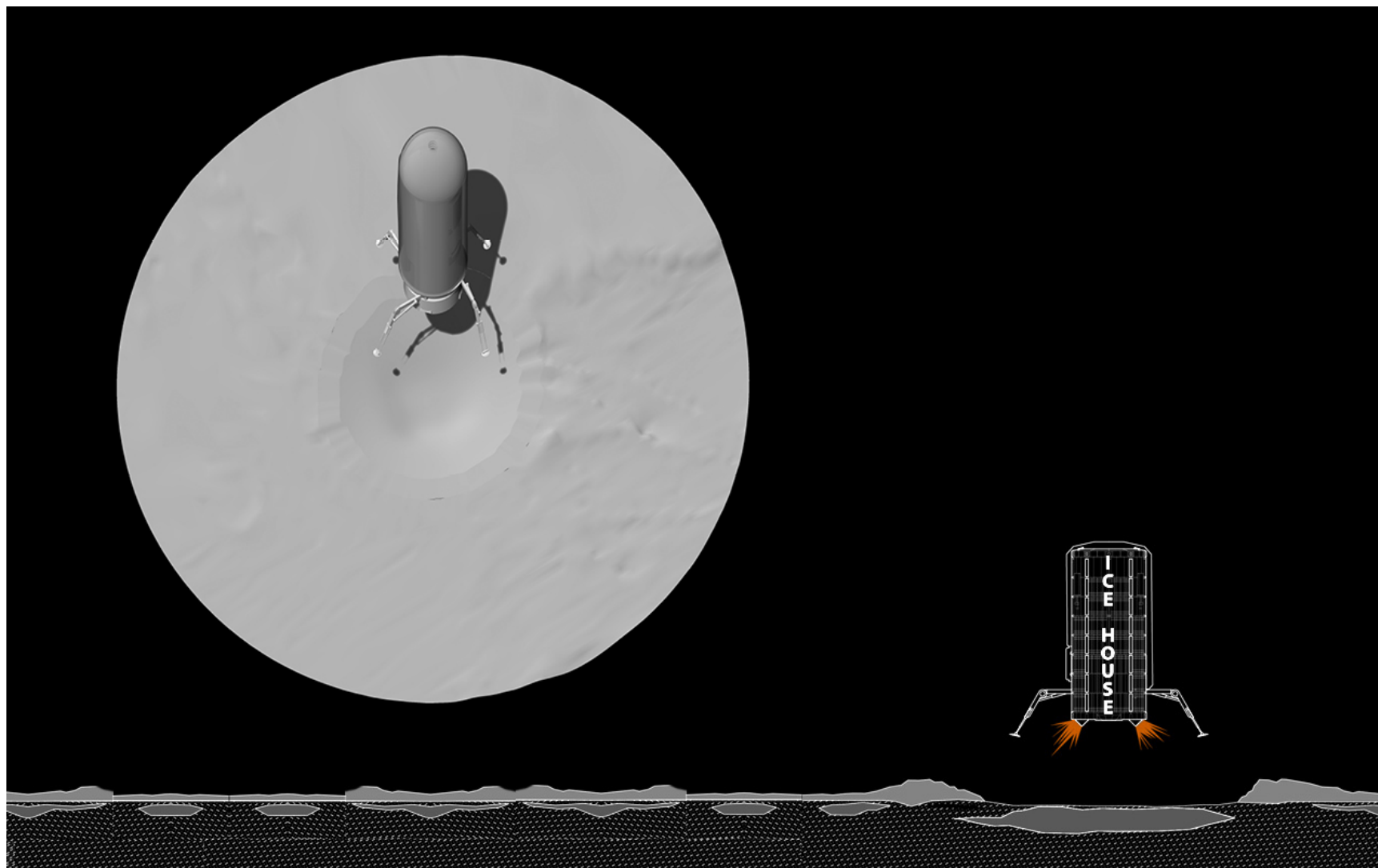
Celebrating Light & Visual Connection

The architecture of ICE HOUSE celebrates the presence of a human habitat as a beacon of light on the Martian surface. The design emerged from an imperative to bring light to the interior and to create visual connections to the landscape beyond, allowing the mind as well as the body to thrive. While scientists have experimented with what could potentially be synthetic replacements for sunlight, artificial substitutes do not hold nearly the same circadian variance or ability to balance a crew's mental and physical health as does experiencing the sun's actual and unmediated daily cycles. The water ice counteracts the traditional danger of living above ground by serving as a radiation barrier, offsetting fears of solar exposure that have, until now, projected Martian architecture into a dark underworld—buried beneath a regolithic surface that is believed to contain perchlorates, gypsum and other substances hazardous to human life.



