

将来有人宇宙活動に向けた宇宙医学/健康管理技術の技術ギャップ一覧

【注】 探査ミッション中の技術ギャップ解決の前提条件として、省スペース、通信遅延、低重力・微小重力、無補給、宇宙放射線の環境で実施できる技術が必要となる

【注】 明記している場合を除き、探査ミッション中の技術ギャップを示している

【注】 探査ミッションは、月探査1年間、火星探査3年間（途中帰還不可）を前提として検討している

| NO. | リスク分類  | 技術ギャップ                                                                   | カテゴリ | 根拠（リスク）                                                                                                                             | 具体例・備考<br><br>（以下は技術ギャップを埋める具体例を示していますが、これら以外の方策のご提案もお知らせください。）                          |
|-----|--------|--------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 全般     | 自律型問診（身体所見）支援                                                            | 検査   | 火星では通信遅延があるため、飛行中の地上の航空宇宙医師（以下「FS」とする）によるリアルタイム双方向通信による問診ができない。クルー相互の問診（身体所見）の支援方法が必要になる。                                           | 既往歴、問診支援システム（自動問診システム）                                                                   |
| 2   |        | 遺伝的リスクの評価                                                                | 検査   | 超長期では、心疾患、代謝機能異常、免疫機能低下等の遺伝的要因が関連する疾患の発症頻度を高めるため、飛行前に遺伝的リスクの評価が必要になる。（遺伝子検査の予測精度が、今後改善されていくようであれば）                                  | 家族歴が確認可能な情報システム                                                                          |
| 3   |        | 救急救命に関する処置支援・訓練技術                                                        | 治療   | 火星では通信遅延があるため、地上の支援なしに救急処置を行う必要があり、搭乗飛行士に対する飛行前訓練、飛行中の処置支援が必要。また、月でも地球帰還までに6~9日要するため、継続した処置対応、（手術をする場合は）術後の安定化が必要になる。               | 月・火星ミッションで想定される救急救命処置の事前訓練、処置手順支援・ナビゲーションシステム                                            |
| 4   |        | 医薬品の長期保管                                                                 | 治療   | 無補給かつ超長期により酸化、光分解、加水分解、放射線分解のリスクが高まるため、医薬品が劣化しない超長期保管技術が必要になる。                                                                      |                                                                                          |
| 5   | 神経学的影響 | 重力変化による神経学的影響（めまい、眼振、頭痛、協調運動障害、起立歩行障害）および前庭機能（バランス機能、姿勢安定機能、感覚統合能力）障害の評価 | 検査   | 火星面着陸後などの重力再適応時には、神経学的影響（めまい、眼振、頭痛、協調運動障害、起立歩行障害）および前庭機能（バランス機能、姿勢安定機能、感覚統合能力）障害により宇宙機を操縦/操作する能力の低下、活動制限のリスクが高まるため、神経学的影響の評価が必要になる。 | Platform Test、重心動揺計、加速度計評価、動画撮影・動画解析ソフトウェア、評価者養成                                         |
| 6   |        | 重力再適応時の神経学的影響および前庭機能障害の予防策                                               | 予防   | 火星面着陸後などの重力再適応時には、神経学的影響（めまい、眼振、頭痛、協調運動障害、起立歩行障害）および前庭機能（バランス機能、姿勢安定機能、感覚統合能力）障害を予防するために、無重力環境下で何らかの予防対策を行う必要がある。                   | エルゴメータ式人工重力負荷装置等                                                                         |
| 7   |        | 重力再適応時の神経学的影響および前庭機能障害発生時のクルー支援・補助方法                                     | 対策   | 火星面着陸後などの重力再適応時の神経学的影響（めまい、眼振、頭痛、協調運動障害、起立歩行障害）および前庭機能（バランス機能、姿勢安定機能、感覚統合能力）障害等が生じた場合、飛行士作業の支援、もしくは補助するロボットなどの対策が必要になる。             | クルー支援ロボット、作業代替ロボット                                                                       |
| 8   | 心疾患    | 自律した血液分析（試薬の長寿命化、分析項目の多様化、分析精度の向上を含む）                                    | 検査   | 超長期では、心疾患（冠動脈疾患/不整脈）リスクが高まるため、ミッション中のリスク把握を目的として血液検査が必要になる。サンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。                            | ポータブル血液分析装置(iSTAT)                                                                       |
| 9   |        | 自律した心電図評価                                                                | 検査   | 超長期では、心疾患（冠動脈疾患/不整脈）リスクが高まるため、ミッション中のリスク把握および診断を目的として心電図検査（e.g. 臨床運動負荷試験）が必要になる。火星では通信遅延があるため、地上からの支援なしに評価、安全管理を行う必要がある。            | 心電図自動解析装置                                                                                |
| 10  |        | 心疾患（冠動脈疾患/不整脈）の予防                                                        | 予防   | 超長期では、心疾患（冠動脈疾患/不整脈）リスクが高まるため、予防が必要となる。心疾患は遺伝的要因に加えて、長期間の食事の偏りやストレスが原因となるため、栄養・献立管理等の予防対策が必要になる。                                    | バランスのとれた栄養・献立管理、高リスク者に合わせた栄養・献立管理                                                        |
| 11  |        | 心疾患（冠動脈疾患/不整脈）の治療                                                        | 治療   | 超長期では、心疾患（冠動脈疾患/不整脈）の発症率が高まるため、発症した場合の治療方法の開発が必要になる。                                                                                | 経口薬（No.4の技術ギャップ参照）                                                                       |
