

テーマ名：宇宙用携帯脱臭装置

(副題：無重力下における吸着剤の加振による脱臭効率向上に関する提案)

鳥羽商船高等専門学校

商船学科 機関コース

山口 康太

制御情報工学科

野呂 泰史

商船学科 機関コース

青木 元

指導教員

伊藤 友仁

1. 緒言

人間が宇宙で快適に生活するには「衣食住」の生活環境を整える必要がある。「衣」や「食」に関しては、宇宙用衣服や多くの宇宙食の開発により格段の進歩を遂げている。しかし、「住」に関しては、無重力がゆえに地上の住環境と異なることは容易に想像でき、改善すべき点が数多く残されている。今回、その中でも、目に見えない臭いに着目した。宇宙飛行士の報告によれば、国際宇宙ステーション（以下、ISS と記す）内でおならをすると、強烈な臭いが残り、そこへ鼻を近づけた人は大変な被害を受ける¹⁾²⁾。これは、無重力空間では空気の自然対流が発生しないため、臭いが拡散し難くその場に留まるからである。現在、ISS の空調システムでは、吸排気時にフィルタを通して臭いを吸着させている。しかし、その方法では脱臭に時間がかかり、局所的な脱臭が困難といった問題点がある。臭いによる不快感が生活上のストレス要因になると思われ、宇宙で快適に生活できるとは言い難い。

我々は、無重力空間で迅速かつ効率的に脱臭を行う方法を考えた。現在、空気中の臭い成分の除去には、種々の方法がある。そのうち、活性炭などの多孔質材を充填したフィルタに空気を通して臭い成分のガスを吸着除去する方法が最も簡単で安全性が高く、宇宙での使用に適すると考えられる。活性炭などを使ったガス吸収法は、ガスの吸収速度が比較的遅く、活性炭の体積当たりの吸収量に限界がある。そこで、活性炭を振動させることで、活性炭の表面近くの空気対流を促進し、吸着の効率を上げる方法を考えた。振動を加えた活性炭で臭いを吸着する実験を行い、振動の効果を確認した。また、無重力下で活性炭を振動させると、大きさの異なる粒子が分離しないため、吸着の効率は地上より向上することが期待できる。地上での実験結果を基に、あたかも小さな掃除機でゴミを取るように臭いを除去する携帯脱臭装置を考案した。

2. 人体の発する臭いと既存の脱臭方法

(1) 人体から発生する臭い

ISS 内などで発生する臭いには、人体から発生する臭い、生活臭（食べ物やトイレ）、機器から発生する臭いなどが考えられる。生活臭や機器から発生する臭いはある程度予測でき、対策を講ずることができる。しかし、人体から出る臭いは、局所的に突然発生するものもあり、素早く除去するのは難しいと思われる。そこで、本提案のように人体から発生する臭いを脱臭することは有意義であると考えられる。

人体から発生する臭いには極めて多く存在する。その具体例と ISS 内での対応を表 1 に示す。これらのまだ対策されていない、特におならのような臭いを脱臭することができる脱臭方法が求められる。

表 1 人の各部の体臭原因³⁾

	臭いの原因	ISS 内での対策
1. おなら	硫化水素やインドール、スカトール	×
2. 口臭	VSC (揮発性硫黄化合物)	△ (歯磨き)
3. 頭皮臭	脂肪酸	△ (洗髪)
4. 体臭	皮膚の脂質の酸化、脂肪酸、細菌の繁殖	○ (宇宙用下着)
⋮	⋮	⋮