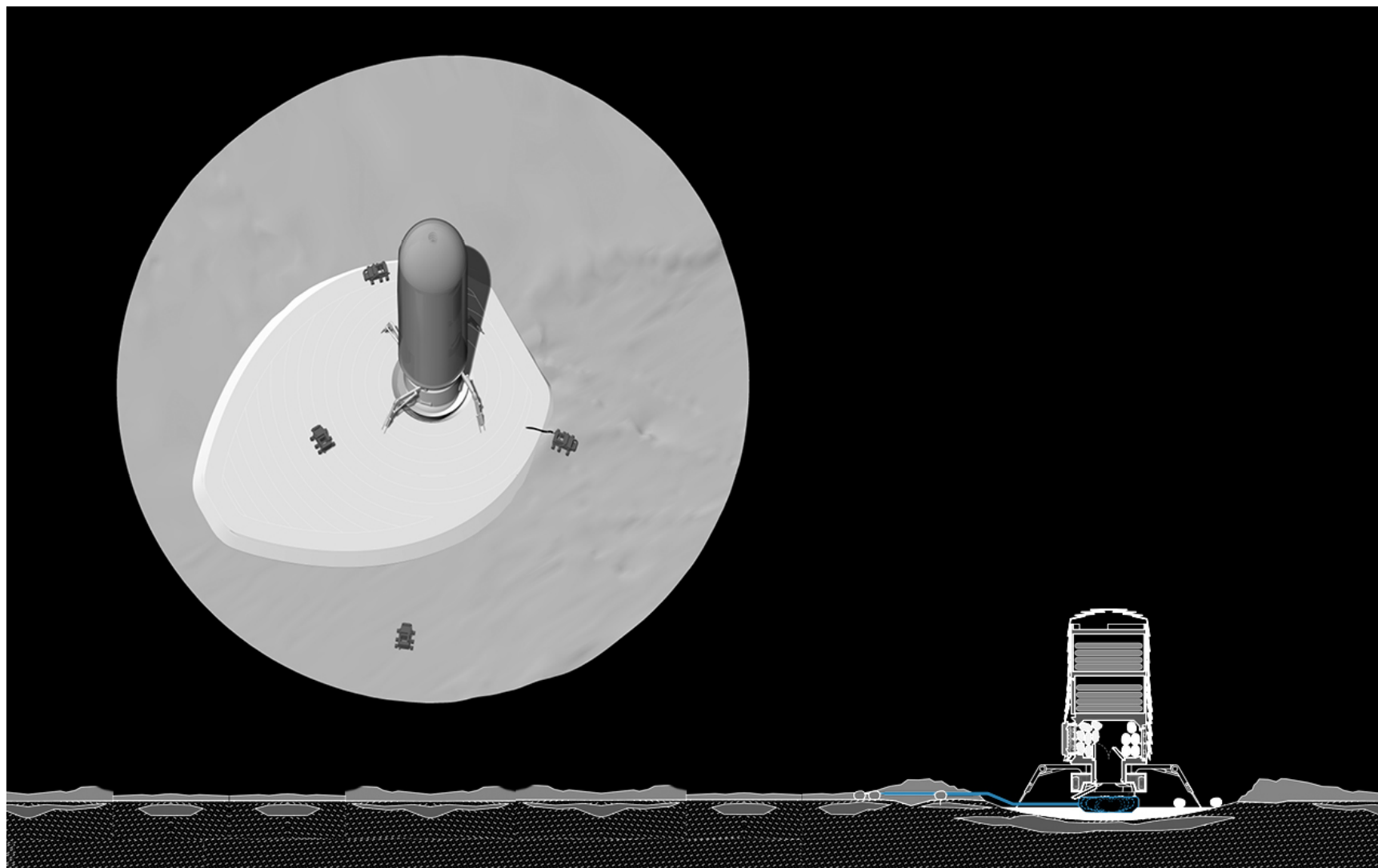
A Vertical Habitat

The vertically oriented lander, which contains the mechanical services of the habitat, inherits the likely orientation of the crew's(MTV) Transit Habitat to ease the crew's adjustment to life on the Martian surface. The habitat's stacked levels organize core programs by activity within the lander, introducing a spectrum of private to communal interior spaces. Interior efficiency creates sizable storage pockets at the base of the lander to house both the bots as well as the four Environmental Control and Life Support Systems (ECLSS). Once the lander has deployed the inflatable ETFE membrane, pre-fabricated bridges unfold from within the lander, creating 'pockets' for inserted program. A spiral stair at the core of the lander provides circulation to the upper levels of the habitat, while simultaneously offering the crew a means for exercise when ascending levels.



