

RAKU—宇宙を楽しく—

田村匠・麻生海・林輝明・中塚祐貴・中島豪志・加藤史浩・佐藤亮・高橋信行・塚本悠一朗

東京工業大学 工学院 機械系 機械コース

1. はじめに

1-1. 宇宙空間滞在における快適面での課題

約60年も前に有人宇宙飛行を成功させてから世界の宇宙開発、探査は大きな発展を遂げてきた。無人探査に限れば、太陽系探査は積極的に進められてきており、特に火星は探査の対象として非常に着目されている。有人探査の場合、アポロ探査機でアメリカが月に到達した以来、遠方への有人探査は叶っていないが、地球低軌道に打ち上げられている国際宇宙ステーション(以下、ISS)におけるミッションは非常に活発に行われている。将来に目を向けると、アメリカが有人での火星探査を提唱していたり、アメリカ企業が一般人向けの宇宙ホテルを提唱していたりと人々が宇宙滞在することは、以前より手軽に、そして長期化していくことが容易に予想できる。

宇宙空間に滞在する際に課題となる点はいくつか上げられる。低重力環境における筋力の低下や放射線環境が良い例であろう。肉体面だけでなく精神面でも影響は考えられる。宇宙船内は閉鎖的であり、低重力であるため、地上での日常を送ることは不可能である。普段と同様の睡眠や食を取る事は叶わず、地上で習慣化している事のほぼ全てが“いつも通り”とは行かないのが現状である。これらが宇宙飛行士たちに精神的ストレスを与えているのが現状である。宇宙滞在における精神的ストレスを少しでも和らげ、より快適にミッションに向かえる環境を整えることは今後の有人探査、宇宙滞在の商業化において非常に重大な課題であることが窺える。

1-2. 入浴による快適性

我々が地上で習慣化している事の一つに入浴行為が挙げられる。入浴行為により得られる効果は多大である。広く知られているものとして、入浴が良質な睡眠を促し、自立神経を調律するといったことが挙げられる。それに加え、健康面において、温熱効果による血流の向上、水圧による血行促進や浮力作用による緊張の緩和等が考えられる。以上のように、単純にお湯を体に浴びるだけでも多大な健康面、快適面での効果が得られることは明らかである。更に加えれば入浴時に我々は洗浄行為をする。この洗浄により体表面の不要なものを排除することが出来る。それにより、精神的に爽快感を得ることができ、体臭予防にもつながる。運動後に浴びるシャワーの爽快感が良い例であろう。

この様に広く恩恵を与えてくれる入浴行為は世界中の多くの人々にとって“いつも通り”の習慣で

ある。我々日本人であれば湯船につかり、欧米人であればシャワーを浴びる。シャワーの場合浮力効果は得られないが、それでも十分に快適さを得ることが出来るのは説明してきたとおりである。これら入浴行為は我々人類にとって最も手軽に快適さを得るメソッドである。

1-3. ISSでのシャワー利用

以上から我々は宇宙空間において如何に“いつも通り”に近い入浴行為を再現できるかを念頭に、ISSでのシャワーの最適システムを考察する。

現状としてISSにおいて、頭部洗浄はドライシャンプーで行い、身体は体拭き用のタオルを用いている。低重力空間において、水は表面張力の影響を最も受け、人間の体に張り付き、溺死する恐れがあるためこのような極力水分を使用しない手法をとっている。また、水を利用できる量に制限があることや、水分が内部機器に浸透するリスクを軽減するためでもある。



Figure 1-3.1 現在のISSでの洗髪の様子

従来の方法はとて入浴と呼べるものではなく、入浴によって得られる効果に類似した効果を得られているとは考えにくい。実際に宇宙飛行士として長期滞在した者たちの多くが、シャワーが恋しいといった内容の話をしていることから窺える。

過去に運用されていたソ連の宇宙ステーション、「ミール」やアメリカの「スカイラブ」はシャワーが搭載されていた。水の使用可能量は限られていたが、快適な入浴を提供していた。しかし、水滴がシャワー室外部に飛散した場合の観測機器等へのリスクから、シャワー室内部の水滴を除去する必要があり、それに1時間以上を要していた。これらを受けてお湯を使わない現在の様式が確立されていったものと考えられる。