(2) 既存の脱臭方法

既存の主な脱臭方法と特徴とそのデメリットを表 2 に示す。

表 2 既存の脱臭方法

		方 法	デメリット
脱臭方法	1. 吸着法	臭気を活性炭等の吸着物質に吸着させて、除去する方式。	時間がかかる。活性炭等の吸着物質を定期的に交換する必要がある。
	2. 光触媒脱臭法	紫外線と触媒の作用により、臭気を酸化分解する方式。	光触媒には、紫外線が必要であり、照明では十分な効果が得られない。反応が遅い。
	3. プラズマ脱臭法	匂い成分を含む空気中に高電圧放電を行うことにより、酸化剤を発生させ、これらの酸化力により、臭気を分解する方式。	プラズマを生成する上で、高圧放電を行う必要があり、引火する可能性がある。電力の消費が激しい。
	4. オゾン脱臭法	酸化剤であるオゾンを発生させ、臭気を酸化分解する方式。	高圧放電を行う必要があり、引火する可能性がある。オゾン自体が毒性を持つ。電力の消費が激しい。
	マスクング法	悪臭より強い芳香により、悪臭成分を抑え込み、不快な臭いを感じさせなくする方法。	悪臭を除去することはできないため臭いがどんどん蓄積する。

(3) 宇宙で使用する脱臭装置の条件

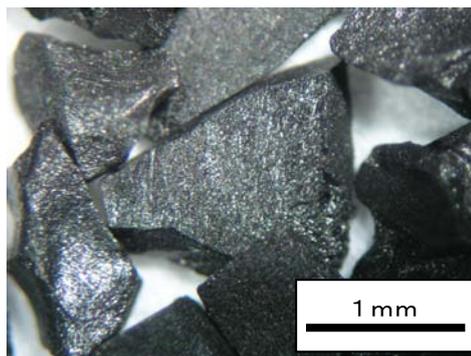
ISS 内では、物を燃やす、有毒な物質を発生させるといった危険な状態をつくることが禁止されている。宇宙用携帯脱臭装置もこれに従った方法で脱臭を行う必要がある。

表 2 の 1, 2 以外の脱臭方法では、高圧放電による発火及びオゾンの毒性といった危険性があるため ISS 内での脱臭には適していない。表 2 の 1 の吸着法及び 2 の光触媒脱臭法は比較的に安全である。しかし、光触媒脱臭法では臭いのガスの分解速度を早めることは、現状では難しいと思われるので、この方法は宇宙に適さない。一方、吸着法のデメリットである吸着速度を改善することは、技術的に可能だと思われる。従って、宇宙において有効な脱臭装置を作るには、吸着法が最も適していると考えた。

3. 宇宙用携帯脱臭装置を提案するにあたって実験で確認したこと

(1) 吸着剤の吸着原理⁴⁾

吸着剤の代表的なものは図1に示す活性炭である。活性炭には細孔と呼ばれる無数の穴が存在する。このため、単位重量当たりの比表面積が大きい。この表面に吸着される原子や分子（吸着質）が接近すると吸着質と吸着剤の間にファンデルワールス力（分子間力）が生じ表面に吸着される。



(2) 吸着速度を向上させる方法

現在、活性炭の吸着能力を向上させる方法としては、活性炭の細孔を増すことで表面積を増やす方法しかない。しかしそれらを実行するには技術的に難しい。そこで、我々は活性炭の吸着効率を容易に向上させる方法を検討した。活性炭が臭い分子を吸着する際には、図2のように活性炭の周りには流体境界膜が存在する。臭い分子が流体境界膜を越えて活性炭表面に接触しなければならない。流体境界膜に接触するまでの速度は気流に依存するが、流体境界膜内での移動はブラウン拡散に依存する。つまり、臭いのガス分子が活性炭に到達する時間は流体境界膜が律速する。我々は活性炭に振動を加えることにより流体境界膜の厚さを薄くすることで、境界膜内での移動距離が少なくなり、吸臭いガス分子の吸着が速くなると考えた。図2は活性炭を振動させ、流体境界膜の厚みを小さくする様子を描いた。