| 12  | 代謝機能障害 | 自律した血液分析（試薬の長寿命化、分析項目の多様化、分析精度の向上を含む）                                    | 検査   | 超長期では、代謝機能障害（糖尿病、高脂血症、痛風）リスクが高まるため、ミッション中のリスク把握を目的として血液検査が必要になる。サンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。                       | ポータブル血液分析装置(iSTAT)                                                                       |
| 13  |        | 代謝機能障害の予防                                                                | 予防   | 超長期では、代謝機能障害（糖尿病、高脂血症、痛風）リスクが高まるため、予防が必要となる。代謝機能障害は遺伝的要因に加えて、食事の偏りが原因となるため、栄養・献立管理等の予防対策が必要になる。                                     | バランスのとれた栄養・献立管理。高リスク者に合わせた栄養・献立管理                                                        |
| 14  |        | 代謝機能障害の治療                                                                | 治療   | 超長期では代謝機能障害（糖尿病、高脂血症、痛風）のリスクが高まるため、発症した場合には、治療が必要になる。                                                                               | 経口薬（No.4の技術ギャップ参照）、注射薬（インスリン）（糖尿病）、食事、運動                                                 |
| 15  | 歯科疾患   | 歯科検査                                                                     | 検査   | 超長期では、う蝕（虫歯）・歯周病・知覚過敏・咬合時疼痛などの歯科疾患の発症リスクが高まるため、定期的な検査が必要になる。                                                                        | 口腔内カメラ、簡易な口腔衛生評価（細菌カウンタ、唾液検査）、ポケット測定、咬合紙                                                 |
| 16  |        | 歯科疾患（う蝕等）の予防                                                             | 予防   | 超長期では、う蝕（虫歯）・歯周病・知覚過敏などの歯科疾患の発症リスクが高まるほか、十分な歯科医療サービスが提供できないため、予防対策が必要になる。                                                           | クリーニング、歯磨き（事前指導含）、うがい（事前指導含）、フッ素塗布、歯石除去（スケーラーの搭載されているポータブル器具）、知覚過敏予防歯磨剤（硝酸カリウム、乳酸アルミニウム） |
| 17  |        | 口腔外科疾患（顎関節症）の予防                                                          | 予防   | 超長期閉鎖環境では、ストレスにより顎関節症のリスクが高まるほか、十分な口腔外科医療サービスが提供できないため、予防対策が必要になる。                                                                  | TCH（Tooth Contacting Habit：習慣性歯牙接触癖）指導                                                   |

| NO. | リスク分類                         | 技術ギャップ                                | カテゴリ | 根拠（リスク）                                                                                                                                        | <div> <div>具体例・備考</div> <div>（以下は技術ギャップを埋める具体例を示していますが、これら以外の方策のご提案もお知らせください。）</div> </div>           |
|-----|-------------------------------|---------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18  |                               | 口臭の予防策                                | 予防   | 超長期閉鎖環境では、ストレスにより口腔乾燥や歯周病により口臭が増悪するリスクが高まるほか、十分な歯科医療サービスが提供できないため、予防対策が必要になる。                                                                  | 舌清掃指導、歯みがき指導、口臭抑制選考剤                                                                                  |
| 19  |                               | 歯科疾患（う蝕等）の治療                          | 治療   | 超長期では、う蝕（虫歯）・歯周病・知覚過敏・咬合時疼痛に加え、外傷による歯牙破折・歯根破折・歯脱臼などの発生リスクが高まるため、発生した場合には治療が必要になる。                                                              | う蝕初期：保存治療（フッ化ジアミン銀塗布）、う蝕重症化：麻酔下での抜歯・抜髄（義者養成、器材）。知覚過敏：知覚過敏抑制材（ナノシール）、歯牙破折：接着・抜歯、歯根破折：抜歯、脱臼：固定（スーパーボンド） |
| 20  | 白内障                           | 眼科（白内障）の検査                            | 検査   | 放射線被ばくにより白内障が進行するリスクがあり、超長期では若天性白内障が発症・進行するリスクがあるため、ミッション中のリスク把握および診断を目的として白内障検査を含む眼科検査が必要になる。                                                 | 細隙灯顕微鏡カメラ、術者訓練                                                                                        |
| 21  |                               | 眼科（白内障）の治療                            | 治療   | 放射線被ばくにより白内障が進行するリスクがあり、水晶体混濁が認められる場合は、その場での治療が必要になる。                                                                                          | 眼内レンズ交換（白内障手術用レーザー装置、吸引機器、手術顕微鏡、手術具の小型化、簡易な操作性が必要）、技術者養成                                              |
