

足湯装置「轟-Todoroki-」

湯田晴也・大内健太郎・池田壮伸・菊池涼介・牧島亮太・梅田佳奈・佐々木貴志・佐藤周・武田光希
金沢工業大学 夢考房 人工衛星開発プロジェクト

1. 序論

宇宙開発は日進月歩である。宇宙エレベータの構想が進んでおり、9年後の2025年には宇宙ホテル(図1)が開業する予定である^[1]。宇宙ホテルには日本人を含め、多くの宇宙旅行者が訪れることが予想される。現在、宇宙で生活できる環境として、国際宇宙ステーション(以下、ISS)が挙げられる。

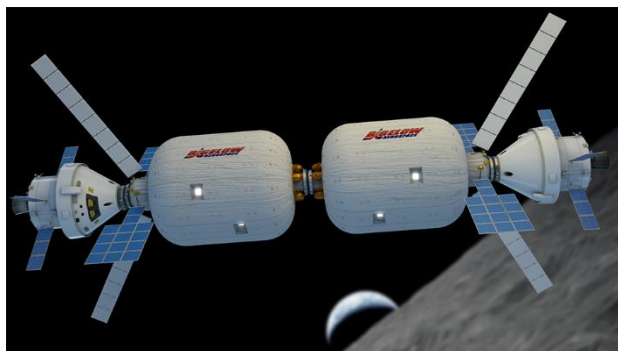


図1 B330(ビゲロー・エアロスペース社)

宇宙ホテルとISSにおいて共通する点は「人間が微小重力空間に滞在する」点である。しかし、人間が微小重力空間に滞在する際には問題が生じる。微小重力空間では、歩行、走行、入浴、睡眠など人間が長らく地上の重力環境で習慣としてきた行為が満足にできないのである。また、血液の循環も微小重力空間による影響を受ける。微小重力空間では血液が重力をほとんど受けないため、顔がむくむとともに、血液が全身に十分に巡らないことにより筋力の早期低下につながる^[2]。

上記の活動が制限されることや、顔がむくむことなどの問題は、宇宙ホテルに滞在する宇宙旅行者にとってストレスになると考える。厳しい訓練を経た宇宙飛行士と比べ、宇宙旅行者は微小重力空間でのストレス耐性がないためである。したが

って、宇宙旅行者のこれらのストレスを軽減させることは必要不可欠である。私たちは、宇宙ホテルに滞在する宇宙旅行者の中で、特に日本人の宇宙旅行者に絞り、問題解決を行った。

1.1 日本人宇宙旅行者の問題と解決策

私たちは日本人宇宙旅行者に係わる入浴の問題に着目した。ただし、ここでの入浴は全身を湯船に入れることを指す。入浴をする目的について、本学の学生60人にアンケートを採った。その結果、過半数がリラックスを目的として入浴を行っていることが分かった。このことから分かるように日本人は入浴にリラックスを求めている。しかし、微小重力空間でシャワーや浴槽を設置するには、スペースの確保や大量の水の扱い方など課題が多い。日本人宇宙旅行者には厳しい環境であると言える。そこでシャワーや浴槽に比べ、小型かつ省資源である「足湯」を微小重力空間で楽しめるようにすることを考えた。

私たちが足湯を提案する理由は2つある。

1つ目は、ストレス軽減のためである。足湯にはリラックス効果がある^[3]。そのため、微小重力空間で足湯をすることで日本人宇宙旅行者のストレスを軽減させることができると考えた。

2つ目は、足湯により血行を良くできるためである。先述したように、微小重力空間では血液が全身に巡らないために顔のむくみや筋力の早期低下が起きる。血行を良くすることでその問題を解決できるのではないかと考えた。

2. ミッション概要

微小重力空間において、シャワーを浴びることや湯に浸かることは、今までにも考えられてきた^[4]。しかし、今回提案するミッションは、足湯に

より微小重力空間においてリラックス効果を得る点、血行を良くする点が今までの考えと異なる。様々な制限がある微小重力空間において、小型かつ省資源な足湯装置を提案する。

3. 設計

現時点で、宇宙ホテルの設計詳細は明らかでない。そのため私たちは、ISSで足湯を実現する装置を設計した。ISSで使用する足湯装置には以下の要求があると考える。

- ・使用時に装置から湯が漏れない
- ・装置に防水性がある
- ・装置が再利用可能
- ・湯が再利用可能
- ・装置に湯を出し入れ可能
- ・使用時も移動可能
- ・誰でも利用可能

