

# 火星移住を見据えたアンチレゴリスシステム

## 第14回 君が作る宇宙ミッション MUSES班

岡本 咲華(高1)【日本大学第三高等学校】、神山 友里(高1)【洗足学園高等学校】、  
小林 寧々(高2)【法政大学女子高等学校】、竹崎 碧(高1)【広島県立広島高等学校】、  
池谷 蓮(高2)【大阪府立豊中高等学校】、田渕 宏太郎(高1)【南山高等学校男子部】、  
平山 龍一(高2)【高輪高等学校】

### 1.背景

アポロ17号ではハリソン・シュミット飛行士がレゴリスを吸引し、花粉症のような症状を引き起こした[1]。彼だけでなく、月面を歩いた全ての宇宙飛行士の肺組織にレゴリスがあったことが、帰還後の医学的調査により確認されている。吸引し続けたレゴリスが蓄積すると、皮膚や目への刺激やリンパ系、心循環器系等への健康被害を引き起こし、塵肺症の悪化により最悪死に至るといふことも考えられる[2]。

アポロ時代に利用された着陸探査用の宇宙服は、表面が繊維素材であった。船外活動(Extravehicular Activity(以下EVA))で繊維の隙間にレゴリスが入り込むが、除去が難しい。それらが宇宙船内で浮遊することで、健康被害を引き起こしたと考えられる。

将来、月や火星でのミッションではEVAが増えると考えられることから、同様の問題が起こらないよう特に対処する必要があると考えた。

### 2.目的

前章の背景を踏まえて、レゴリスの除去しやすい宇宙服の開発、及び基地内部に宇宙飛行士が入るまでに、宇宙服に付着したレゴリスを除去するシステムを構築することを目的とした。

### 3.解決策

これらの問題点に対処するために、宇宙服(3.1)、基地設備の改善(3.2)という2つの観点から解決策を考案することにした。

表1 宇宙服に用いる各素材の性質

DLC	耐凝着性、耐食性、耐摩耗性、 低相手攻撃性、化学的不活性
チタン合金	軽い、錆びにくい、 鉄よりも靱性が高い
シリコーン	耐寒耐熱性、導電性、 耐屈曲疲労性、耐放射線性

#### 3.1.アンチレゴリスーツ(ARS)

今回考案したのは、ハードシェルとソフトシェルから成るハイブリッド型宇宙服である。素材は、DLCコーティング[3]を施したチタン合金(Ti-6Al-4V)[4]をハードシェル部に、シリコーン[5]をソフトシェル部に使用する。DLCコーティングは表1にあるように、優れた性質を示すため、宇宙服の保護などメリットが多い。これらの構造であれば表面に繊維を使わないため、アポロ宇宙服のような問題は起こりにくく、レゴリスの除去も容易になる。また、ハードシェル部には微小のくぼみをつけることにより、エアシャワーを用いた際に宇宙服表面の流れが剥離することを抑制する[6]。くぼみがあることで、以下の基地システムを用いた際にレゴリスの除去が容易になると思われる。



図1. ARSのイメージ図

#### 3.2.基地設備

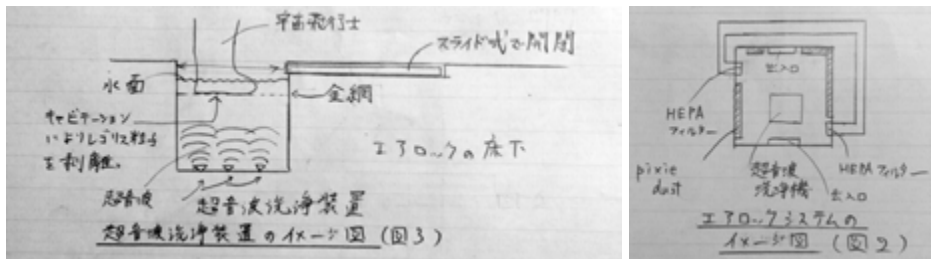
##### i)エアロック

エアロック内にはエアシャワーと超音波洗浄機[7]を備えて宇宙服と靴底に付着したレゴリスを除去する(図2)。

エアシャワーには、超音波で粒子を浮かせる「pixie dust」[8]という技術を応用する。エアロックの壁に埋め込んだスピーカーを用いて発生させた超音波で宇宙服表面のレゴリスを浮かせ、これをエアシャワーで吹き飛ばす。エアロック内の空気の循環システムには、HEPAフィ