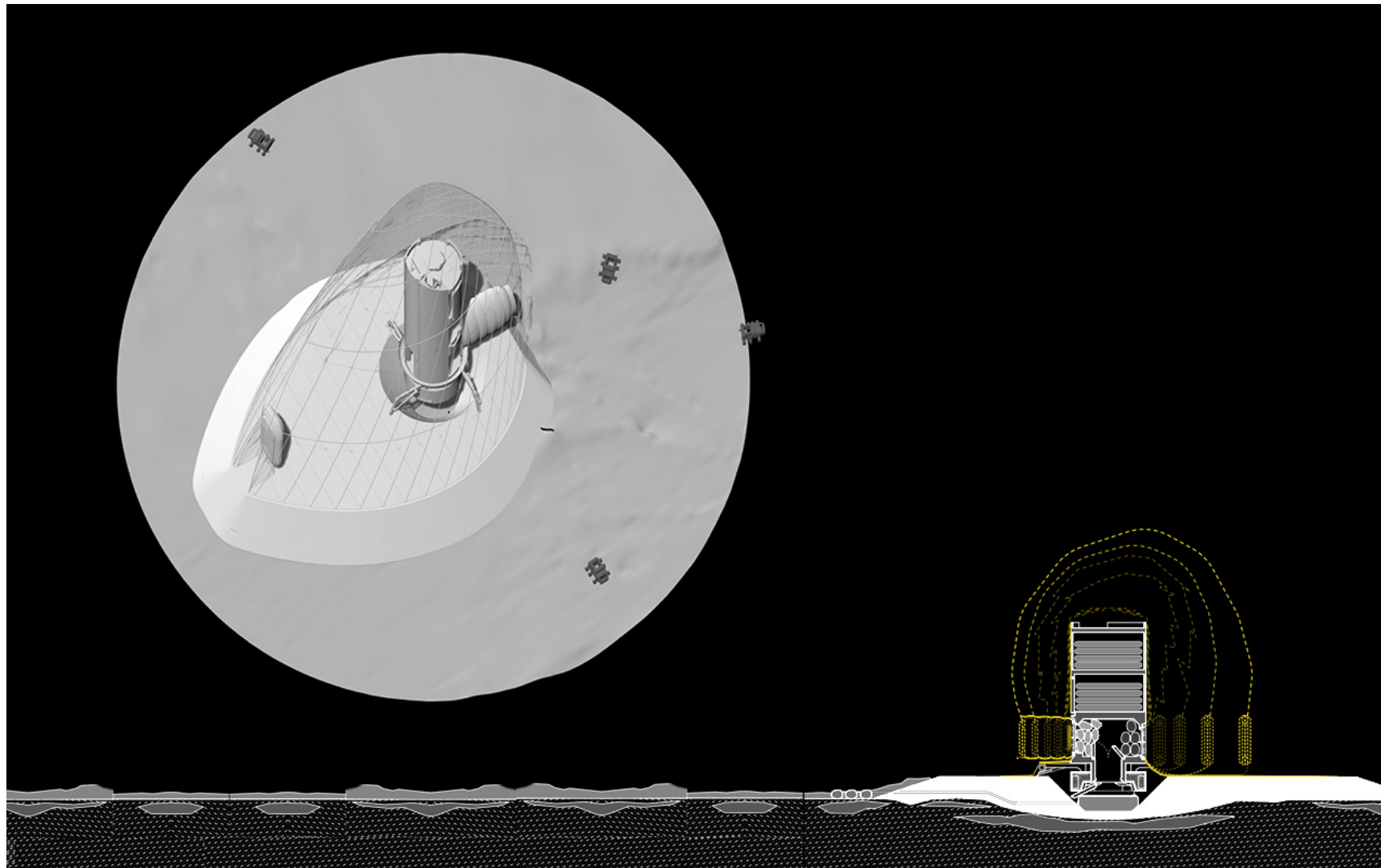
1. Descent

Deployment is initiated by a lander, sized for the currently available payload of a Space X Falcon Heavy and NASA's Space Launch System (SLS), both of which are undergoing testing and development.