| 22  | 宇宙飛行によって生じる眼病（以下、「SANS」とする。）※ | SANS検査                                | 検査   | 微小重力環境では、SANS発症のリスクが高まるため、ミッション中のリスク把握および診断を目的として画像診断による検査が必要になる。火星では通信遅延があるため、地上からの支援なしに検査を行うことが必要になる。                                        | 眼底検査（Fundoscopy）、OCT（網膜断面像検査）、超音波画像診断システム、術者養成                                                        |
| 23  |                               | SANSの予防                               | 予防   | 微小重力環境では、SANS発症のリスクが高まるため、予防が必要になる。しかし、SANS発症原因が明らかになっていないため、研究が必要になる。                                                                         |                                                                                                       |
| 24  |                               | SANSの治療                               | 治療   | 微小重力環境では、SANS発症のリスクが高まるため、発症した場合には治療が必要になる。しかし、SANS発症原因が明らかになっていないため、研究が必要になる。                                                                 |                                                                                                       |
| 25  | 骨密度低下                         | 骨量・骨密度の検査                             | 検査   | 微小重力環境および重力再適応時には、骨量・骨密度低下により骨折のリスクが高まるため、リスク把握を目的として骨密度検査が必要。                                                                                 | 2重エネルギーX線吸収測定法（DEXA）、超音波法                                                                             |
| 26  |                               | 骨量・骨密度の維持対策                           | 予防   | 微小重力環境に超長期間滞在したのちの重力再適応時（火星面着陸後など）には、骨量・骨密度低下により骨折のリスクが高まるため、ミッション期間中の骨量・骨密度の維持が必要になる。薬物での対策をとる場合は、副作用のリスク管理も課題。                               | 栄養管理、運動処方、低周波電気刺激、直流電気刺激、骨粗しょう症治療薬（ビスフォスフォネートなど）                                                      |
| 27  |                               | 骨量・骨密度低下時および骨折の治療                     | 治療   | 微小重力環境に超長期間滞在したのちの重力再適応時（火星面着陸後など）には、骨量・骨密度低下により骨折のリスクが高まるため、骨量低下時および骨折が生じたときの治療や安静期間の活動支援・補助、リハビリ支援が必要になる。                                    | 骨粗しょう症治療薬（ビスフォスフォネートなど）（No.4の技術ギャップ参照）、整復、ギプス固定、副木固定、内固定（手術）、クルー支援ロボット、作業代替ロボット、リハビリ支援ロボット            |
| 28  | 椎間板損傷                         | 椎間板の画像診断検査                            | 検査   | 微小重力環境に超長期間滞在したのちの重力再適応時（火星面着陸後など）には、椎間板損傷のリスクが高まるため、リスク把握および診断を目的として画像診断による検査が必要になる。限られたスペースであるため、装置の小型化が必要になる。                               | オープンMRI、ポータブルX線デジタル撮影システム、小型CTシステム                                                                    |
| 29  |                               | 椎間板損傷の治療                              | 治療   | 微小重力環境に超長期間滞在したのちの重力再適応時（火星面着陸後など）には、椎間板損傷のリスクが高まるため、椎間板損傷発生時には治療が必要になる。                                                                       | 薬物療法（No.4の技術ギャップ参照）、ブロック注射、装具療法、経皮的内視鏡下腰椎椎間板摘出術（PELD法）                                                |
| 30  | 尿路結石                          | 尿路結石の画像診断検査                           | 検査   | 微小重力および超長期では、尿中カルシウム排泄の増加により尿管結石のリスクが高まるため、ミッション中のリスク把握および診断を目的として腹部の画像診断検査（X線検査、超音波検査）が必要になる。                                                 | ポータブルX線デジタル撮影システム、超音波画像診断システム、術者養成                                                                    |
| 31  |                               | 尿路結石の予防                               | 予防   | 微小重力および超長期では、尿中カルシウム排泄の増加により尿管結石のリスクが高まるため、予防対策が必要になる。                                                                                         | 栄養管理、ビスフォスフォネート                                                                                       |
| 32  |                               | 尿路結石の治療                               | 治療   | 微小重力および超長期では、尿中カルシウム排泄の増加により尿管結石のリスクが高まるため、尿路結石が発症した場合には治療が必要になる。                                                                              | 経口薬（排石薬、鎮痙薬）（No.4の技術ギャップ参照）、自然排石できない場合は対外衝撃波結石破碎装置による破碎、装置の小型化、超音波エコー、X線のイメージング精度の向上                  |
| 33  | 胆嚢結石                          | 胆嚢結石の画像診断検査                           | 検査   | 超長期では、胆嚢結石の発症率が高まるため、腹部の画像診断検査（超音波検査）が必要になる。                                                                                                   | 超音波画像診断システム、術者養成                                                                                      |