上記の要求を満たすことができれば、宇宙ホテルでの使用も可能であると考える。

3.1 足湯を実現するシステム

要求を満たすよう考案した足湯装置の外観を図2に示す。

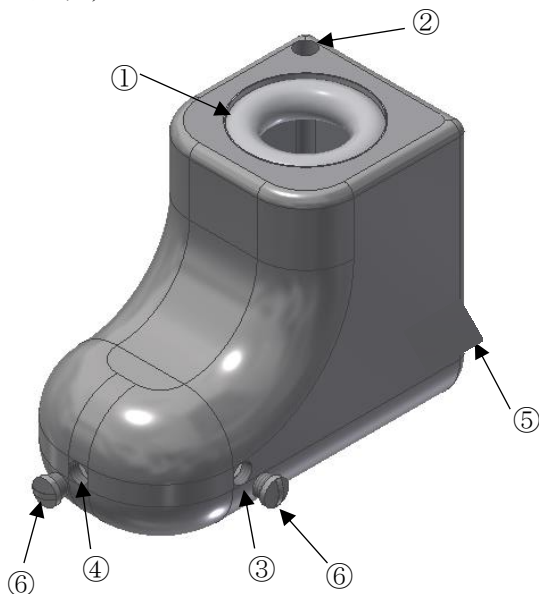


図2 足湯装置の外観図

装置全体はシリコンゴムとステンレスで構成されている。図2の①の部分は足挿入口である。

足挿入口についているシリコンゴムは、装置に足を入れた後に空気を入れて膨らませる。これにより、足とシリコンゴムが密着し、湯が漏れるのを防ぐ。足湯装置に強い衝撃が加わらない限り利用者の足が足湯装置から抜けないと想定する。図2の②の部分は防水通風キャップ^[4]である。防水通風キャップにより、湯注入時に空気の逃げ道を作ることができ、円滑に作業を行うことができる。図2の③の部分は湯注入口で足湯装置の左右に1つずつあり、図2の④の部分は湯排出口である。また、図2の⑤の部分には注入・排出を留めるスライドストッパ(図3)を、図2の⑥の部分には栓をそれぞれ設け設け、注入・排出口からの湯が漏れるのを防止する。このストッパは足湯装置の側面にあり、中に押し込むことでスライドし、湯の出入りを遮断することができる。

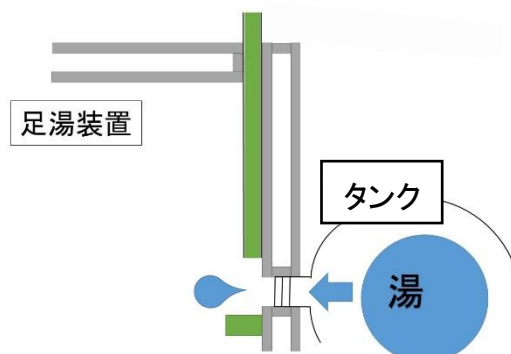


図3 スライドストッパ

表1に足湯装置とタンクの重量、最大容量を示す。

表1 足湯装置の概要

| 足湯装置 | |
|--------|---------|
| 重量(kg) | 最大容量(L) |
| 7.01 | 6.59 |
| タンク | |
| 重量(kg) | 最大容量(L) |
| 0.32 | 3.00 |

3.2 足湯装置の設計

足湯装置は、魔法瓶と同じ構造にすることで保温効果を高める。そのため、足湯装置の壁面は魔法瓶と同様に2枚のステンレス板によって構成される。2枚のステンレス板の間は真空の層であり、その層内には足湯装置を覆うように銅箔が入っている(図4)。真空は熱の移動が起こりにくいものの、輻射により装置内の湯の温度が下がる。そこで銅箔を用いることにより湯を適温に保つことができる。また、足湯装置内はゆとりを持って設計されている。足のサイズが30cmまで対応できるように設計した。そのため、利用者はゆとりとくつろぎながら足湯をすることができる。

