

解析書

摂南大学 理工学部 機械工学科
森田 真維斗 岩佐 六郎太

1. はじめに

宇宙飛行士は、宇宙ステーションやシャトルでの閉鎖空間での生活を強いられる。また、乗組員の異文化間の対人問題、常に危険と隣り合わせの緊張感という要因も重なり、少なからず精神的にストレスがかかる⁽¹⁾。現在、主なストレス解消法として、筋肉トレーニング、ジョギング、園芸、地球や月などの天体観測、音楽鑑賞、ニュースを見る、IP電話で会話などがあるが、種類は地上と比べて確実に限られてくる⁽²⁾。そうすると、満足にストレス解消ができずに、そのことが新たなストレスの要因となる。実際に乗組員同士の口論や流血騒ぎのケンカが起こった報告もある。宇宙ステーションやシャトルでの生活は狭いコミュニティである上に、共同作業などの相互補助関係が必要になる場合が多いので、ストレスを溜めないことは、そういった生活をする上で、非常に重要視されてくる。

2. ミッション概要

2-1. ミッションの目的

本ミッションは、前述の宇宙でのストレス問題の軽減を目的とする。そのために、宇宙で独特の動きをする流体に着目した。

無重力下で地上と同じ軌道の噴水を作ることにより、地上と同じような動きを持ちつつ、無重力下ならではの特性を生かすことが出来れば、感動を生み出すことが出来ると考えた。さらに、噴水の噴射パターンを工夫することにより、何回見ても飽きない噴水にする。それにより、ストレス解消方法を増やし、少しでもストレスを減少できることを目指す。

実際に50人に、噴水についてのアンケートを取り、噴水は癒しにつながることを期待できると考えた。(図1、図2)

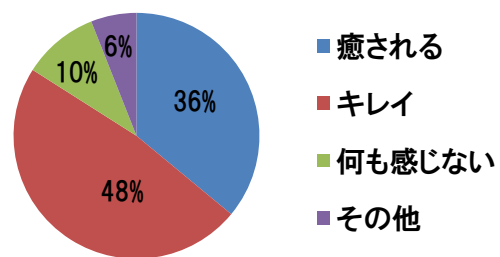


図1 噴水を見た感想

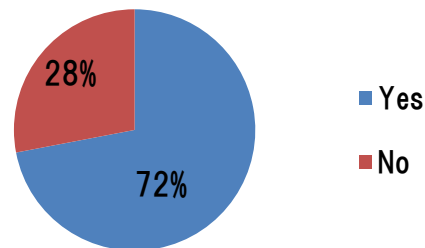


図2 宇宙で地上と同じ軌道の噴水を見たとして、癒されるか

2-2. 噴水の詳細

無重力下では噴水は、最初に与えられた以外の力が加えられないので、等速直線運動で飛んで、表面張力により球状となって漂うか、濡れ性によって壁面に張り付く。そのため、地上と同じ軌道を実現するためには、地上の重力のような、流体を下に引き付ける力が必要である。今回は、流体を磁性流体にし、下から磁石により、疑似重力を作り出す。磁性流体は紛体コロイドを使用する。磁石は電磁石にすることにより、磁場を連続的に制御できるようにする。さらに、電源を切った時、磁場が他機器に干渉を及ぼすことがないという利点がある。

3. 噴水装置について

3-1. 噴水の軌道のシミュレーション

無重力空間での流体の動きは、地上の重力下とは大きく違う。よって、噴水の軌道がどうなるのかシミュレーションが必要であるが、空気抵抗、流体の粘度、磁場、表面張力、流体力など考慮しなければいけない点が多いため、非常に複雑となる。今回はそれらを単純化し、磁性流体の滴を磁性体の質点と置く。そして、質点の鉛直上方投射運動をシミュレーションし、重力下での運動が磁力によって再現できるか確認した。

物体にかかる力 $F(N)$ は加速度 $a(m/s^2)$ 、物体の質量 $m(kg)$ により、

$$F = ma \cdots ①$$

と表せる。一方、クーロンの法則から、磁力 $F_1(N)$ は真空の透磁率 μ_0 、磁性流体の磁荷 $M_1(Wb)$ 、電磁石の磁荷 $M_2(Wb)$ 、磁性流体と電磁石の距離 $r(m)$ により、

$$F_1 = -\frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 r^2} \cdots ②$$