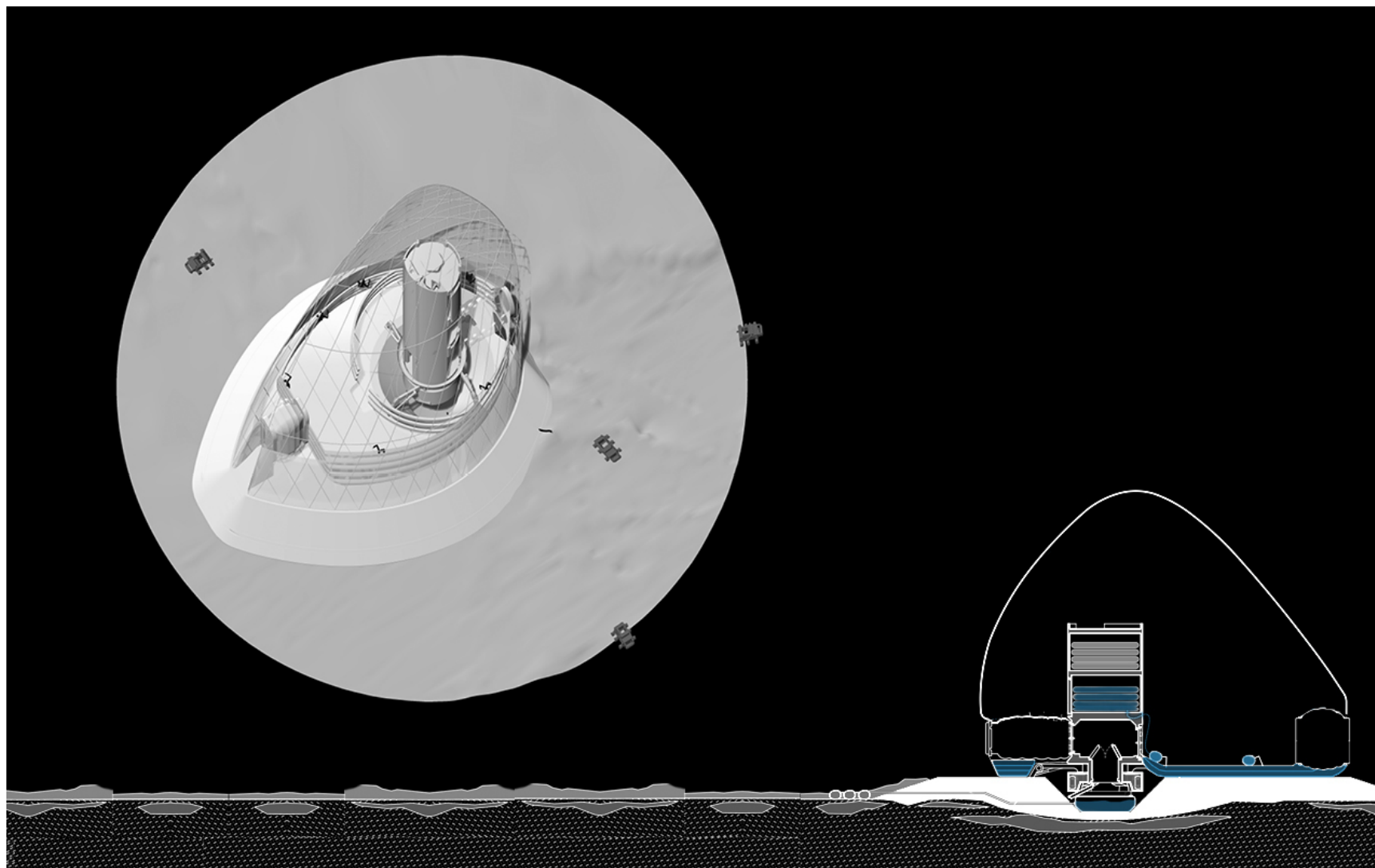
5. Sinter Foundation

The double acting WaSiBo collects and laser sinters regolith to provide a foundation for the ice habitat.