| 34  |                               | 胆嚢結石の予防                               | 予防   | 超長期では、胆嚢結石の発症率が高まるため、予防が必要になる。胆嚢結石は遺伝的要因に加えて、食事の偏りが原因となるため、栄養・献立管理等の予防対策が必要になる。                                                                | 栄養管理（脂質、コレステロールの過剰摂取を避けるような宇宙食メニュー）                                                                   |
| 35  |                               | 胆嚢結石の治療                               | 治療   | 超長期では、胆嚢結石の発症率が高まるため、胆嚢結石が発症した場合には治療方法の開発が必要になる。                                                                                               | 経口薬（利胆薬）（No.4の技術ギャップ参照）                                                                               |
| 36  |                               | 自律した血液分析（試薬の長寿命化、分析項目の多様化、分析精度の向上を含む） | 検査   | 超長期では、微小重力や長期閉鎖環境ストレス等の複合要因により免疫機能低下のリスクが高まるため、ミッション中のリスク把握を目的として血液検査が必要になる。サンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。                      | ポータブル血液分析装置(iSTAT)                                                                                    |
| 37  |                               | 自律した微生物種の同定検査                         | モニター | 超長期では、微小重力や長期閉鎖環境ストレス等の複合要因により免疫機能低下のリスクが高まり、感染症が起こるリスクが生じるため、船内微生物種の同定検査（定性分析）が必要になる。サンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。試薬の長寿命化も必要。 | 質量分析法、リアルタイムPCR、マイクロアレイ                                                                               |

| NO. | リスク分類  | 技術ギャップ               | カテゴリ | 根拠（リスク）                                                                                                                                                           | 具体例・備考<br>（以下は技術ギャップを埋める具体例を示していますが、<br>これら以外の方策のご提案もお知らせください。）                                                             |
|-----|--------|----------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 38  | 免疫機能低下 | 免疫機能の維持              | 予防   | 微小重力や長期閉鎖環境ストレス等の複合要因により免疫機能低下のリスクが高まり、毒性の弱い微生物でも感染症（日和見感染症）および保持しているウイルスの再活化のリスクが生じるため、免疫機能低下の予防対策が必要になる。                                                        | 栄養管理、腸内環境健康、免疫機能の賦活化（予防接種）                                                                                                  |
| 39  |        | 感染症予防（衛生管理）          | 予防   | 微小重力や長期閉鎖環境ストレス等の複合要因により免疫機能低下のリスクが高まり、毒性の弱い微生物でも感染症（日和見感染症）が起こるリスクが生じるため、船内の衛生管理が必要になる。                                                                          | 多様な消毒・洗浄が可能な空気・水再生装置、消毒・滅菌方法（エタノール、次亜塩素酸、塩化ベンザルコニウム、ヨウ素、過酸化水素水、UV照射、高圧蒸気滅菌、ガンマ線滅菌、電子線滅菌）、廃棄物の殺菌・消臭化（e.g. 乾燥、高圧蒸気滅菌、微生物分解処理） |
| 40  |        | 免疫低下に伴う疾患に対する治療      | 治療   | 超長期では、微小重力や長期閉鎖環境ストレス等の複合要因により免疫機能低下のリスクが高まり、感染症のほか保持しているウイルスの再活化のリスクが生じるため、症状が生じた場合には治療が必要になる。                                                                   | 経口薬（抗ウイルス剤、抗炎症薬）、外用薬                                                                                                        |
| 41  | 粉塵     | 塵肺画像診断検査             | 検査   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は、吸引により塵肺のリスクが高まるため、リスク把握および診断を目的として画像診断による検査が必要になる。                                                                                                | ポータブルX線デジタル撮影システム、術者養成                                                                                                      |
| 42  |        | 自律した呼吸機能検査           | 検査   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は、吸引により塵肺のリスクが高まるため、リスク把握および診断を目的として呼吸機能検査が必要になる。                                                                                                   | 電子聴診器、スパイロメータ（肺機能検査）                                                                                                        |
| 43  |        | 空気清浄度評価              | モニター | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は、吸引により塵肺のリスクが高まるため、リスク把握および予防につなげる目的で空気清浄度評価が必要になる。                                                                                                | 微粒子測定器                                                                                                                      |
| 44  |        | 眼への粉塵混入防止技術          | 予防   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は形状が鋭利であるため、眼痛や角膜異物、角膜潰瘍等のリスクが高まり、眼へ混入した場合の完全な除去も難しい。そのため、混入防止策が必要になる。                                                                              | ゴーグルの高性能化、エアシャワー等の除去技術開発                                                                                                    |