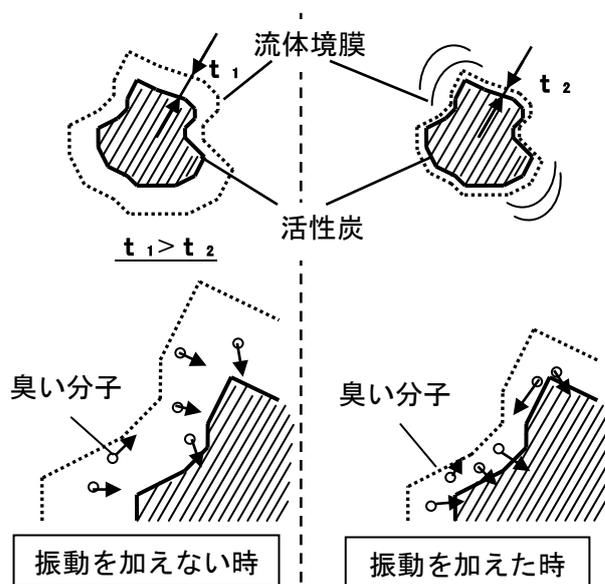


図2 活性炭に振動を加えた時とそうでないときの流体境界膜内を拡散していく臭いガス分子

(3) 無重力下での振動の効果

活性炭を振動させるとき、活性炭内の充填性を極めて高くすると、活性炭が振動しにくくなり、脱臭速度を高めることができなくなる。従って、ある程度振動する範囲内で、活性炭の充填性を抑えることが必要である。しかし、地上では重力の影響で図3のように、小さい活性炭は上方へ、大きいものは下方へと分離してしまう、そのため活性炭を充填したフィルタ内での気流の流れが偏ってしまい、効率的なガス吸収ができないと思われる。一方、無重力下の宇宙で活性炭を振動させると図3のように大きさの異なる粒子が分離しないため、フィルタ内で気流は均一となり、臭い分子の吸収効率が地上より向上することが見込まれる。