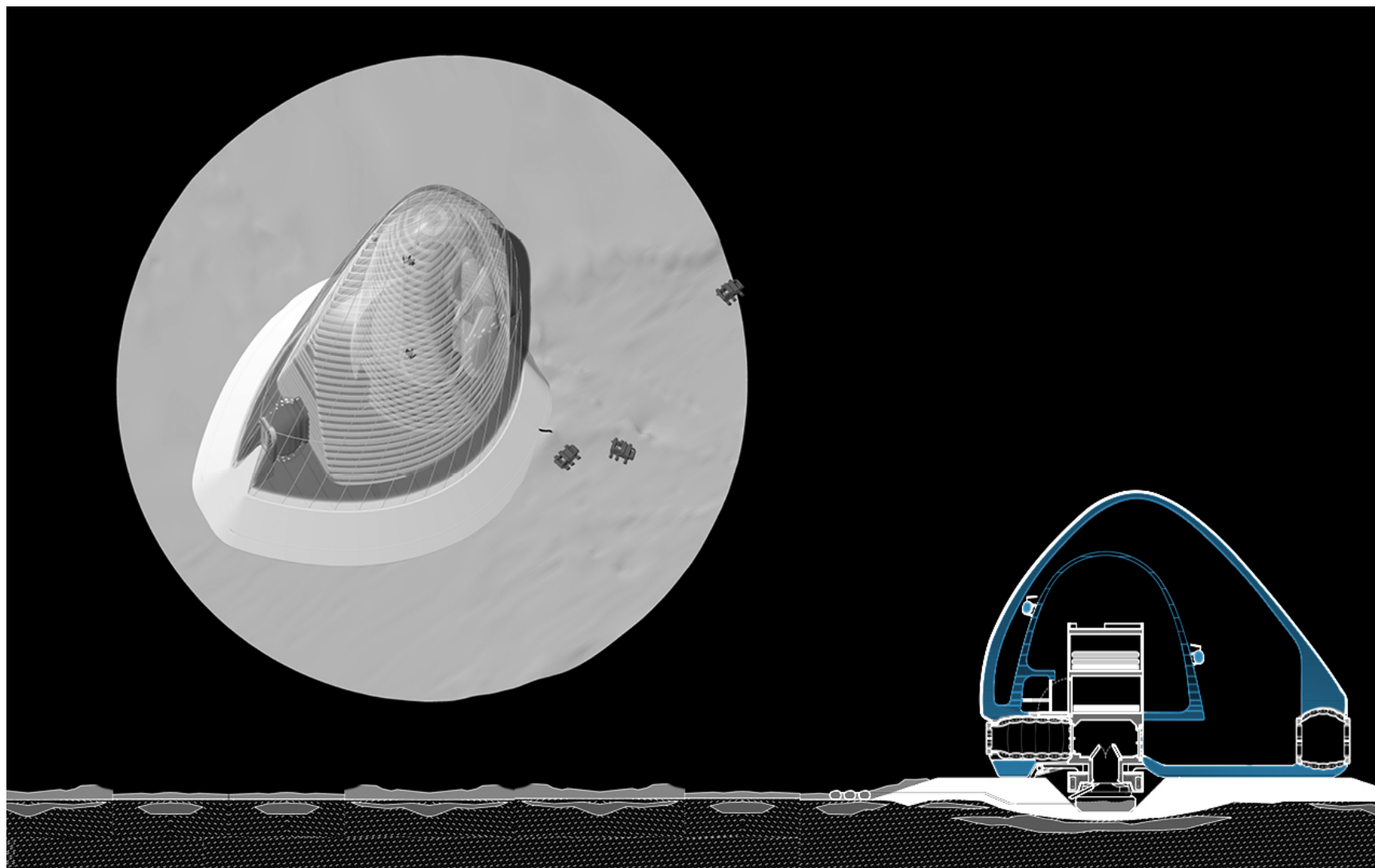
8. Inflate ETFE membrane

A transparent and fully closed ETFE membrane reinforced with tensile Dyneema is deployed from the lander and inflated to form a pressurized boundary between the lander and the Martian exterior. This membrane, precision manufactured on Earth, is critical protection for the future ice shell, preventing any printed ice from sublimating into the atmosphere.