| 45  |        | 粉塵の除去                | 予防   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵が船内に侵入した場合、塵肺や眼痛、角膜異物、角膜潰瘍等の原因となるため確実な清掃・除去方法が必要になる。                                                                                                | エアシャワー等の除去技術開発                                                                                                              |
| 46  |        | 眼への異物混入の治療           | 治療   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は、眼痛や角膜異物、角膜潰瘍等のリスクが高まるため、発生した場合には治療が必要になる。                                                                                                         | 眼洗浄、点眼、眼軟膏                                                                                                                  |
| 47  |        | 塵肺治療                 | 治療   | 月面のレゴリス等の鉱物性粉塵は、吸引により塵肺のリスクが高まるため、発症した場合には治療が必要になる。                                                                                                               | 経口薬（鎮咳剤、去痰剤、気管支拡張剤）、酸素吸入・人工呼吸器の使用                                                                                           |
| 48  | 被ばく    | 長期低線量被ばく線量評価         | モニター | 超長期では放射線被ばくにより、がん死亡のリスクが高まるため、帰還後のケアのため線量管理が必要になる。長寿命なアクティブモニター等により実効線量の評価が必要になる。                                                                                 | アクティブ型個人線量計、エリアモニタ、組織等価線量への換算方法、火星軌道での宇宙環境モデル                                                                               |
| 49  |        | 自律的なSPE発生時の急性被ばく線量評価 | モニター | 地球磁気圏外では、SPE発生時等の放射線急性障害のリスクがあるため、線量管理が必要になる。長寿命なアクティブモニター等により組織等価線量の評価が必要になる。また、火星探査の場合、通信遅延があるため、その場での自律的な線量評価が必要になる。                                           | アクティブ型個人線量計、エリアモニタ、組織等価線量への換算方法、火星軌道での宇宙環境モデル                                                                               |
| 50  |        | 自律的な宇宙環境モニタリング方法     | モニター | ミッション中の被ばく線量を可能な限り少なくするため、太陽圏の宇宙環境をモニタし、宇宙環境擾乱時は対策がとれるようにすることが必要になる。現在の太陽観測網は火星を網羅しておらず、火星周囲および航行中の宇宙環境観測データが不足する。また、火星探査の場合、通信遅延があるため、その場での自律的な宇宙環境モニタリングが必要となる。 | その場での宇宙天気予報、火星周回の太陽活動観測衛星、太陽磁気観測、通信衛星                                                                                       |
| 51  |        | 消毒・洗浄技術              | 予防   | 超長期では、放射線被ばくにより微生物が変質、変異するリスクがあり、微生物を殺菌・滅菌する必要がある。                                                                                                                | 空気再生・水再生能力の向上（消毒薬・洗浄剤の種類と使用量の制約を減らす：エタノール、次亜塩素酸、塩化ベンザルコニウム、ヨウ素、過酸化水素水を使用できる）、UV照射、高圧蒸気滅菌、ガンマ線滅菌、電子線滅菌                       |
| 52  |        | 遮蔽技術                 | 予防   | 地球磁気圏外に超長期間滞在することにより被ばく量が増加し放射線障害のリスクが高まるため、物理的に被ばく量を低減させるための遮蔽技術が必要になる。                                                                                          |                                                                                                                             |
| 53  |        | 被ばく影響低減策             | 予防   | 地球磁気圏外に超長期間滞在することにより被ばく量が増加し放射線障害のリスクが高まるため、体への影響を低減させるための方策が必要になる。                                                                                               |                                                                                                                             |
| 54  |        | 急性放射線障害治療            | 治療   | 地球磁気圏外では、SPE発生時等の放射線急性障害のリスクがあるため、急性障害が生じたときには治療が必要になる。                                                                                                           |                                                                                                                             |
| 55  | 起立耐性低下 | 重力再適応時の起立耐性低下の抑制     | 予防   | 微小重力環境に超長期間滞在したのちの重力再適応時には、起立耐性低下が生じるため、これを抑制する必要がある。                                                                                                             | 人工重力負荷装置                                                                                                                    |