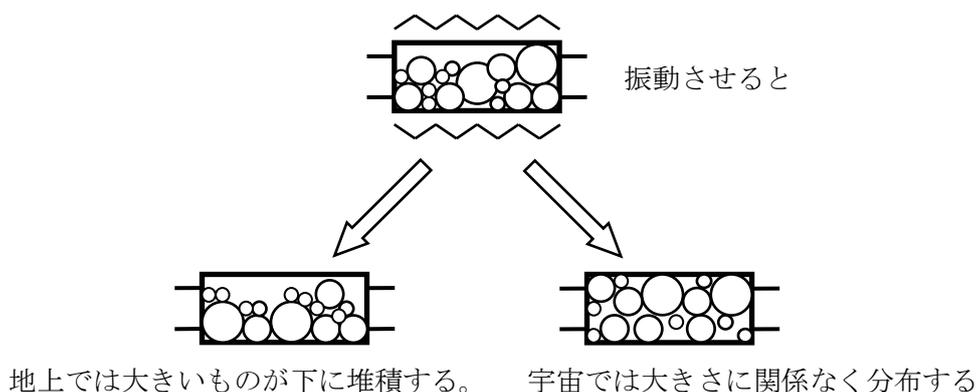


図3 地上と宇宙での振動による活性炭の大きさ分布の違い

(3) 実験での確認

①振動による脱臭

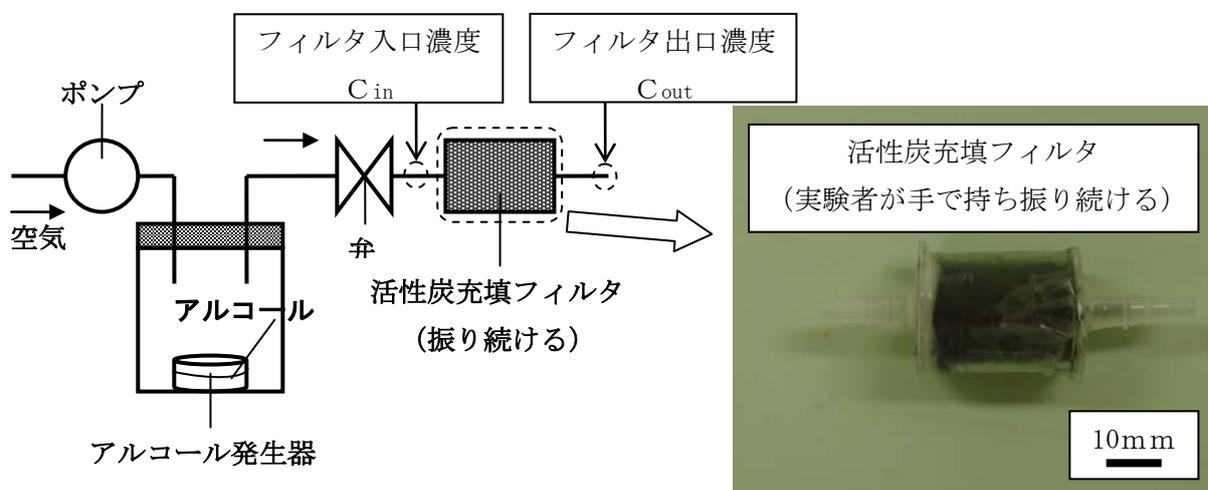


図4 実験装置の構成

まず、宇宙船内での臭いの発生源や臭い分子の分類に関して調査したところ、臭いの分子は極めて多く、個々の臭い分子の活性炭による除去実験を行うことは不可能であった。そこで、簡単にガス濃度測定ができる市販のアルコール検知計を使用して、空気中のアルコールを臭いのガスとみなし、アルコールの活性炭による吸着率を実験で調べた。アルコールの活性炭による吸着率は C_{in} と C_{out} を用いて、

$$\alpha = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (\%)$$

と定義した。活性炭に振動を加えた時にアルコール吸着率が良くなっていれば臭い分子の吸収に及ぼす振動の効果があるものと判断できる。実験装置は、図4に示すような構成となっている。ポンプから 60/min の風量で空気を流し、アルコール発生装置から流れてくる空気（アルコール濃度 0.5 mg/l）を活性炭充填フィルタ（φ18 mm×25 mm）に通し、振動を加えた（手で活性炭充填フィルタを、振り幅約 3 cm で 1 分間に約 100 回の速度で振り続けた）場合とそうでない場合の両方測定した。図5は、活性炭充填フィルタによるアルコール吸着率の経時変化をプロットしたものである。この結果より、活性炭に振動を加えることによる吸着量が向上することを確かめることができた。また、活性炭に振動を加えることで、吸着率の曲線が右に移動したことは、個々の活性炭における臭い分