と表せる。式①、式②より

$$ma = -\frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 r^2} \cdots ③$$

式③より、磁場の強さや質点の初期条件を適切な値で制御できれば、重力を模擬できると考えた。

質点は二次元的に動くものとし、質点の加速度を二回積分し、落下地点と噴射された質体との距離 $x(m)$ を時間 $t(s)$ の関数として表し、グラフにて軌道を確認する。落下地点に磁石があるとすると、式③の

$$r = x \cdots ④$$

$$a = \ddot{x} \cdots ⑤$$

として、式③、式④、式⑤から

$$\ddot{x} = -\frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 m x^2} \cdots ⑥$$

$$x = -\frac{M_1 M_2}{4\pi\mu_0 m x^2} \cdot \frac{1}{2} t^2 + C_1 t + C_2 \cdots ⑦$$

式⑦で、 C_1 は初速度、 C_2 は初期位置の値を示す。式⑥から式⑦の流れを MATLAB の Simulink を使い、ブロック線図で表し、縦軸 $x(m)$ 、横軸 $t(s)$ のグラフにて表示する。以下の図 3 は、そのブロック線図である。

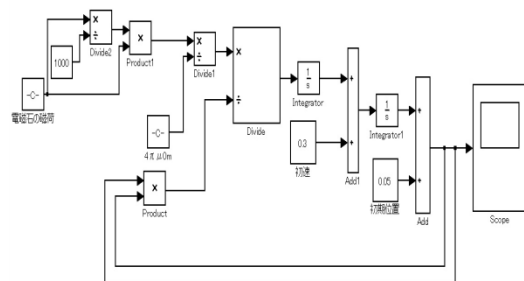


図 3 シミュレーションのブロック線図

設定しなければならない値は、電磁石の磁荷、初期位置、初速度の 3 つだが、初期

位置は高すぎると、噴水の噴射ノズルから最高到達点との差が少なくなり、噴水が不恰好になる。さらに初速度も小型ポンプを用いるため、あまり大きな値は設定できない。そのため、磁性流体の磁荷を電磁石の磁荷の $1/1000$ ($M_1=M_2/1000$) と仮定し、表 1 のパラメータで、電磁石の磁荷を変動させてシミュレーションを繰り返した。磁荷を $0.52 \times 10^{-4} \text{Wb} \sim 1.02 \times 10^{-4} \text{Wb}$ とした場合を図 4 にグラフを示す。この範囲では、一旦上昇したのち落下する。

表 1 各パラメータ

初期位置(m)	0.05
初速度(m/s)	0.3
質点の質量 m(kg)	0.026
真空の透磁率 μ_0 (N/A^2)	$4\pi \times 10^{-7}$

初期位置と初速度は変えずに、磁荷を $0.05 \times 10^{-4} \text{Wb}$ に小さくすると落下せずに飛んで行ってしまい (図 4、ライン①)、磁荷を $5 \times 10^{-4} \text{Wb}$ に大きくすると、飛び出さずに落下してしまう。(図 4、ライン⑦)

今回、宇宙ステーション内での使用を想

定しているため、一辺が 30 cm の立方体程度の大きさにするために、噴水の最高到達点が 20 cm 付近にする。そのため、磁荷を $0.5565 \times 10^{-4} \text{Wb}$ と設定する。(図 4、ライン④)

地上と同じように、噴水の動きを制御できたので、地上では不可能な、漂う噴水や逆向きに曲がる噴水も制御できると考える。

このシミュレーションは、空気抵抗、粘性、表面張力、流体力などを考慮に入れていないため、あくまで参照値であるが、初期値や磁場の強さを適切に制御すれば、多様な水の流れが実現できると見られる。実際に実験する際のパラメータの決定方法として、次の 2 つの方法を考えている。