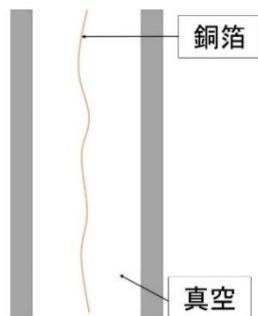


図4 足湯装置の壁面

3.3 湯の注入方法

適温の湯(39~42°C)の生成、足湯装置への注入にはチューブとタンク(3L×2本)を用いる。タンクは湯を全て押し出すために注射器の形(図5)をしている。

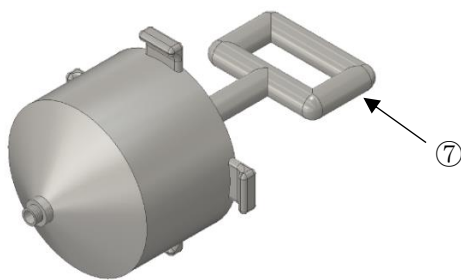


図5 タンク

チューブは湯を溜めるために球体型である。口はペットボトルの口と同様の構造であり、給湯器と接続することが可能である。

チューブの球体部分から湯を吸い取りタンクの中に湯を注入する(図6)。熱湯と常温水を吸い取った後、タンクを振ってかき混ぜることで適温の湯を生成する。

足湯装置の左右にある湯注入口にタンクを差し込み生成した適温の湯を注入する。

タンクの先端はペットボトルの口と同様の構造であり、足湯装置やチューブと接続することが可能である。

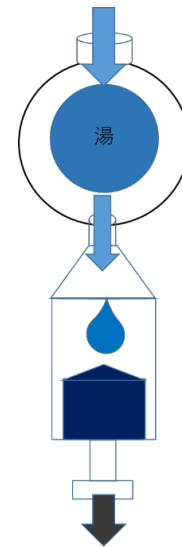


図6 チューブからタンクへの湯の注入方法

3.4 湯の排出方法

排出は足湯装置の先端にある湯排出口に、ISS内のトイレのホースを接続させて排出する。また、足湯装置内の湯を排出させるために遠心力を利用する。膝を抱え体の中心を軸として回転することで、足湯装置先端に湯を集める。この行動を足湯装置内の湯がある程度なくなるまで行う。足湯装置内に残った湯はタオルで拭き取る。

足湯装置と排出ホースとを接続させる際は、衛生面の問題から、排出ホースとは別の樹脂製アタッチメント(図7)で中継する。

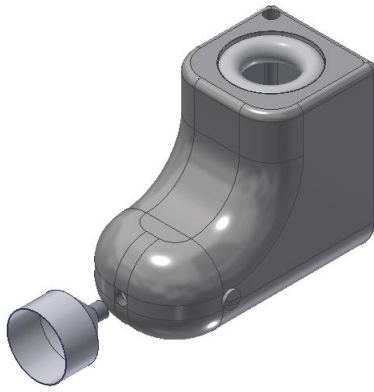


図7 アタッチメント

3.5 使用手順

1. 足湯を始めるまで

- 1-1) 80℃の熱湯と常温水^[6]を1:2の割合で、チューブを通してタンク(3L×2本)に入れる
- 1-2) タンクを振って適温の湯を生成する
- 1-3) 足湯装置を履く
- 1-4) シリコンゴムに空気を入れて膨らませる
- 1-5) 湯注入口の栓を外す
- 1-6) スライドストップを動かし、湯注入口を開口する
- 1-7) タンクと足湯装置を接続する
- 1-8) タンクの持ち手(図5の⑦)を押し込み足湯装置にお湯を注入する
- 1-9) スライドストップで湯注入口を仮止めする
- 1-10) タンクを足湯装置から取り外す
- 1-11) 仮止めだった湯注入口に栓をする

2. 足湯を終えてから

- 2-1) 湯排出口の栓を取り外す
- 2-2) スライドストップを動かし、湯排出口を開口する
- 2-3) トイレのホースと樹脂製アタッチメントを接続させ足湯装置の湯を吸い取る
- 2-4) スライドストップで湯排出口を仮止めする

- 2-5) 身体を回転させ、湯を足湯装置の先端に集める
- 2-6) 一連の動作(2-2～2-5)を足湯装置内の湯がある程度吸い取れるまで繰り返す
- 2-7) 足湯装置を脱ぎ、タオルで足と足湯装置内についた水滴を拭き取る
- 2-8) 除菌シートで足湯装置内と足を拭く(消毒用エタノール)