| 56  | 心肺機能低下 | 自律した心肺機能（有酸素運動能力）評価  | 検査   | 超長期では、心肺機能の低下により身体活動が制限されるリスクがあるため、ミッション中のリスク把握を目的として有酸素運動能力（最大酸素摂取量）を評価することが必要になる。火星では通信遅延があるため、地上からの支援なしに検査、安全管理を行うことが必要になる。                                    | 呼気ガス分析装置、術者養成                                                                                                               |

| NO. | リスク分類             | 技術ギャップ                                | カテゴリ | 根拠（リスク）                                                                                                                                      | 具体例・備考<br><br>（以下は技術ギャップを埋める具体例を示していますが、<br>これら以外の方策のご提案もお知らせください。）                                 |
|-----|-------------------|---------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 57  |                   | 心肺機能低下の抑制（運動機器の小型化、効率的な運動手法）          | 予防   | 超長期では、心肺機能の低下により身体活動が制限されるリスクがあるため、心肺機能の低下を抑制する必要がある。限られたスペースであるため、運動機器の小型化が必要になる。                                                           | エルゴメータ・トレッドミルの小型軽量化                                                                                 |
| 58  |                   | 自律した画像機器を用いた動作解析                      | 検査   | 重力再適応時には、身体の調整機能（筋力、柔軟性、敏捷性、平衡性）の低下により外傷、身体活動が制限されるリスクが高まるため、ミッション中のリスク把握を目的として評価が必要になる。                                                     | モーションキャプチャ                                                                                          |
| 59  | 調整機能低下            | 筋骨格系・神経系の調整機能低下を抑制するための運動機器と運動手法      | 予防対策 | 重力再適応時には、身体の調整機能（筋力、柔軟性、敏捷性、平衡性）の低下により外傷、身体活動が制限されるリスクが高まる。そのため、限られたスペースで調整力低下を抑制するための運動方法（必要あれば装置も）が必要になる。                                  | 人工重力負荷、調整機能を維持するための運動機器、限られたスペースでのリハビリ                                                              |
| 60  | 筋力低下              | 自律した筋力・筋量評価                           | 検査   | 重力最適適応時には、筋力低下・筋委縮により外傷、活動制限のリスクが高まるため、評価が必要。測定による外傷リスクを最小化する必要がある。火星では通信遅延があるため、地上からの支援なしに検査、安全管理を行うことが必要。                                  | 等速性筋力計測法、３Ｄスキャン（体組成推定）                                                                              |
| 61  |                   | 自律的な筋力・筋持久力維持のための運動機器と運動手法            | 予防対策 | 重力最適適応時には、筋力低下・筋委縮により外傷、活動制限のリスクが高まるため、これを抑制する必要がある。火星では、通信遅延によりリアルタイムのサポートは不可。地上からのリアルタイム支援なしに運動動作を修正する必要がある。                               | 小型軽量な運動機器、電気刺激（EMS）、動作再生フィードバックシステム。                                                                |
| 62  | 船外活動（以下、「EVA」とする） | 自律した心電図評価                             | モニター | EVA時には、心機能低下による活動制限のリスクがあるため、心電図、呼吸数のリアルタイムモニターが必要になる。火星では通信遅延があるため、自律したEVA中の心電図、呼吸数のモニターを行うことが必要になる。                                        | 心電図自動解析装置                                                                                           |
| 63  |                   | 減圧症対策                                 | 予防対策 | 月面、火星面ではEVAの回数が増加することで、減圧症発症リスクは高まるため、リスク軽減策が必要になる。                                                                                          |                                                                                                     |
| 64  |                   | 低酸素症治療                                | 治療   | 月面、火星面ではEVAの回数が増加することで、船外活動時に低圧酸素症の発生リスクが高くなるため、低酸素症になった場合には治療が必要になる。                                                                        |                                                                                                     |
| 65  | 再突入時              | 自律した心電図評価                             | モニター | 加速度暴露時には心機能への影響があるため、心電図、呼吸数のリアルタイムモニターが必要になる。火星では通信遅延があるため、火星面再突入時に自律した心電図、呼吸数のモニターが必要になる。                                                  | 心電図自動解析装置                                                                                           |
| 66  | 精神心理              | 精神心理（心理・行動・認知・情動）に関する評価               | 検査   | 閉鎖環境、超長期、放射線被ばく等の複合要因より、飛行士個人・チームのパフォーマンスの低下、心理社会的不適応、精神疾患のリスクが高まる。火星では通信遅延があるため、地上からのリアルタイム支援（面談）なしに評価を行うことが必要になる。また、気分障害と脳血管障害の鑑別を行う必要がある。 | クルー相互による心理状態評価（評価者養成）、ロボット会話を地上で評価、情動評価（HAM-D、CAS）、2ch脳波計、近赤外線分光分析装置（NIR）、MRI、ストレスマーカーによる評価（同定が必要）  |
| 67  |                   | 疲労・睡眠の評価                              | 検査   | 閉鎖環境・超長期では、睡眠障害のリスクが高まる。火星では通信遅延があるため、地上からのリアルタイム支援（面談）なしに睡眠・覚醒度を評価を行うことが必要になる。                                                              | 覚醒度評価（Vigilance測定装置）                                                                                |