「地上で重力と逆向きに磁力をかけて、無重力状態を再現できるパラメータを決める。」

「無重力、または微小重力下での実験にて、電磁石の磁荷を $0.5565 \times 10^{-4} \text{Wb}$ から前後させ、更に適切な値を出す。」

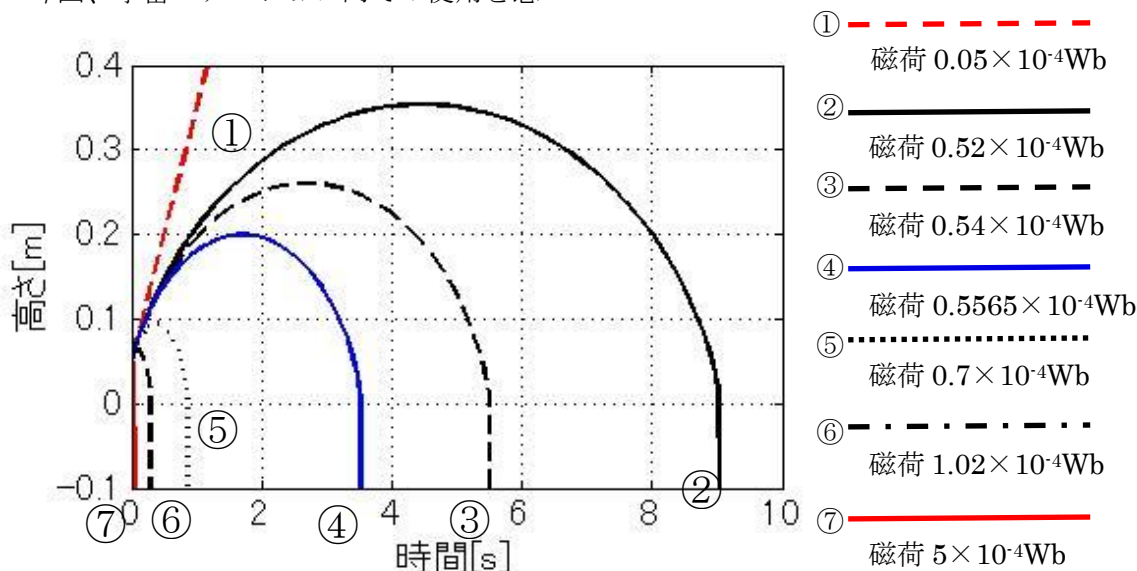


図 4 各値の場合の軌道

3-2. 地上での仮実験

無重力実験は、簡単にはできないので、代替案として地上でできる簡易実験を行った。直径 14mm、180mT、のネオジウム磁石を用いて、実際に磁性流体の軌道を制御できるのか、観察する。

図 5 の x 軸方向では、重力などの力が働いていないので、無重力と同じように考えることができるので、 x 軸方向に磁性流体の起動を変化させることができれば、無重力下でも磁性流体を制御できると考える。

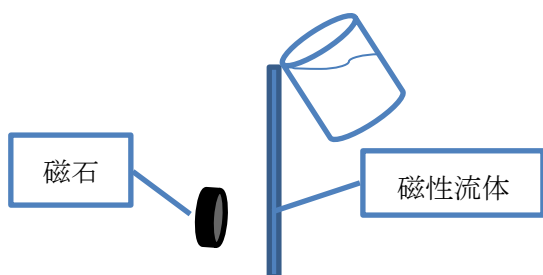


図 5 簡易実験の模式図

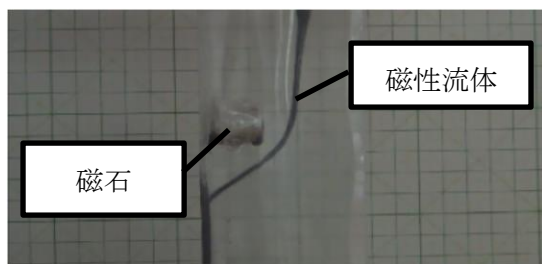


図 6 簡易実験の様子

図 6 から、磁石で磁性流体の軌道を制御できると分かる。

3-3. 噴水装置の構造

噴水装置の構造を下の図 7、図 8 に示す。周囲の 6 つのポンプから、設定した角度、速度で磁性流体を噴射する。落下してきた磁性流体は中央の取水口に流れ込むようにする。貯水部に傾斜をつけ、磁石でポンプ側へ引き付けられるようにする。