ルター[9]を挟むことでレゴリスを取り除く。また、レゴリスの平均的な直径は65~70 $\mu\text{m}$ であり、HEPAフィルターは0.3 $\mu\text{m}$ の粒子を99%以上取り除くことが可能であるため、ほぼ100%のレゴリスを取り除くことが可能であると考えられる。

超音波洗浄装置はキャビテーション現象を用いてレゴリスを靴底から剥離させる装置である(図3)。この時使用する超音波の周波を100~1000kHzとすることで3~30 $\mu\text{m}$ の気泡が発生するため、汚れに応じてより効率的なレゴリスの除去を行える。



## ii)その他

まず基地外には、宇宙服に溜まった静電気を除去するためのケーブルを取り付ける。ケーブルの末端は月面に接触させてアースする。レゴリスは0.1~数 $\mu\text{C/g}$ ほど帯電しており[10]、これは宇宙服に搭載された装置を故障させる危険性がある。この問題を解決するためにケーブルを通し、宇宙服に帯電した静電気を流す。これにより、宇宙服に溜まっている静電気を逃せるだけでなく、他の機器が宇宙服に溜まった静電気により誤作動、もしくは故障する可能性を低減できる。

また、以上の対策をとっても、なお基地内にレゴリスが侵入する可能性が考えられる。そこで基地内の空気の循環システム内のファン部分に、前述したHEPAフィルターを取り付けることで残りのレゴリスを取り除く。

## 4.成果予測

前章の解決策により、基地内に持ち込まれるレゴリスの量が大きく減ると予測される。それにより、レゴリスによる健康被害及び、宇宙飛行士が受けるであろうストレスを大きく軽減することが期待できる。また、アポロ宇宙服と違い繊維素材でないので、宇宙服の損傷が軽減できると考えている。結果として、人間と宇宙服どちらにも優しいシステムであると言えるだろう。

## 5.今後の展望

近年、はやぶさ2など、サンプルリターンへのミッションが国際的に盛んに計画、実行されている。これらで持ち帰ったサンプルを用いて、このシステムが実際どれ程の有効性をもっているのかといった実験をしていきたい。また、レゴリスの除去システムは地球上でも、砂漠地帯の建造物の入口などの身近な場所や、クリーンルームの入り口などに技術応用が可能である。上記のようなシステムを完成させることは火星移住の早期実現を可能にすると同時に、宇宙飛行士の安心安全なミッション遂行を支えることとなるだろう。

## 6.参考文献

- [1]月面の環境(レゴリスを中心に) : [http://edu.jaxa.jp/himawari/pdf/2\\_moon.pdf](http://edu.jaxa.jp/himawari/pdf/2_moon.pdf)
- [2]月面ダストの生体影響 : [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/24/2/24\\_2\\_129/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/24/2/24_2_129/_pdf)
- [3]DLC(Diamond Like Carbon) : <http://www.nippon-ift.co.jp/technology/about-dlc04.shtml>
- [4]チタン合金 : <http://www.natori-mnf.co.jp/titanweak/index.html>
- [5]シリコーン : [http://www.silicone.jp/catalog/pdf/rubber\\_j.pdf](http://www.silicone.jp/catalog/pdf/rubber_j.pdf)
- [6]金原・築地ほか5名,(平21),流体力学-シンプルにすれば「流れ」がわかる-,210-216,実教出版.
- [7]超音波洗浄 : [http://www.kanto.co.jp/times/pdf/CT\\_237\\_02.pdf](http://www.kanto.co.jp/times/pdf/CT_237_02.pdf)
- [8]pixie dust : <http://pixiedusttech.com/>
- [9]HEPAフィルター : <http://www.k-mpm.com/filter/J4-1A.html>
- [10]月レゴリス帯電量 : <http://www.kawamoto.mech.waseda.ac.jp/kawa/researches/pdf/shield/2014tajima.pdf>