4. 得られる効果とその検証

足湯によるストレス軽減効果は期待できる^[7]が、窮屈感のある長靴型の足湯装置で行う足湯にストレス軽減効果が認められるかどうか確かめる必要があった。そのため、4.1に示す条件で実験を行った。

4.1 リラックス効果の検証実験の条件

- ・被験者は、本学の学生6名であった。
- ・実験機器は、脳波計: MinD_SensorV_manual(株式会社脳力開発研究所)であった。
- ・足湯装置と似た状況を作り出すために、市販の長靴に42℃の湯を入れて実験を行った。また、42℃の湯を入れたタライの中に長靴を入れることで、長靴表面からの熱放出を少なくし、提案する足湯装置の構造を模擬的に再現した。
- ・実験時間は体が温まり、汗をかかない15分間とする。

4.2 実験手順

被験者に脳波計を装着させた。計測は2回行った。2回とも前半にストレスとなるタイピングゲームを15分間行わせた。後半に、2つの異なるリラックス行為を行い、リラックス効果の差異を調べた。1回目の計測では、被験者が音楽鑑賞や瞑想などの普段行うリラックス行為(normal)を15分間行った。2回目の計測では、足湯(footbath)を15分間行った。計測手順を表2に示す。

また、1回目と2回目のリラックス行為を入れ替えた計測も行った。

表 2 計測手順

| 計測 | 経過時間(分) | 15 | 30 |
|----|-------------|----|----|
| 1 | タイピングゲーム | | |
| | 普段行うリラックス行為 | | |
| 2 | タイピングゲーム | | |
| | 足湯を行う | | |

Mα波(9~11Hz)は、閉眼時において、身体的にリラックスし、精神的に比較的活動していない状況でよく観察されると定義されている⁸⁾。本実験では、Mα波の優勢脳波比率をリラックス効果のパラメータとして用いた。

4.3 分析方法

ストレスを受けた15分間のMα波の優勢脳波比率と、リラックスを行った15分間のMα波の優勢脳波比率とを比較した。

4.4 実験分析結果

タイピングゲームを行った15分間のMα波の優勢脳波比率と、普段行うリラックス行為及び足湯を行った15分間のMα波の優勢脳波比率を図8に示す。

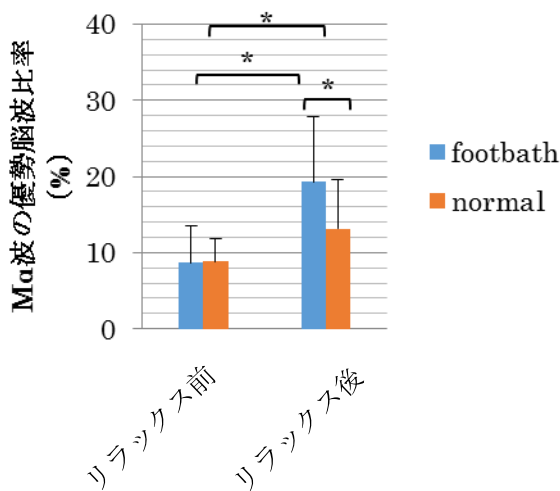


図 8 実験結果

リラックス前の状態では、有意差は認められなかった($p>0.05$)。普段行うリラックス行為(音楽を聴く⁹⁾、読書¹⁰⁾、瞑想¹¹⁾など)と足湯はどちらもリラックス効果があった($p<0.05$)。普段行うリラックス行為と足湯では、足湯の方がリラックス効果が高かった($p<0.05$)。よって、普段行うリラックス行為より、足湯を行うリラックス行為の方がリラックスできる(Mα波の優勢脳波比率が高い)。

4.5 得られる効果

分析により、窮屈感のある長靴型の足湯装置にもストレス軽減効果が示された。宇宙旅行者が足湯をすることでその精神状態に良い影響を与えることが期待される。

また足湯装置を用いることで、ISSのような微小重力空間で起こる血液の偏りと筋萎縮を軽減できると考える。足湯には血行促進効果がある¹²⁾ため、足湯装置を利用することで血行を改善し、以上の問題を軽減できると考えた。また、宇宙飛行士は筋力トレーニングやカルシウム摂取で対策を行っており、それらと足湯を組み合わせることで相乗的な効果が得られると期待される。

