

c班：宇宙基地構想

100人火星移住計画 ⑧秘

金井佑人、白川雄貴、鶴見薫樹、山本和弘
(京都大学)

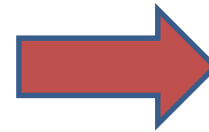
物質運搬

宇宙エレベーターの建設

運搬コストの削減

H II Aロケット:1kgあたり100万円

宇宙エレベーター:1kgあたり1万円



100分の1

静止軌道半径

地球:42300km

火星:20100km



35900km

16700km

- ・地球に建設した宇宙エレベーターを使って、火星の疑似重力にあらかじめ慣れておく

$$\frac{r^3}{R^3} + k \frac{r^2}{R'^2} - 1 = 0$$

R:静止軌道半径, R':地球の赤道半径

宇宙基地建設

宇宙エレベーターの末端は？

⇒パヴォニス山(北緯1.48度 東経235~249度 標高14km)
赤道直下の高さは12.3km。砂嵐の影響も受けにくい(?)

宇宙基地の建設方法は？

⇒材料はレゴリス

火星のレゴリスを何層にも積み重ねて圧縮しレンガを生成。
このレンガは鉄筋コンクリート並みの強度を持つ

⇒機械は3Dプリンター

3Dプリンターが建設現場で応用されている

ex.橋(アムステルダム)、ビル(ドバイ)

● 火星に存在すると考えられるCO₂・H₂O

- 極冠の氷

極冠の大きさ：幅~1100 km, 厚み~3.2 km

推定埋蔵量 9,500 – 12,500 km³ (Phillips et al., 2011)

https://www.windows2universe.org/mars/places/mars_polar_regions.html

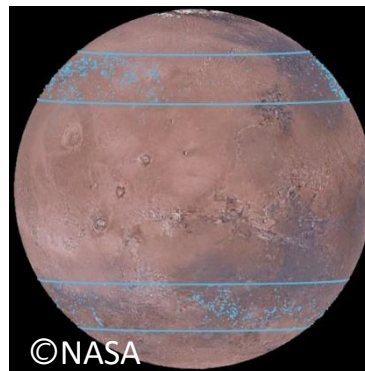
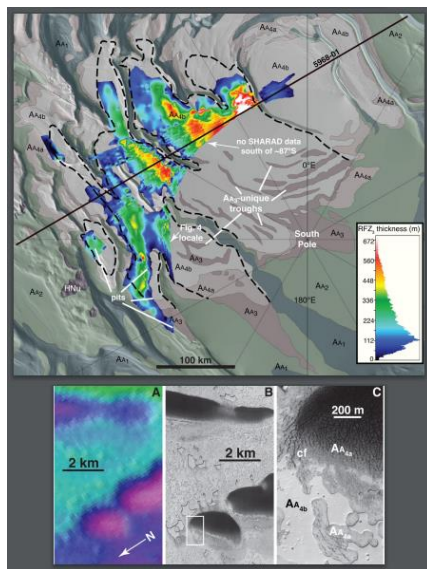
- 中緯度帯の氷河：1.5 × 10⁵ km³ (Karlsson et al., 2015)

- regolithに含まれるもの (Fanale & Cannon, 1974)

1 km²あたり4 × 10³ kg ?

- 石灰岩？

http://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/292_mars



(Phillips et al., 2011)

	表面積	大気質量	大気圧
地球	$5.1 \times 10^8 \text{km}^2$	5148Tt	101.3kPa
火星	$1.4 \times 10^8 \text{km}^2$	25Tt	750Pa

人間が生活するために大気圧は最低地球大気圧の約15%必要である

←放射線を減らすため＋水が液体で存在できる(0.2 気圧なら60°CまでOK)＋植物が育つにはもう少し必要？

火星の表面積が地球の約1/4であることから必要な大気質量は概算で
 $5150 \times 0.15 \times 0.25 = 195(\text{Tt})$

したがって現在の大気に加えて170Ttの大気を作り出す必要がある

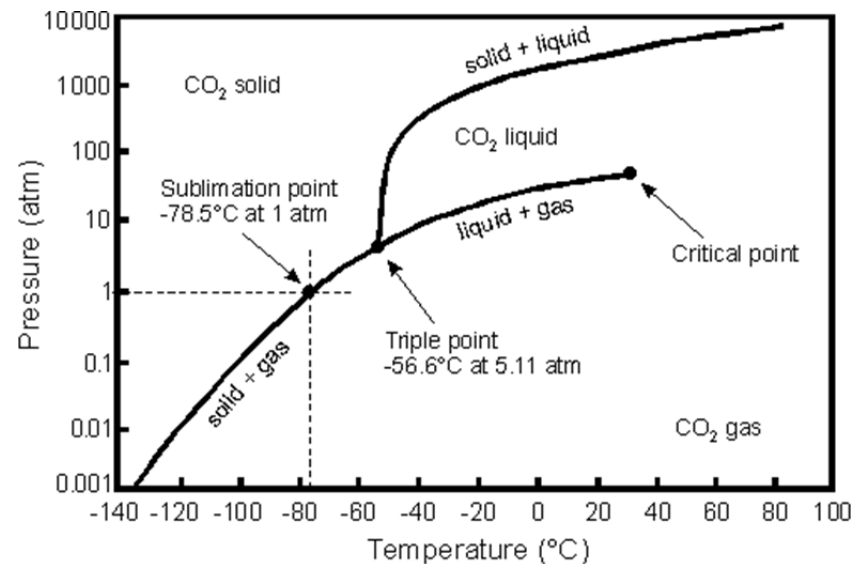
どの気体がよいか？

→CO₂

- ・温室効果によって火星の210kと低い平均気温をあげられる
- ・火星極冠に固体CO₂が存在する

火星の極の温度:123k
火星の大気圧におけるCO₂の昇華点:150k
→27k上昇させることで極の固体CO₂を昇華できる
∴170TtのCO₂を27k上昇させる熱量が必要