子の吸着速度が速くなったことを間接的に示していると思われる。

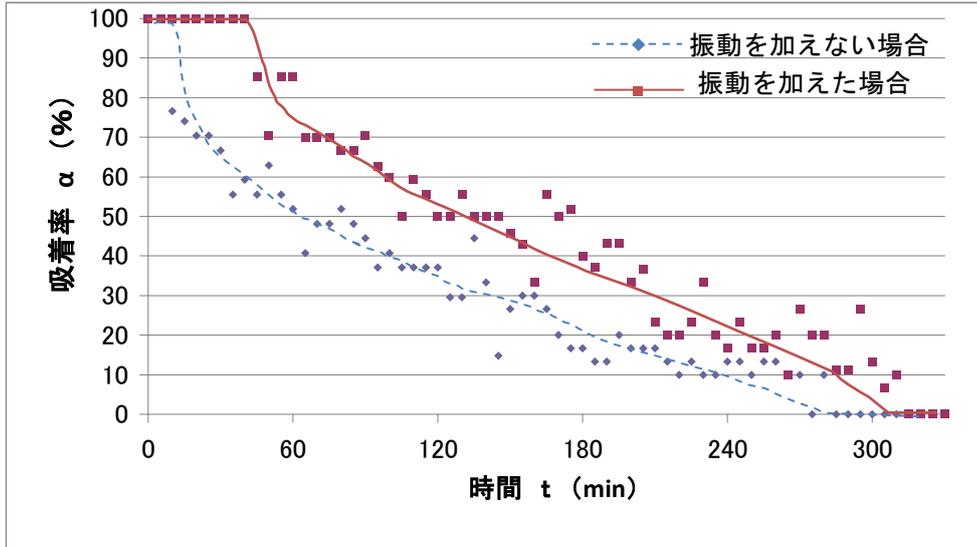


図5 活性炭を充填したフィルタに振動を加えた時とそうでない場合のアルコール吸着率の変化

②振動による活性炭の分布

図は地上実験で振動を加えた際、活性炭の大きさの分布が起こった様子を示す。

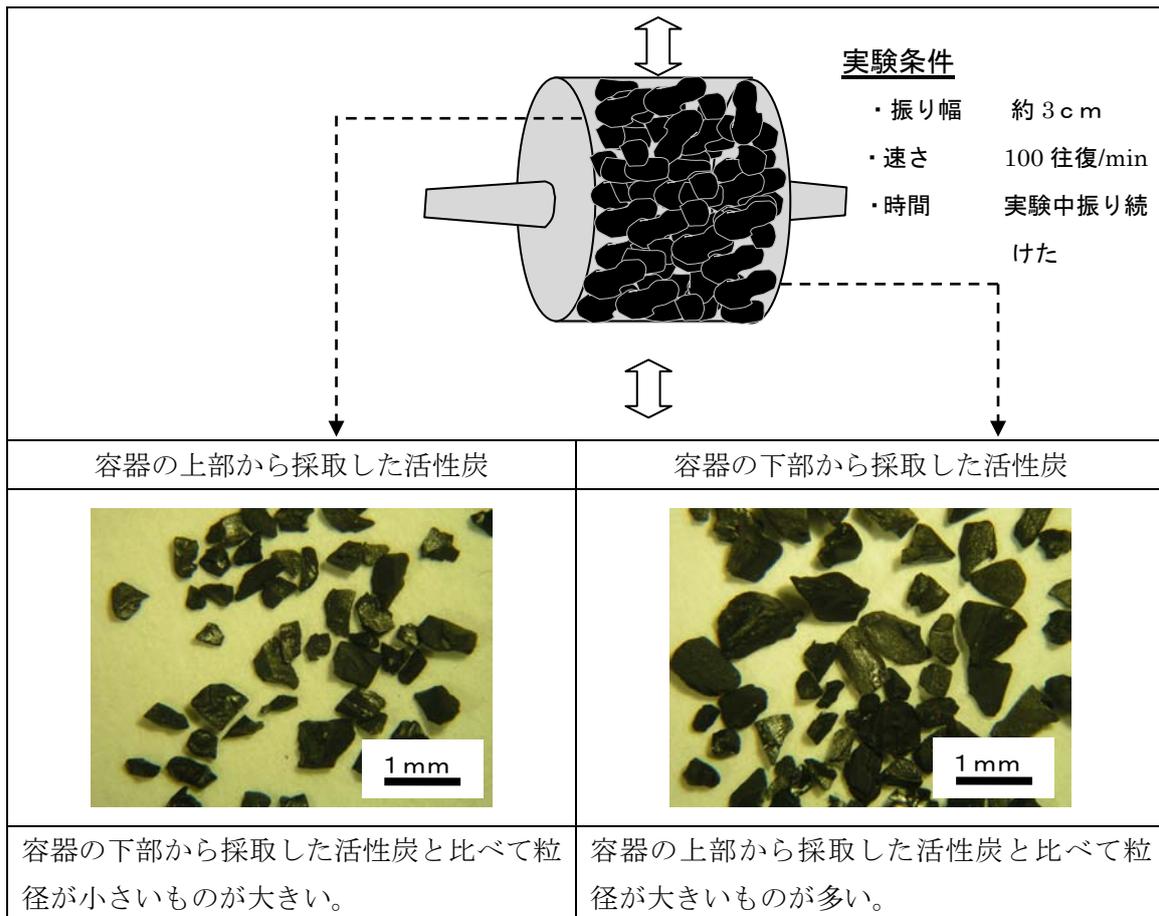


図6 活性炭粒充填フィルタ内の活性炭粒子の分布

無重力下では、振動によりこのような活性炭の大きさの分布が生じない為、フィルタ内の気

流の偏りがなくなり、吸着特性が向上すると思われる。

4. 宇宙用携帯脱臭装置の提案

(1) ミッションの方法

ISS 内での人の発する臭い及び食べ物などの臭いなどを急速に脱臭し、空気を清潔に保つため宇宙用携帯脱臭装置を提案する。