Figure 1-3.2 スカイラブ宇宙ステーションでシャワーを浴びる宇宙飛行士の様子

以上を念頭に、我々が提案するのは

- (1)水滴除去を用意に可能にする
- (2)地上での入浴効果に類似の効果が得られる
- (3)溺死、水滴漏れによるリスクの低減

を可能にする宇宙でのシャワーシステムである。

2. 目的

我々が地球上で毎日のように行っているシャワーを ISS に導入することによって、ISS の生活環境を向上させることを目的とする。

3. システム要求

RAKU の設計際して考慮すべき項目（システム要求）を Table 3.1 に列挙し、以降はその項目をもとに話を進める。

Table 3.1 RAKU のシステム要求

シャワー ルーム	水滴がシャワールーム外に漏れないこと →水滴が漏れず着脱可能な接合部を設計。シャワールーム内を減圧し隙間から空気を流入させ水滴の漏れを防止
	ISS のスペースを占有しないこと →シャワールームを膜構造で設計し収納展開が可能
	使い捨て可能であること →低密度ポリエチレンを用いた軽量かつ収納可能な膜構造とすることで安価かつ高い可搬性を実現
シャワー ノズル	体に当たる水滴が心地良いこと →快適度と水滴のパラメータとの相関を考慮したシャワーヘッドを設計
	使用水量が ISS の WRS により 1 日に再生される水量 20L を超えないこと →使用したシャワーの水を気流循環・水回収システムにより回収し繰り返し利用し水を節約
気流循環 ・水回収 システム	水滴がシャワールーム空間中に停留しないこと →シャワールーム内に空気のスワール流を発生させ水滴を押し出す
	水滴がシャワールームから流出しないこと →循環させる湿り空気の一部を WRS へ送り、シャワールーム隙間から空気を流入させる
	使用した水を回収すること →気液分離装置を使用し、空気のみをシャワールーム内に循環させ、水のみを回収する

4. システム

4-1. システム概要

RAKU のシステムダイアグラムを Fig. 4-1.1 に示す。RAKU は心地良いシャワーを送り出す「シャワーノズル」、水滴を外部に飛散させずシャワーを浴びる空間である「シャワールーム」、空気を循環しシャワールーム内に気流を生み出し水滴を回収する「気流循環・水回収システム」により構成される。

このうち、シャワーノズル及び気流循環・水回収システムは ISS 内に据え置き、シャワールームは使い捨てとして運用する。

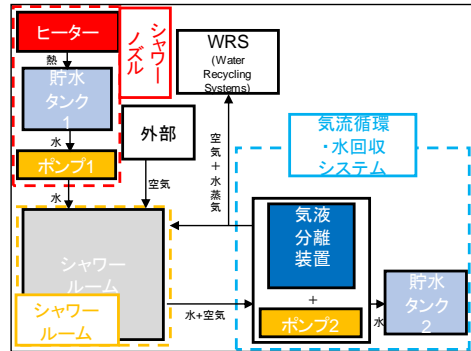


Fig. 4-1.1 RAKU のシステムダイアグラム

4-2. 使用イメージ

RAKU の使用イメージを紹介する。

シャワールームは小さく折り畳まれた状態でおよそ月一度の補給船により数個持ち運ばれる。

使用時はシャワールームに空気を流入することで展開し、シャワーノズル及び気流循環・水回収システムを接続する。気流循環・水回収システムを駆動させてシャワールーム内に入り、シャワーを楽しむ。

シャワー後はシャワールーム内で体を拭いた後外に出る。連続で使用する場合は回収した水をシャワーノズルにセットし再利用する。片付ける際はシャワーノズルを外し、気流循環・水回収システムによりシャワールーム内の空気を抜きつつシャワールームを畳み、残留する水分を絞り出し、コンパクトな状態でシャワールームのみ廃棄する。