4.6 足湯装置に足を入れた時の湯温の変化

限られた湯量しか入らない足湯装置に足を入れた時の湯温の変化を計測するために実験を行った($n=3$)。実験では足湯装置を用いることができなかったため、タライに42°Cの湯をはり、その中に長靴を入れる。また、長靴内にも42°Cの湯を入れることで足湯装置を模倣的に再現した。長靴に足を入れている時と、入れていない時と分けて長靴内の湯温の変化を計測した。その時の湯温の変化を図9に示す。

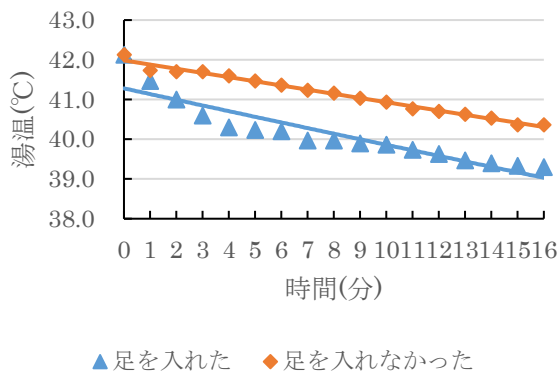


図9 長靴内の湯温の変化

足を入れている時の湯温の変化を青で、足を入れていない時の湯温の変化を赤で示した。計測により、15分を経過した時点でリラックス効果が得られる湯温(39°C~42°C)であることが分かった。したがって、足湯装置を15分間使用してもリラックス効果が得られる。

5. まとめ

私たちは、人類がより遠くに、より手軽に宇宙へ行くことのできる時代の到来を信じている。生活の場となる微小重力空間においては、地上に比べて行動への制限が多く、快適に過ごすには多くの課題がある。ストレスを少しでも軽減し、宇宙での生活を快適に過ごせるようにするために、微小重力空間でも使える足湯装置を提案した。私たちの「轟」が現在の問題解決の一助となり、宇宙でより快適に過ごせるようになるきっかけになることを願っている。

参考文献

- [1] Bigelow Aerospace-Official Site
<http://www.bigelow aerospace.com/b330/>(2016年6月28日閲覧)
- [2] 狼喜彰, 富田信之, 堀川康, 白木邦明(2004)『宇宙ステーションと支援技術』コロナ社, p. 247
- [3] 岡本佐智子, 江守陽子, リラクセーションを目的とした足湯の効果に関する看護研究の検討(2009)

- http://ci.nii.ac.jp/els/110007590184.pdf?id=ART0009408806&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1465208774&cp(2016年6月28日閲覧)
- [4] 内圧調整用途 ベントフィルタ
<http://www.nitto.com/jp/ja/products/group/temish/001/>(2016年10月2日閲覧)
- [5] 時速28,000キロのキッチン~宇宙で食事どう作る? どう食べる? | ファンファン! JAXA!
<http://fanfun.jaxa.jp/topics/detail/7731.html>
 (2016年10月2日閲覧)
- [6] 宇宙日本食・宇宙ステーション・きぼう広報・情報センター・JAXA | 宇宙日本食認証基準Q&A
http://iss.jaxa.jp/spacefood/pdf/qa_a.pdf
 (2016年6月28日閲覧)
- [7] 岡本佐智子(2009)「リラクセーションを促す足浴の条件に付いて唾液中ストレスマーカーからの検討」埼玉県大紀
- [8] 一條貞雄・高橋系一(1998)「脳波判読に関する101章」医学書院
- [9] TABI LAVO, 科学的に「世界一リラックスできる音楽」とは?
<http://tabi-labo.com/57534/best-healing-music/>(2016年10月08日閲覧)
- [10] The Telegraph, Reading can help reduce stress
<http://www.telegraph.co.uk/news/health/news/5070874/Reading-can-help-reduce-stress.html>(2016年10月08日閲覧)
- [11] 楠本久美子, 瞑想によるリラックス効果と試験期間中アルファ脳波出現率との関係について(2000)
<http://futek.jp/products/research-library/meisouniyoru.pdf>(2016年10月08日閲覧)
- [12] 桃井雅子, 腰痛のある妊婦に対する足湯の効果(1999)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jans1981/19/1/19_31/_pdf(2016年6月28日閲覧)