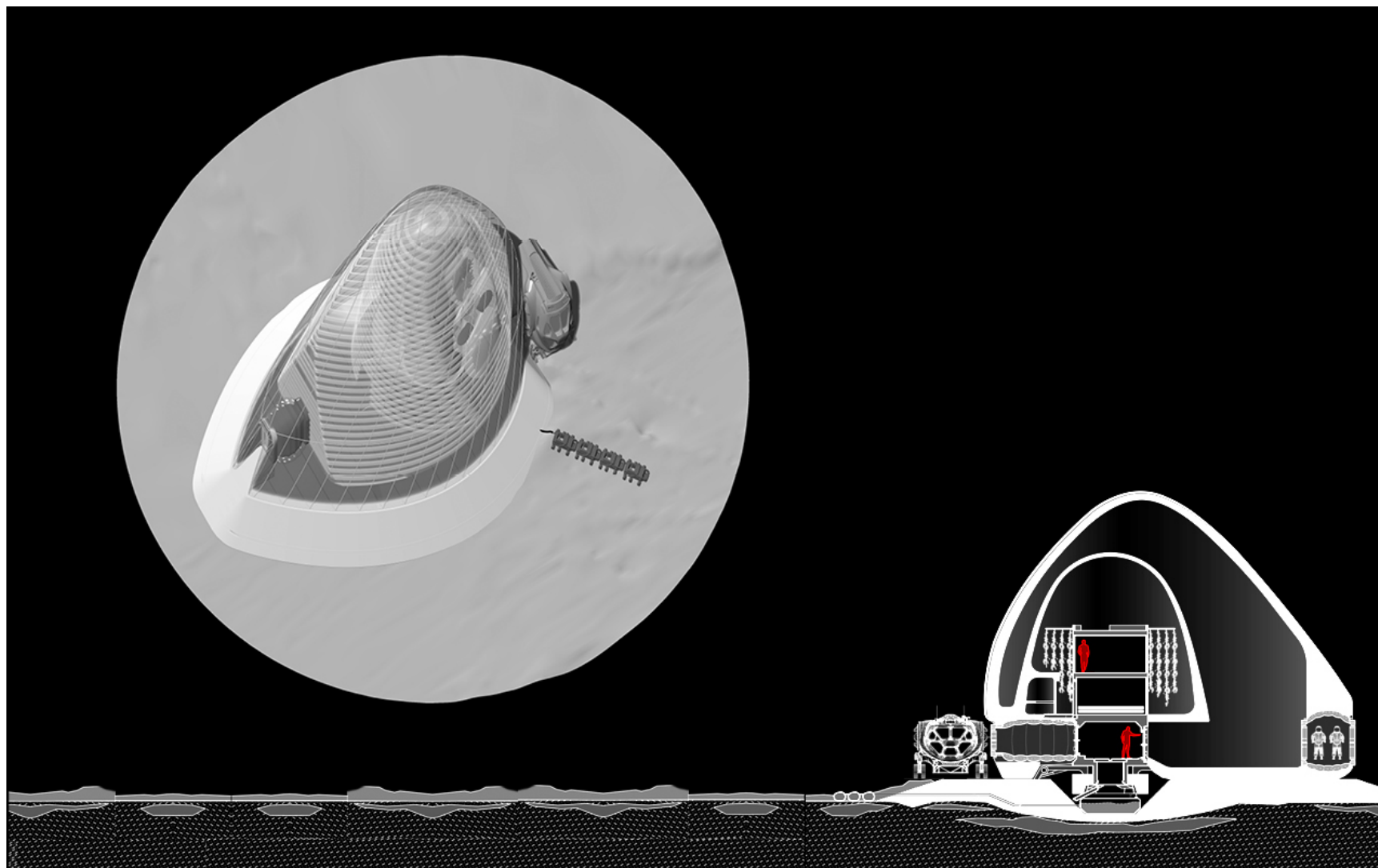
10. Print Ice

Following deployment of the ETFE membrane, ice bots are released from the lander into the pressurized pocket to commence the second phase of printing. These bots use a triple nozzle to dispense a composite of water, fiber and aerogel along layered rings, printing a spectacular light emitting lenticular form that is structurally sound, insulated and translucent.



14. Print Inner Shell

A porous substance, 99.8 percent empty space by volume, this additional lightweight material brought on the lander from Earth, serves an efficient air gap to create the necessary thermal break. The insulating layer enables the inner volume to achieve habitable temperatures without melting the ice structure beyond.