宇宙船「ミール」に存在したシャワールーム最大の難点であった、使用後数時間に及ぶシャワールーム内の水滴除去をせずに済み、快適なシャワー利用が可能である。

4-3. シャワールーム

シャワールームは厚さ 0.5 mm の薄膜上の低密度ポリエチレン (LDHC) から構成される。これはブルーシートなどに使用される材質であり、耐熱性、軽量性、耐薬品性、軟質の観点からこの材料を選択した。概形は Fig. 4-3.1 に示すように、展開後の形状が外径 1000.5 mm、内径 900 mm、高さ 2000 mm の円筒状である。



Fig. 4-3.1 シャワールーム外観 (←側面, ↑上面, ↓下面) ※上面下面の管はシャワーノズル・送風口の接続イメージ

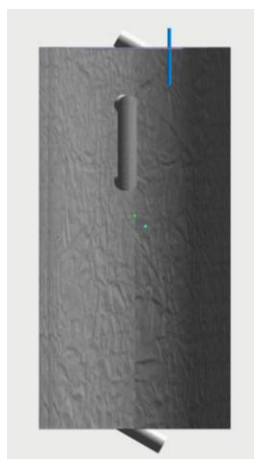


Fig. 4-3.2 シャワールーム断面図

シャワールームは Fig. 4-3.2 に示すように側面がビニールプールのような2重構造になっており、2枚の壁膜の間に空気を流入させることにより展開する。これは構造材を用いたプールの組み立てでは時間がかかることや、かさばることを懸念して、空気流入による組み立てを採用した。また薄膜二枚にすることで内壁が破損したときの水の流出を防ぐ目的がある。なお使用者が入るシャワー空間と壁膜間の空間はそれぞれ独立した構造になっており、シャワー空間の空気流動によりモジュールがしぼむことはない。また、2枚の壁膜同士を一部接着することでシャワー空間がつぶれることを防ぐ。シャワー室上面には出入口、空気流入管、水流入管があり、出入口の内側にはタオル入れ、壁面には空気流入により膨らむ手すりを設置している。底面には気液排出口がある。

必要膜面積は約 14 m²であり、シャワールームのみの重量は約 6.5 kg となる。LDHC の相場価格が 220 円/kg であることから、約 1500 円程度の材料費で製作可能となる。

4-4. シャワールームの収納方法

シャワールームの収納方法を Fig. 4-4.1 に示す。まず、シャワールームの空気を抜き、①のように平べったい形にする。そして、残った空気と水を吸い取りながら、②のように平べったくなったシャワールームをクルクルと巻いていき、③のような円筒形にする。

丸めた後の寸法はおおよそ直径 20 cm 長さ 1 m の円柱形である。

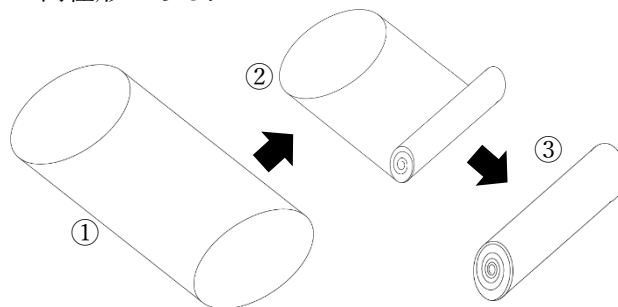


Fig. 4-4.1 シャワールーム収納方法

4-5. シャワールーム出入口の設計と気液出入管の固定

出入口は Fig. 4-5.1 右図のような弓形と長方形を組み合わせた形状でシャワールーム上面にあけておく。出入口カバーはのれんのような形にして、端部を面ファスナーで留める。面ファスナーは耐熱性・耐候性・耐環境性に優れた MORITO 社製ポリエステルマジロックを想定する。カバーの大きさは出入口を覆うような形状で Fig. 4-5.1 左図のようにする。