| 68  |                   | セルフケア、レジリエンス、集団力学の評価                  | 検査   | 閉鎖環境・超長期では、飛行士個人・チームのパフォーマンスの低下、心理社会的不適応のリスクが高まる。協調性やリーダーシップ/フォロワーシップを凌駕してセルフケアやレジリエンス能力が求められるため、飛行前に訓練の行動評価を行う必要がある。                        |                                                                                                     |
| 69  |                   | 精神心理（心理・行動・認知・情動）に関する機能低下、精神疾患の予防策    | 予防対策 | 閉鎖環境、超長期、放射線被ばく等の複合要因より、飛行士個人・チームのパフォーマンスの低下、心理社会的不適応、精神疾患のリスクが高まるため、予防対策が必要になる。                                                             | 事前の教育・訓練・指導（カウンセリング技法：認知行動療法、セルフケア：自立訓練法、睡眠指導）。クルー相互のカウンセリング。業務管理の自己裁量。余暇バリエーションの拡大。余暇としての運動        |
| 70  |                   | 精神心理疾患治療                              | 治療   | 閉鎖環境、超長期、放射線被ばく等の複合要因より、精神疾患の発症リスクが高まる。火星では緊急帰還ができないため、自律した治療法が必要になる。                                                                        | 経口薬、注射薬、電気けいれん療法（気分障害）、光照射療法（気分障害、睡眠障害）                                                             |
| 71  | 栄養不足              | 自律した血液分析（試薬の長寿命化、分析項目の多様化、分析精度の向上を含む） | 検査   | 超長期、無補給では、食事内容の偏りにより栄養不足に陥るリスクが高まる。ミッション中のリスク把握を目的として血液検査が必要になる。サンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。                                | ポータブル血液分析装置(ISTAT)                                                                                  |
| 72  |                   | バラエティに富んだ食事メニューおよび栄養・献立管理             | 予防   | 超長期、無補給では、食事内容の偏りにより栄養不足に陥るリスクが高まるほか、飛行士個人・チームのパフォーマンスの低下のリスクも高まるため、バラエティに富んだ食事メニューが必要になる。調理方法・調理器具の多様化も含めて考慮する必要がある。                        | 調理が可能な食品、調理士・管理栄養飛行士、AIによる栄養評価／献立作成、野菜・果物栽培（LED逐行栽培）、動物性たんぱく質の生産（人工肉、小魚養殖、カイコなどの昆虫食）、コンロ、オーブン、電子レンジ |
| 73  |                   | 残渣の少ない食品包材                            | 予防   | 無補給かつ限られたスペースしかないため、残渣の少ない食品包材が必要になる。残渣による微生物の繁殖、臭いも抑制する必要がある。                                                                               | ごみ、質量、匂いの少ないもの                                                                                      |
| 74  |                   | 長期常温食品保管技術                            | 予防   | 超長期、無補給のため、長期保管可能な食品が必要になる（最大５年程度）。また、保存料に含まれるリンが、微小重力で骨から溶出したカルシウムが結合すると腎機能障害の原因物質となる可能性があるため、リン摂取量を制限する必要がある。                              | リン摂取制限。宇宙食自体の期限の延長と、保管技術による保管期間の長期化。食品用の冷蔵庫及び冷凍庫。                                                   |
| 75  |                   | 栄養不足に対する治療                            | 治療   | 超長期、無補給では、食事内容の偏りにより栄養不足に陥るリスクが高まるほか、栄養不足による体調不良に陥った場合には治療が必要になる。                                                                            | 点滴栄養                                                                                                |

| NO. | リスク分類 | 技術ギャップ                       | カテゴリ | 根拠（リスク）                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <div>具体例・備考</div> <div>（以下は技術ギャップを埋める具体例を示していますが、これら以外の方策のご提案もお知らせください。）</div>                                |
|-----|-------|------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 76  | 環境    | 自律した空気成分分析                   | モニター | 空気質の悪化は、パフォーマンスや健康状態に影響するため、定期的なモニターが必要だが、火星ではサンプル回収ができないため、必要な分析項目について妥当な精度でその場での分析が必要になる。                                                                                                                                                                                                                       | ガスクロマトグラフ                                                                                                     |
| 77  | 衛生    | 消毒・洗浄技術                      | 予防   | 超長期において、頭髮、皮膚表面の清拭のみでは皮膚の痒みや炎症等をおこすリスクが高まるため、皮膚を清潔に保つための手法が必要になる。救急処置（手術等）を行う場合には、滅菌・消毒等の衛生管理が必要になる。                                                                                                                                                                                                              | 清潔方法（風呂、シャワー、スキンケア）<br>救急処置向け衛生管理（衣類の滅菌（滅菌ガウン）、滅菌水生成、消毒液）                                                     |