本装置を提案するにあたり宇宙での最適な振動の振動数及び振幅、風量を調べる必要がある。そこで、ミッションの方法としては以下ようになる。

- ① 最適な運転条件を調べるため、実験用脱臭装置を試作して宇宙船内でデータを採る。
- ② 実験用脱臭装置のデータより最適な運転条件の宇宙用携帯脱臭装置を製作する。
- ③ 装置の使用状況や効果を把握し、順次不具合点を改善していく。

(2) 宇宙用携帯脱臭装置

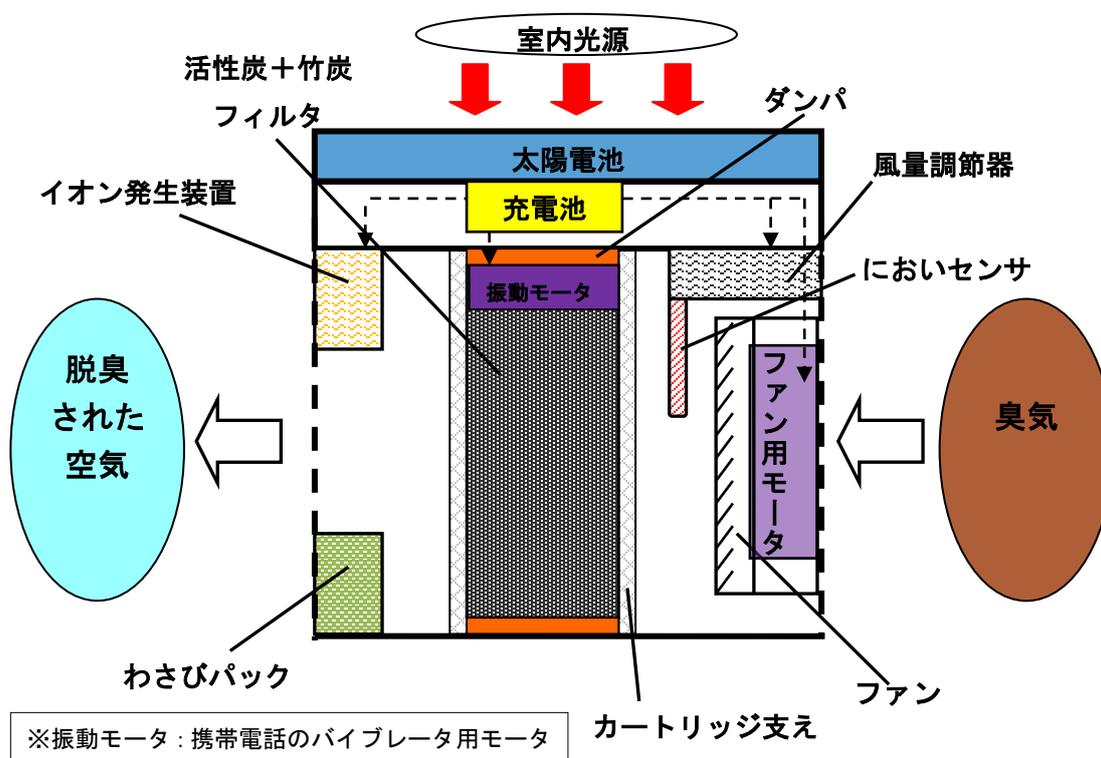


図7 宇宙用携帯脱臭装置の概略図

表3 宇宙用携帯脱臭装置の付加機能

付加機能など	効果
竹炭粒子のブレンド	臭い除去と竹炭から発生するマイナスイオン効果及び癒し効果
わさびパック装着	わさびの抗菌作用による防かび効果とわさび成分による脱臭能力付加
イオンの発生	高周波電圧により発生したイオンによる除菌効果