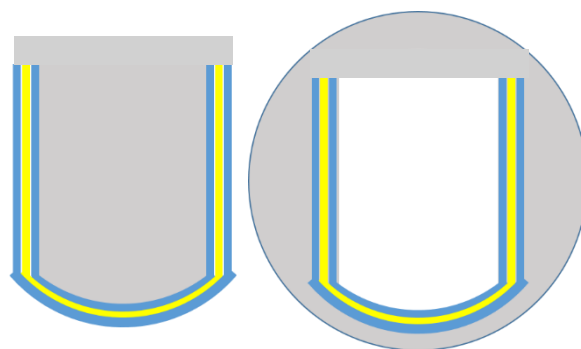


Fig. 4-5.1 出入口の構造 (←カバー：面ファスナーオス (紺), →シャワールーム上面：面ファスナーメス (紺), 防水用スポンジ)

接合部は、幅 25 mm の面ファスナー2つで幅 25 mm のスポンジを挟み込んだ全幅 75 mm で1セットとし、中央のスポンジにより水滴流出を防ぐ。これを先端には外径 440 mm の円周角 60 度分設置し、側辺には長さ 675 mm 分設置する。出入口の横幅は最長 750 mm であり、十分人間が通ることができる。

また、気液出入管(シャワーノズル・空気流入管・気液排出管)のシャワールームへの固定にも面ファスナーを用いる。管に面ファスナーを巻き付け、シ

シャワールームに固定する。

面ファスナー本体の引張強さは 26.6 N/cm²、剥離強さ（剥離荷重/ファスナー長さ）は 4.2 N/cm となっている。この数値は、たとえ出入口全体に 5 kPa の圧力が生じたとしても面ファスナーが剥離しない強さであるため、風によって面ファスナーがはがれることはまず考えられない。

使用後は排水管に水を出し、体についた水滴は風をドライヤーとして使いながら、内部に設置したタオル入れに入っているタオルで拭きとることで、効率的に身体を乾かすことができる。タオル入れは大きさ 300 mm×500 mm×10 mm、面ファスナーのふたがついていて、出入口に設置する。空気の流れを維持したまま、使用者は出入口の面ファスナーをはがし、シャワールームの出入り口の縁をつかみ、自力でシャワールームから退出する。

4-6. シャワーノズル

使用水量 20 L という制限の中でできるだけ快適なシャワーを達成することを目的に、シャワーの快適さとシャワーノズルの設計変数の関係を考慮したシャワーノズル設計を行う。シャワーノズルの設計変数は、流量、流速、シャワー穴径、穴数、シャワーヘッド径を考える。

Fig. 4-6.1 は、文献[3]の中で実施された 9 種類の試作散水板を取り付けたシャワーヘッドの使用感を評価させる被験者実験のデータを基に、横軸に被験者が当該散水板において使用した流量、縦軸に使用感の 1 つである快適感（7 段階評価）への評価を取り、まとめ直したグラフである^[2]。グラフから、流量が 7 L/min 程度までの範囲ではシャワーの快適さは流量にほぼ比例することがわかる。今回、シャワーの平均使用時間が 8 min と言われる中で使用水量が 20 L に制限されるため、流量の上限は 2.5 L/min であり、この流量を用いる。

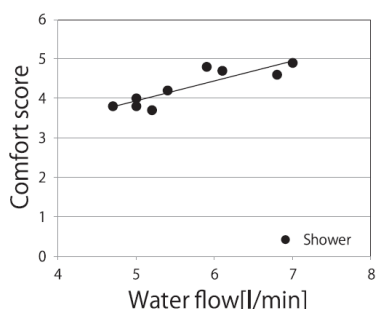


Fig. 4-6.1 流量と快適度の

Table 4-6.1 は、Table 4-6.2 に示す 9 種類のシャワーについて、予め抽出したシャワーの 6 種類の評価項目と快適性の点で日本人に評価させる被験者実験の結果を、快適性に対する 2 因子構造として因子分析した結果である。各因子と関係性の高い評価項目の単語から、第 1 因子は「刺激感」、第 2 因子は「量感」とまとめることができ、この 2 因子により、Fig. 4-6.2 に示す通り快適性に対して高