| 78  |       | 消臭技術                         | 予防   | 残渣や廃棄物による悪臭は、パフォーマンス低下につながるため、悪臭原因物質の除去・緩和および船内空気の消臭・無臭化、空間への芳香付与が必要になる。                                                                                                                                                                                                                                          | 乾燥、高圧蒸気滅菌、微生物分解処理、光触媒、プラズマクラスター、芳香剤                                                                           |
| 79  |       | 再利用                          | 予防   | 無補給かつ限られたスペースしかないため、衛生用品・被服を再利用する必要がある。<br>洗濯を導入する場合、廃液が少ない方法が必要、廃液が出る場合は、廃液を再利用する方法がに必要になる。                                                                                                                                                                                                                      | 3Dプリンタ、高圧蒸気滅菌、ガンマ線滅菌、電子線滅菌、洗濯（オゾン、空気、超音波振動、高分子ナイロンビーズ）                                                        |
| 80  | 救急救命  | 自律した一次救急処置技術                 | 治療   | 月・火星では重力下環境であるため外傷のリスクが高まる。火星では通信遅延があるため、地上からのリアルタイムでの救急処置の支援・指示を受けることは不可。                                                                                                                                                                                                                                        | ビデオメッセージ、テキストでの相談。処置ナビゲーションシステム<br>AIによる処置支援（手順確認支援）                                                          |
| 81  |       | 自律した二次救急処置（入院、手術を要する症例の治療）技術 | 治療   | 月・火星表面では重力下環境であるため外傷のリスクが高まる。術者2名（麻酔管理/薬剤投与・バイタル管理、輸液・出血量監視を含む）、手術介助1名（手術器具管理、体内遺残防止）規模以上の体制が必要になる。火星では通信遅延があるため、地上からのリアルタイムでの救急処置の支援・指示を受けることは不可であり、自律した処置・判断が必要になる。また、輸液管理（輸血用血液、生理食塩水）、術後のモニタリングと点滴等による安定化が必要になる。<br>手術侵襲に耐えられる全身状態、術後の安定化が見込めることが前提となる。（現状では、手足外傷（開放性骨折、筋・腱断裂等）、気道閉塞、簡易な炎症/腫瘍切除・組織/器官形成などを想定） | X線画像モニター、吸引器、電気メス、麻酔装置、血液ガス分析装置、挿管用喉頭鏡、手術用照明灯（无影灯）、手術顕微鏡、患者加温装置、自己血貯血の長期保存、人工血液製剤、手術ナビゲーションシステム、手術機材出入り管理システム |
| 82  |       | 医療廃棄物の処理、血液・廃液の処理            | 治療   | 月・火星表面では重力下環境であるため外傷のリスクが高まる。手術を実施した場合には、医療廃棄物、病理廃棄物、血液等の廃液が発生するため、安全な処理・保管方法が必になる。                                                                                                                                                                                                                               | 3Dプリンタによる医療材料、衛生材料の再利用技術、高圧蒸気滅菌                                                                               |
| 83  |       | 自律した救命処置（ALS、BLS）            | 治療   | 火星では通信遅延があるため、地上からの支援なしに二次救命処置（ALS）、一次救命処置（BLS）を実施する必要がある。                                                                                                                                                                                                                                                        | ALS/BLSナビゲーションシステム                                                                                            |
| 84  |       | 治療優先度（トリアージ）の基準              | 治療   | 手術が必要になるケースにおいて、実施可否判断として、手術侵襲に耐えられる全身状態、術後の安定化が見込みを考慮したガイドラインが必要になる。月でも地球帰還までに6~9日要するため、二次救命処置（ALS）以降の対応が難しい。二次救命処置により回復が見込めることを考慮に入れ、ガイドラインを定める必要がある。                                                                                                                                                           |                                                                                                               |
| 85  |       | 救急帰還時の治療                     | 治療   | 月でも地球帰還までに6~9日要するため、帰還中に船内で継続した安定化が必要。<br>手術ができない場合には、保存療法で帰還させる必要がある。                                                                                                                                                                                                                                            | 保存療法（痛みの緩和など）による搬送、低体温／体温管理療法                                                                                 |
| 86  |       | 死亡時の対応                       | 治療   | 飛行士死亡時の対応方法（遺体保管・管理）を検討する必要がある。                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 遺体の冷蔵・冷凍保管での持ち帰り、月・火星面への埋葬                                                                                    |

※宇宙飛行によって生じる眼病（SANS; Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome）は、視神経乳頭浮腫、眼球平坦化等があげられる。