我々が提案する宇宙用携帯脱臭装置は、局所的な臭いを脱臭するものであり、その概略図を図7に示す。活性炭と竹炭のフィルタには、活性炭と竹炭に振動を加えるための振動モータが置かれており、これにより活性炭に振動を加えて脱臭性能の効率化を図る。脱臭だけに限らず表3に示すような機能を付加した。

「宇宙用携帯脱臭装置」の特徴)

- ①大きさ、約 100×100×30mm の携帯式
- ②振動モータのバイブレーションを用いて、活性炭に振動を与える。
- ③活性炭+竹炭フィルタと振動モータを一組のカートリッジとして、臭いを吸着できなくなったカートリッジは右図のように交換する。
- ④取り外したカートリッジは減圧脱着処理を行い、再利用する。

(本装置の通常の使用方法)

- ① 宇宙服にマジックテープで固定し、センサが臭いを感じた時、自動的に脱臭機能が働く。
- ② 使用期限が切れた時、カートリッジを交換し、脱着処理により再利用する。(右図参照)

(本装置のオプション機能)

- ① 宇宙飛行士が臭いを感じた際に手動で作動させ、臭いを取り除く。
- ② 食卓に置くことで、食べ物の臭いを脱臭する。

(3) 技術的な課題

- ①宇宙で発生し得る臭いをより多く除去できる吸着剤の選定。
- ②付加機能を含む装置のいっそうの小型、軽量化。

5. まとめ

生活の基本のひとつである住環境に関して、宇宙で脱臭することの重要性を考えた。既存の脱臭方法のうち、ISS 内でも安全に脱臭できる方法として吸着法を選んだ。活性炭を振動させることにより、低い充填性で高効率な脱臭が可能であると考え、実験によってその効果を確かめた。この結果に基づき、小型で素早く使用できる宇宙用携帯脱臭装置を提案した。また、実用化するための技術的な課題や、今後の拡張性を検討した。今回の提案が、宇宙における脱臭技術の向上に貢献でき、今後の宇宙での生活がより快適になることを願う。

参考文献

- 1) 「[図解]宇宙と太陽系の不思議を楽しむ本」: 的川泰宣著, 2006年, PHP 研究所
- 2) 「世界で一番おもしろい「宇宙旅行」の手引き」: 縣秀彦著, 2010年, 青春出版社
- 3) 例えば、男のニオイドットコム (<http://otokononioi.com/>) など参照
- 4) 「吸着の科学」: 近藤精一, 他著, 2001年, 丸善

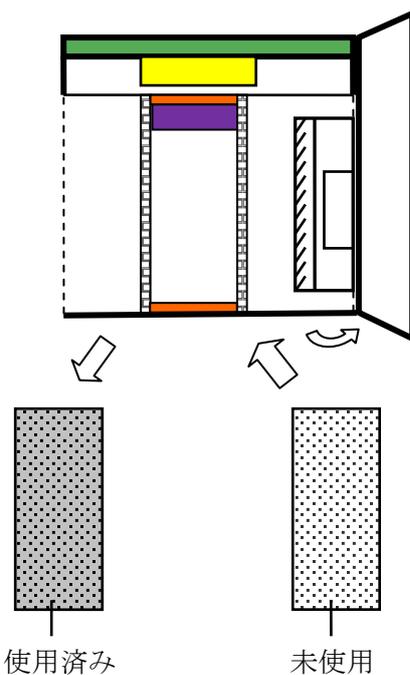


図8 カートリッジ交換イメージ