い相関を持って評価できる^[2]。

刺激感は流速が寄与し、量感にはシャワー穴径と穴数が寄与すると考えられる。しかし、流量 q 、流速 v 、シャワー穴径 d 、穴数 n について Eq. (4-6.1) の関係が成立するため、同じ流量 q において v 、 d 、 n 全てを大きくすることはできない。

$$q = n \frac{\pi d^2}{4} v \quad (4-6.1)$$

Table 4-6.1 因子分析結果

Terms	Factor1	Factor2	Commonality
柔らかい	0.89	0.35	0.92
なめらかな	0.83	0.34	0.81
強い	-0.78	-0.16	0.64
量感のある	0.25	0.95	0.96
温かい	0.28	0.81	0.74
貧弱な	-0.20	-0.58	0.37

Italic: < |0.6|

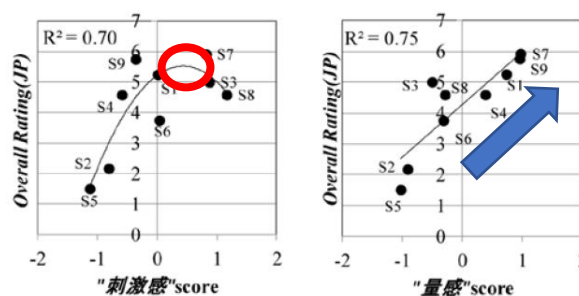


Fig. 4-6.2 総合評価と刺激感、量感の回帰分析

Table 4-6.2 シャワーヘッド設計値と流量設定

Showerhead No.	S1	S2	S3	S4	S5
Flow Rate [l/min]	6.5	5.5	6.9	8	4.9
Hole diameter [mm] × Number of holes	φ 1.15×42	△1.0×33 φ 0.5×20	φ 0.3×236	φ 0.8×47	φ 0.6×36
Total area of holes [mm ²]	44	13	9	24	10
Velocity [m/s]	2.5	8.2	11.7	5.6	8.0
Showerhead diameter [mm]	height:34,30 width:42	36	50	26	48

Showerhead No.	S6	S7	S8	S9
Flow Rate [l/min]	5.5	7.5	13	9.5
Hole diameter [mm] × Number of holes	φ 0.65×32	φ 1.3×90	φ 1.3×90	φ 0.7×86
Total area of holes [mm ²]	11	119	119	33
Velocity [m/s]	8.6	1.0	1.8	4.8
Showerhead diameter [mm]	32	120	120	120

ここで刺激感と快適性の関係にピークが存在することから、量感を重視し流速を小さくし、シャワー穴径、穴数を大きくとるべきと考える。一方で、流速が遅すぎる場合にシャワールーム内の流体解

析において水滴が体に当たる前に風にさらわれる事象が確認されたことから、流速は 5 m/s とする。

残る設計変数であるシャワー穴径、穴数、シャワーヘッド径は特に量感に関係すると考えられ、また同じ流量・流速の場合、Eq. (4-6.1)が示すように(シャワー穴径)²と穴数は反比例するため、そのバランスが重要になると言える。そこで Fig. 4-6.2 において“量感”score が最大であり快適性も最大である S7 のバランスが理想であると考え、S7 の比率に近づくシャワー穴径 0.5 mm、穴数 43 個、シャワーヘッド径 32 mm を用いる。

4-7. 気流循環・水回収システム

気流の循環及び水の回収の流れを説明する。

Fig. 4-1.1 に示されるように、シャワールーム内はシャワーノズルからの水と、ポンプ 2 からの空気とが供給される。それらは気液混合流としてシャワールーム底面の排出口から吸い出され、気液分離装置で水と空気(水蒸気を含む)とに分けられ、水は貯水タンク 2 へ回収される。空気はポンプ 2 により 90 %程度がシャワールームへ戻されシャワールームを循環され、残りの 10 %程度は WRS (Water Recycling Systems) へ回収される。このことにより、シャワールームの隙間から空気が流入し、内部の水滴の流出が防止される。

シャワーヘッドから放出される水の流量は約 $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$ であり、2つの送風口からの空気の流量は合計で約 $4.7 \text{ m}^3/\text{min}$ であり、10 %程度の空気を隙間から流入させるため、ポンプ 2 の吐出量は約 $5.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 必要である。