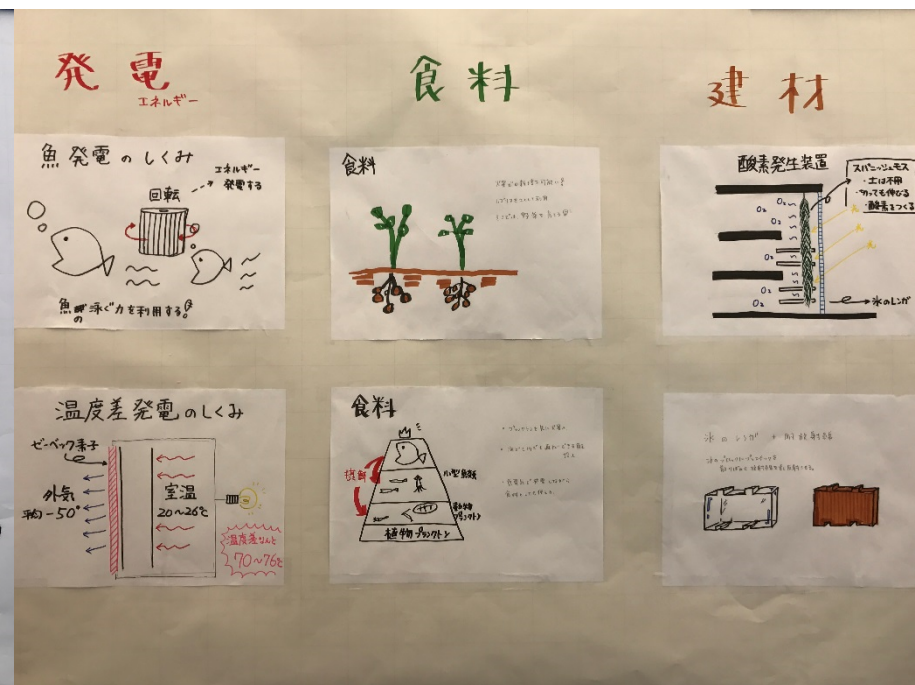
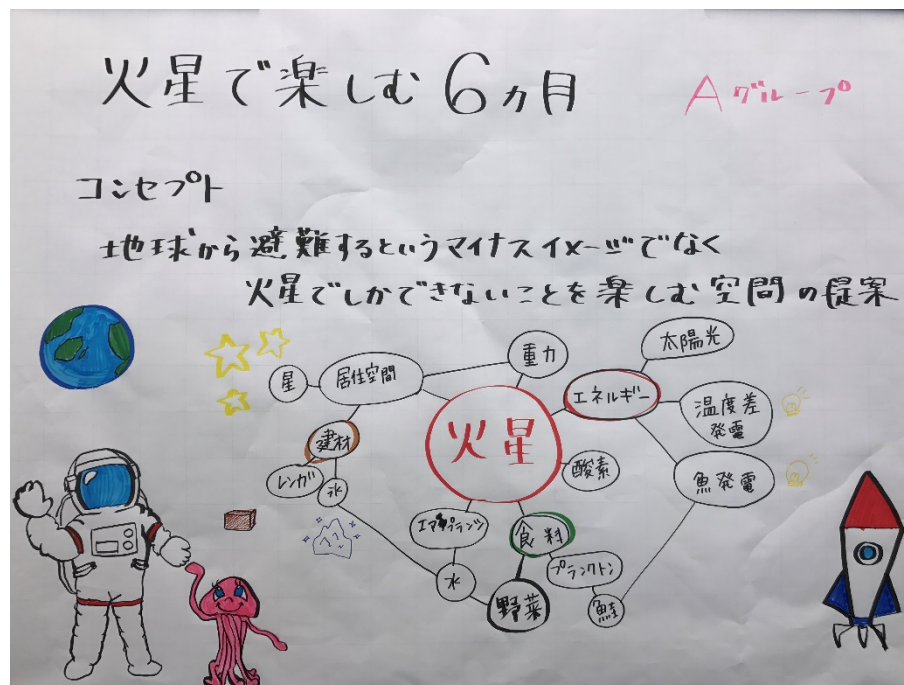
17. Crew Inhabits

The heat from the lander and the crew remains inside the habitat due to the layer of printed aerogel insulation.

(琉球大学 学生1名、IDA学生 2名)