取水部は濡れ性を良くし、半球ガラスの

壁面部分はフッ素コーティングなどを施し、濡れ性を低くする。

噴水を起動、停止させた時の作動順序は、各部位が時間差で作動させる。起動時には確実に噴水の軌道が実現できるようにするためである。また、停止時には貯水部に磁性流体が閉じ込められるようにするためである。

以下は、その順序である。

起動時

- I、電磁石が起動
- II、取水口が開く
- III、ポンプが起動

停止時

- I、ポンプが停止
- II、取水口を閉じる
- III、電磁石が停止

こうすることで、壁面に磁性流体が付着することはなく、特に手入れをせずに透明度を保ったまま鑑賞することが出来る。

以下、各箇所の寸法を記す。

電磁石の直径 0.3m

噴射口から頂点までの高さ 0.2m

電磁石上面から噴射口までの高さ 0.05m

噴射口の直径 0.005m

取水口の直径 0.1m

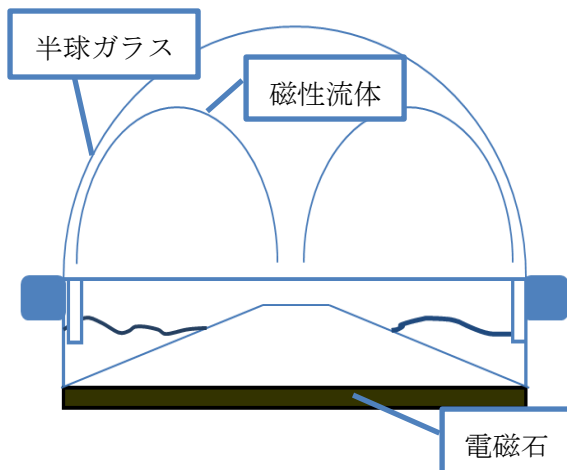


図 7 噴水装置、断面図

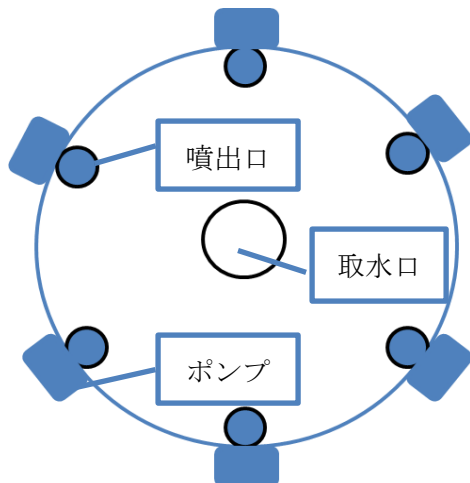


図 8 噴水装置、俯瞰図

3-3. 噴水装置の課題

- ① 初期値の設定
- ② 半球ガラスなどの濡れ性
- ③ 適切な流体（磁化率、粘性など）
- ④ 適切なポンプ
- ⑤ ステーション内に液体が漏れださない工夫

3-4. 噴水装置の改善点

- ① 無重力実験を行って、シミュレーションの精度をあげる。
- ② 内部を少し陰圧にする。
- ③ 滑らかに各箇所が作動する工夫

3-5. 噴水装置の特色

- ① ポンプが 6 つあるので、噴射タイミングをずらすだけでも、様々なパターンが作れるので、飽きにくい。
- ② 照明装置を設置することにより、インテリアとして使える。
- ③ 磁性流体を有色にすることもでき、バリエーションを増やすことができる。
- ④ ノズルから流体を連続的に射出するだけでなく、断続的にすることで、球体を飛ばす噴水も出来る。

4. まとめ

本ミッションは、宇宙ステーションなどで生活する乗組員のストレスを解消する方法を増やすための噴水装置である。この噴水装置で実際に効果が出れば、噴射パターンや、連続的、断続的に噴射する選択、照明装置の配色の選択を使用者が、好きなように組み合わせることが出来るようにすることで、楽しみを増やすことが出来る。

参考文献

- (1) <http://business.nikkeibp.co.jp/article/life/20081104/176219/?rt=ocnt>
- (2) http://iss.jaxa.jp/iss_faq/life/life_015.html