そこでポンプ 2 及び気液分離装置として横田製作所製の超自吸ポンプ®の UPS 型シリーズを用いる。Fig. 4-7.1 にポンプのイメージ図を、Table 4-7.1 に諸元を示す。最大吐出量は $5.5 \text{ m}^3/\text{min}$ であり要求を満たす。このポンプは気液分離とポンプ両方の機能を有している装置であり、気液分離羽根および抽気ポンプと連動させた渦巻ポンプから構成される。吸入口から流入した気液二相流が渦巻ポンプにより中心部に集められ、気液分離羽根によって気体と液体に遠心分離される。そして分離された気体のみが抽気ポンプにより吸引・排気される^[4]。

このポンプは重量が 2.1 ton と大きいものの、一般的にポンプの耐用年数は約 12 年であるため^[5]、最初の一度だけ ISS へ輸送すればよい。ISS 内への輸送は JAXA の宇宙ステーション補給機「こうのとり」を用いる。「こうのとり」の補給能力は船内用物資で最大約 5.2 ton であるため^[6]、このポンプの輸送は十分可能である。



Fig. 4-7.1 超自吸ポンプ®

Table 4-7.1 ポンプの諸元

ポンプ口径 (mm)	150
質量 (kg)	2100
最大吐出量 (m ³ /min)	5.5

4-8. シャワールーム内の送風

シャワールーム内について、浮遊する液滴の除去を目的として送風と排気を行う。

この際、シャワールーム内の流れ場に滞留点を発生させないようにする必要がある。この点について内燃機関のスワール流にヒントを得て、送風口をシャワールーム天井の中心から 390 mm オフセットした位置に配し、シャワールーム中心軸に対し接線方向に風が吹き出す送風口を 2 つ配置した。送風口の直径は配管取り回しと抵抗の兼ね合いからそれぞれ 100 mm とし、流速は 5 m/s とした。

この設計に対し CFD 解析を行った結果を Fig. 4-8.1 から Fig.4-8.3 に示す。Fig.4-8.1 はシャワールーム内の気流の流線を示したものである。これにより想定したとおりのスワール流を発生させており、シャワールーム中央部から効率よく水を除去する風が発生していることが確認できる。Fig.4-8.2 は水を模した粒子をシャワーヘッド位置から射出し、粒子追跡を行った様子を示したものである。シャワーヘッドから射出された水滴が人に衝突し、反射した後にシャワールーム内の気流に乗って移動している様子が観察できる。なおこの解析によって得られた粒子滞在時間は最大で 30.1 s となった。このことからシャワーを停止し人がタオルで体を拭えば、30 秒程度でシャワールーム内の液滴を排出できると推測される。また、Fig.4-8.3 に排出口境界条件を 0 Pa としたシャワールーム壁面の圧力を示す。シャワールーム全体での送風による圧力損失は 119 Pa であり、殆どは排出口付近で発生していた。