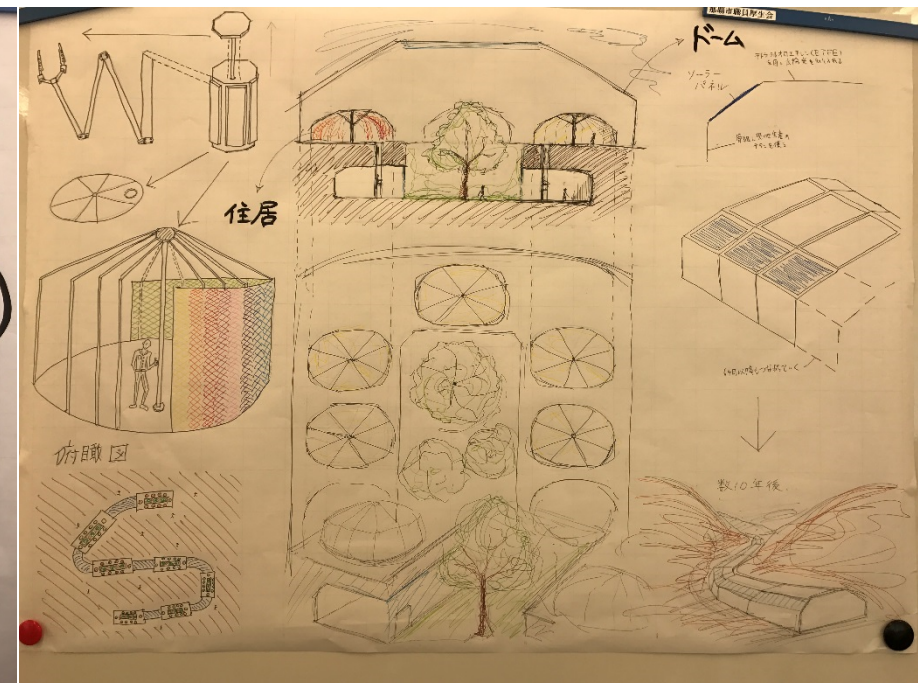
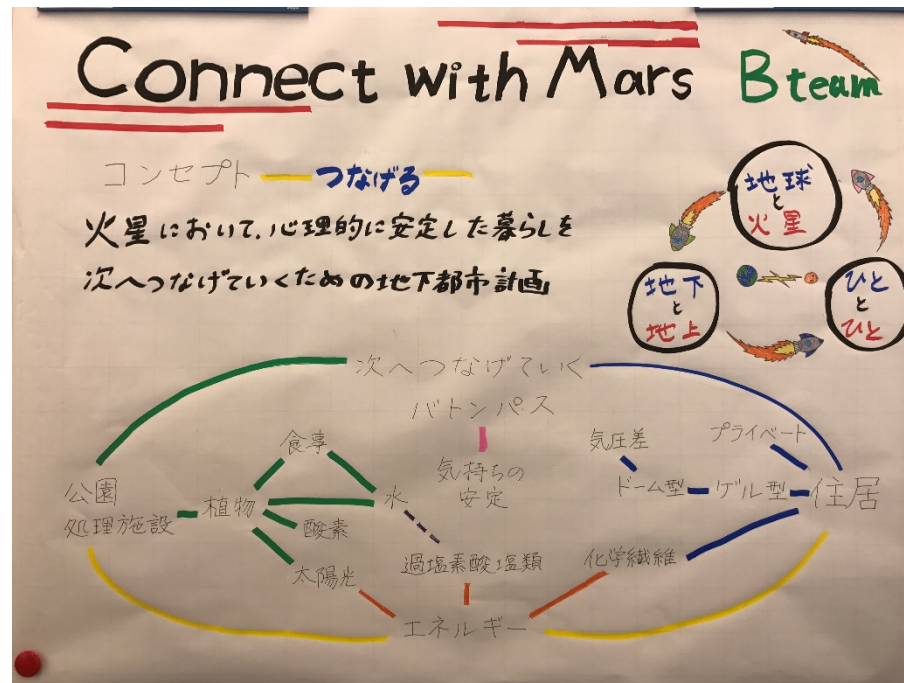
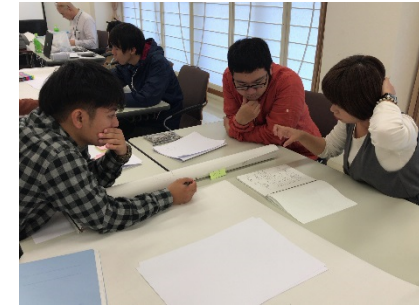
タイトル「火星で楽しむ6カ月」

地球からの避難ではなく、火星の空間を楽しむ提案。
魚発電、食糧、酸素発生システムの構築、
居住棟は3階建て。



（琉球大学 学生1名、IDA学生 2名，社会人1名） タイトル「Connect with Mars」

ゲル型住居、地下にワークスペース、菜園を設置。
住戸内は色彩によるインテリアを設計する。
数十年後には住戸ユニットを連結して都市へと
成長する。



平成28年度 文部科学省委託事業
「成長分野等における中核的専門人材養成等の戦略的推進」事業

社会基盤分野における次世代ニーズに係る
中核的専門人材養成プログラム開発プロジェクト事業

無断転載は一切禁止とする



日本工学院八王子専門学校