昇華潜熱:573kj/kg
→必要な昇華熱 974.1×10^{17} kJ
比熱:0.837kj/kg
→必要な熱 28.5×10^{17} kJ
∴ 1.0×10^{20} kJの熱があれば人間が生活できる
大気圧にするだけの量のCO₂を固体→気体にできる。



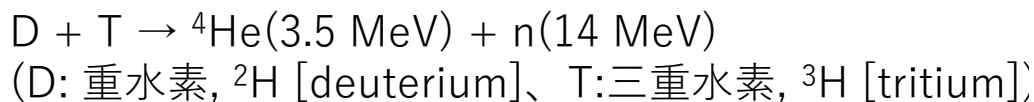
Pressure-Temperature phase diagram for CO₂.

ただし、火星南極の固体二酸化炭素埋蔵量は9500～12500km³と推定されており、固体二酸化炭素の密度1.57g/cm³を用いると質量は約20Ttとなる
北極に同程度あると仮定しても約40Ttであるため、火星の極を利用して生み出せるCO₂は必要量の23%である。

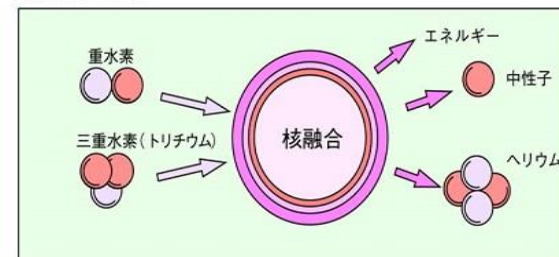
残りは火星の地下にあると期待されるものやレゴリス、他の惑星(地球の不要な二酸化炭素、金星大気など)を運んでくる。

● エネルギー源：核融合炉

● D-T 反応



核融合の原理



1グラムの重水素－三重水素燃料から約8トン石油に相当するエネルギーを得ることができる。
http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/iter/019.htm,
http://www.fusion.qst.go.jp/ITER/iter/page1_20.html

出力100MW（10万kW：火力発電所の発電機の一機分は約100万kW）の場合、消費する燃料（重水素と三重水素）は1年間で約25kgあれば充分である。

● ローソン条件

D-T反応が連続的に起こるために必要なプラズマの温度、閉じ込め時間の条件。

温度1億度、密度100兆個/cm³、閉じ込め時間1秒くらい

表1. LHDのこれまでの成果

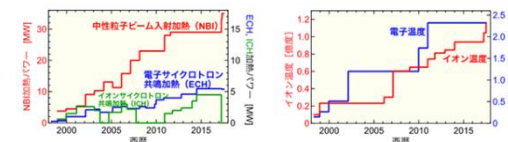
プラズマ性能	大型の6段磁場装置	大型の6段磁場装置	核融合炉の目標値
イオン温度	1億7,000万度 (密度15兆個/cm ³)	1億7,000万度 (密度20兆個/cm ³)	1億7,000万度以上 (密度20兆個/cm ³ 以上)
電子温度	2億2,000万度 (密度20兆個/cm ³)	1億2,000万度 (密度20兆個/cm ³)	1億2,000万度以上 (密度20兆個/cm ³ 以上)
電子密度	1.25兆個/cm ³ (密度10兆個/cm ³)	400兆個/cm ³ (密度100兆個/cm ³)	1.25兆個/cm ³ 以上 (密度100兆個/cm ³ 以上)
ベータ値 (プラズマ圧力/磁場圧力)	5.15 (磁場 0.45テスラ)	5.8 (磁場 1.2テスラ)	5.8以上 (磁場 5テスラ)
定常運転	54分 (500 kJ)	48分 (1,200 kJ)	1時間 (3,000 kJ)

● 日本の核融合研究の実績

核融合科学研究所/総研大（ヘリカル型閉じ込め方式）

量子科学技術開発研究機構（トカマク型閉じ込め方式）

イオン温度5.2億度（世界記録）



● 氷(CO₂, H₂O)を溶かすのに必要な熱量

<http://www.nifs.ac.jp/press/180403.html>

- 前述の火星の大気を作り出すには、100万kWの発電機で115.8 日必要になる

酸素の確保～Green Mars～

ヒト一人あたり消費する酸素量は一日約500L

一年間に呼吸で発生するCO₂は炭素97kg分



ヒト一人の呼吸によって発生するCO₂植物の光合成によって固定するとすれば**346 m²の農耕地**が必要

火星で温帯常緑林が育つなら183m²でよい

しかし悪環境に強いマツは針葉樹のため、広い土地が必要



人間100人が定住する場合を考えると、

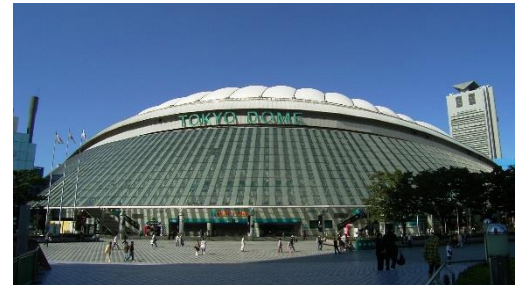
34,642m²の農耕地

ジャガイモ、トマトetc



火星に東京ドーム1個分の土地を確保する必要がある

東京ドームが46,755m²



→ 放射線を防ぐ＋気温をあげるために、二酸化炭素の大気を火星全球で形成しつつ、酸素が供給されている**100人規模の火星基地（ドーム）**を建設することを提案する。

* 物質運搬は宇宙エレベーターを利用する

* エネルギー源は核融合炉