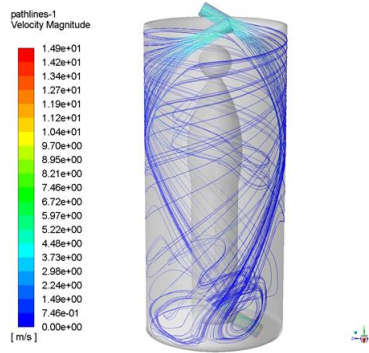


Fig.4-8.1 シャワールーム内の流線

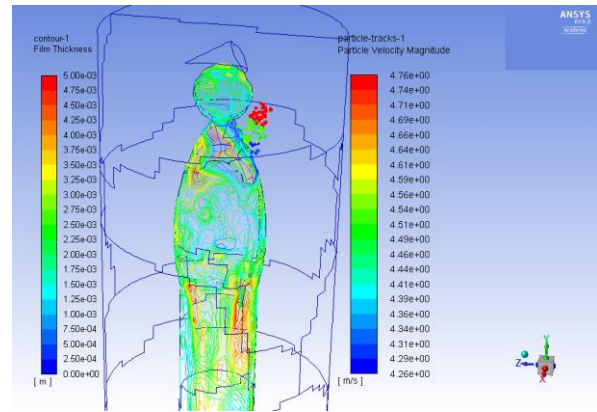


Fig.4-8.4 人体表面の液膜厚さの評価

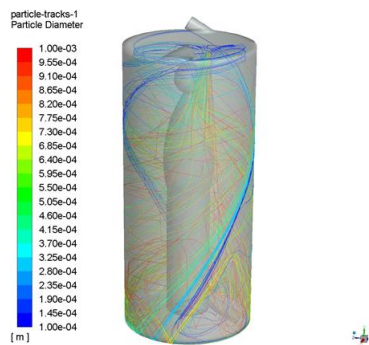


Fig.4-8.2 シャワールーム内の水滴の粒子追跡

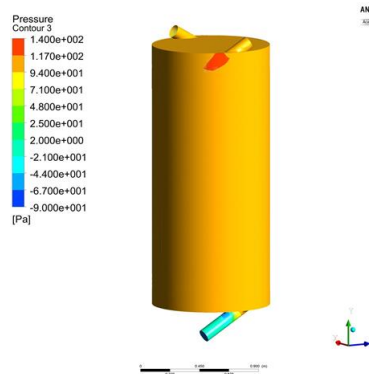


Fig.4-8.3 シャワールーム壁面の圧力分布

微小重力によって水が人体にまとわりつくことを考えた場合、シャワーの水が表面張力によって人体に液膜として付着することが考えられる。一方で人体周囲の循環流の存在によってこの液膜はある一定以上の厚さになれば気流の粘性力によって剥離を始めると考えられる。よって実際にはシャワーによる液膜への水の追加と気流による剥離がある厚さで釣り合うことが予想される。この厚さについて ANSYS Fluent 19.0 による追加解析を行い、評価を行った。

無風、無水状態から送風とシャワー射出を同時に開始し、シミュレーション内で5分間維持した。この時水粒子はシャワーヘッド位置より 2.5 L/min, 5 m/s で円錐角 15 度の円錐状にランダムに射出し、非定常解析によって壁面への液膜としての付着を考慮した粒子追跡解析を行った。なお液膜はオイラー液膜として取扱い、液膜へ水粒子が衝突した場合の液膜の質量の増加(液膜高さ及び液膜範囲の増加)および飛沫化しての再飛散、液膜表面を流れる気流による液膜の剥離飛散を考慮して解析を行った。この結果を図 4-8.4 に示す。

この解析により、風より先に人体表面へ到達した水粒子により 5 mm 程度の液膜に体が覆われるものの、数秒で風によって液膜が剥離し、最終的に 2-3 mm 程度の液膜厚さしか残らないことが判明した。この結果から循環流が適切に体に付着する水の量を適切に抑制できることがわかった。

4-9. 耐用期間

衛生上の観点から1つのシャワールームを連続で使用できる期間は 24 時間である。ISS 内においてカビの存在が確認されており^[7]、シャワールーム内の水滴を完全に除去はしないため、カビの繁殖が最大の問題となる。

カビが生育しやすい環境は、湿度 60% 以上、大気と同等もしくはそれ以上の酸素分圧、温度 0~40 度 (25~28 度が最適)、pH 2~8.5 (4~4.5 が最適) である^[8]。使用後のシャワールーム内は、カビの栄養源となる皮脂や洗剤カスが多く存在し、水滴による高い湿度、大気と同等の酸素分圧、ISS の室温である 21~25 度程度の温度、pH 7 程度であると考えられ、カビの生育に適した環境である。

カビの増殖速度は、湿度 91%、温度 28 度の条件における、Aspergillus penicillioides, Aspergillus niger, Penicillium citrinum の増殖実験により、24 時間後に孢子発芽することが確認されている^[9]。温度条件が ISS 内よりもカビ生育の最適温度に近いため、この実験はシャワールーム内の環境よりも厳しい評価であると言え、この実験の結果を用いることでより安全な使用が可能である。従って、シャワールームは最初の使用から 24 時間以内の廃棄

が必要であるとする。

4-10. 安全性

1) 緊急時の装置の動作停止

ナースコール子機のように出入口に防水カバー付き無線緊急停止ボタンを設置する。緊急時にはボタンを押した瞬間にシャワーノズルと気流循環システムの全動作が停止する。

2) 気流循環水回収システム停止時の脱出

シャワー装置を緊急停止した後、もしくはシャワー装置に電力が回らなくなった時など、気流循環水回収システム停止時は体に付着した水滴をタオルで拭きとれば、シャワールーム内の水滴がシャワールーム外に流出することを最小限に抑えて、シャワールームからの即脱出が可能となっている。

3) 外部の要請により緊急の退出が求められる場合

気流循環水回収システムの空気・水排出口のみを動作させることで、水滴のシャワールーム外への流出を最小限に抑えて即退出が可能となっている。

4) 安全適温給湯ユニット

シャワーノズルに温度センサーを設置、水温が50度を超えた場合、水の流入を停止させる。使用者がシステム異常によりやけどする事故を未然に防ぐ。

5) 排水口の水切りかご

空気・水の排出口は網状ポリエステルになっているため、身体の一部が吸い込まれないようになっている。また、ゴミ受けとしても機能するため、管にゴミが入り込むのを未然に防ぐことができる。

6) 感電防止対策

シャワールーム内部には電気機器は防水カバー付きの緊急停止ボタンのみなので感電の危険性はない。

7) シャワールーム本体の衛生管理

シャワールーム本体は使い捨てのため、使用時に開封・展開を行うことで内部は非常に衛生的な環境になっている。

8) シャワールーム破損時の水滴の外部流出

シャワールームの膜は二重になっているので一枚破損したとしても水滴の外部流出は起きない。また、仮に二枚とも敗れた場合でも、内部は減圧しているため、水滴は外部にもれにくい。

5. 今後の課題と展望

今後解決すべき課題を挙げる。

使用水量を20Lが限度としたが、使用水量が多いほど快適度はより高い値を示す。そのため、水再処理施設の増強等による使用可能水量の増大は望ましい。

シャワーノズルからの水の流れが安定するように、シャワーノズル用の貯水タンクと使用した水回収用の貯水タンクを分離した設計を行った。よ

り少量の水使用量で長時間のシャワーを達成するためには、送水中において連続的に補水可能な貯水タンク、もしくは水循環システムの開発が望まれる。

最後に今後の展望を示す。

今後、身近になることが予想される宇宙旅行において、宇宙におけるシャワーは訓練されていない一般市民にとって必要不可欠なものである。

RAKUの実用化によって宇宙におけるシャワーが現実的な手間で可能となることは、今後の宇宙開発に大きな貢献になると考える。

参考文献

[1] MORITO(2009),「マジロック® 試験データ」, http://www.morito.co.jp/magic/syohin/12_mj_lock/01_ml/ml_03.html

[2] 岡本美南, 佐藤稔, 小代禎彦(2015),「シャワーの快適性に影響する要因の分析—日本, 台湾の比較—」, 日本感性工学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.173-180.

[3] 近藤武士ほか(2003),「シャワーヘッド散水板の設計法に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第563号, pp.61-67.

[4] 横田製作所,「超自吸ポンプ®」
<http://www.aquadevice.com/nippon/00index.htm>

[5] 総務省(2007),「主な物品・機械装置の耐用年数」,
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/chikoujiken/pdf/070730_1_1_2_04_B04.pdf

[6] JAXA,「宇宙ステーション補給機『こうのとり』(HTV)」,
http://www.jaxa.jp/projects/rockets/htv/index_j.html

[7] 槇村浩一, 那須正夫(2017),『ISS・きぼう利用ミッション「国際宇宙ステーション内における微生物動態に関する研究(Microbe)」研究成果報告書』, 宇宙航空研究開発機構特別資料, JAXA-SP-17-007, pp. 294-333.

[8] 文部科学省(2008),「カビ対策マニュアル」,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/003/houkoku/1211830_10493.html

[9] 伊藤一秀, 水野優(2009),『各種の湿度環境下における真菌類の増殖速度測定と増殖挙動モデル』, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第636号, pp. 193-199.