

## ISS で使用可能な人工重力+運動負荷装置の開発 —AGREE プロジェクト—

西村直記<sup>1</sup>, 岩瀬 敏<sup>1</sup>, 菅屋潤壺<sup>1</sup>, William H Paloski<sup>2</sup>, Laurence R Young<sup>3</sup>,  
Jack JWA van Loon<sup>4</sup>, Floris Wuyts<sup>5</sup>, Gilles Clement<sup>6</sup>, Jorn Rittweger<sup>7</sup>,  
Gerzer Rupert<sup>7</sup>, James Lackner<sup>8</sup>

<sup>1</sup>愛知医科大学生理学, <sup>2</sup>ヒューストン大学, <sup>3</sup>マサチューセッツ工科大学,  
<sup>4</sup>アムステルダム大学, <sup>5</sup>アントワープ大学, <sup>6</sup>国際宇宙大学,  
<sup>7</sup>ドイツ航空宇宙センター, <sup>8</sup>ブランダイス大学

## Development of an artificial gravity with ergometric exercise device on ISS

— AGREE project —

Naoki Nishimura<sup>1</sup>, Satoshi Iwase<sup>1</sup>, Junichi Sugeno<sup>1</sup>, William H Paloski<sup>2</sup>,  
Laurence R Young<sup>3</sup>, Jack JWA van Loon<sup>4</sup>, Floris Wuyts<sup>5</sup>, Gilles Clement<sup>6</sup>,  
Jorn Rittweger<sup>7</sup>, Gerzer Rupert<sup>7</sup>, James Lackner<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Aichi Medical University, 1-1 Yazakokarimata, Nagakute Aichi 480-1195 Japan  
E-Mail: nao2460@aichi-med-u.ac.jp

<sup>2</sup>University of Houston, <sup>3</sup>Massachusetts Institute of Technology,

<sup>4</sup>University of Amsterdam, <sup>5</sup>University of Antwerp, <sup>6</sup>International Space University,

<sup>7</sup>German Aerospace Center, DLR, <sup>8</sup>Brandeis University

Abstract: We have previously reported that daily artificial gravity of 1.4 G with ergometric exercise of 60 W produced by a short arm centrifuge device is useful as a countermeasure for deconditioning caused by 20 days of head-down bed rest. Our centrifuge device has been manufactured with a radius of 2 m, while the radius of the centrifuge is limited by its planned location on the ISS to be 1.4 m. Therefore, we should be performed the ground based experiment using a centrifuge device after remodeling. We will validate the efficacy of a specific protocol for artificial gravity with ergometric exercise induced by a refinement short arm centrifuge device in preventing space flight deconditioning associated with prolonged exposure to microgravity.

*Key words: Artificial gravity, Ergometric exercise, International space station*

## 1. はじめに

いよいよ国際宇宙ステーション(ISS)の運用が始まろうとしており、ヒトは短期もしくは長期の宇宙滞在を行うことになる。また、米航空宇宙局(NASA)は2015年をめどに火星への有人飛行(往復で約2年)を行う計画をたてており、かつて無いほどの宇宙環境(微小重力環境)に曝露されることになる。このような長期の宇宙滞在時には、初期にみられる「宇宙酔い」のみならず、血液循環の調節喪失、有酸素運動能力の低下、

筋骨格系の調節障害、感覚運動系遂行能力の変容等(これらを総称して宇宙デコンディショニングと呼ぶ)がみられることが予想され、これらは宇宙船運航中・船外活動中・遠隔操作時の感覚運動系遂行能力不全などの危険が伴う可能性が生ずる。実際の宇宙飛行ではフライトの機会が限られているため、これらの宇宙デコンディショニングを予防すべく、地上での模擬宇宙環境実が世界各国において行われている。模擬宇宙環境実験中の対抗措置としては、これまでに

トレッドミル歩行、自転車漕ぎ、ボート漕ぎ、人工重力負荷などが用いられているが、循環器系のみには有効であるなど、単一の系にしか有効でないものがほとんどであり、宇宙デコンディショニングを完全に予防するには至っていない。さらには食餌療法や薬剤治療なども併用されているがやはり不十分であったことから、総合的な宇宙デコンディショニングに対する対抗措置プログラムを確立する必要がある。岩瀬らは、宇宙デコンディショニングを軽減する対抗措置として、棒状回転体を回転させることによって得られる遠心力を利用した人工重力負荷装置に下肢のエルゴメータを組み合わせた運動負荷装置を提唱し、模擬宇宙実験(20日間の $-6^\circ$ ヘッドダウンベッドレスト)時にこの装置を用いて対抗措置を行わせた群と対照群(対抗措置を行わせない)を比較・検討した(図1)。



Fig.1 Manufacture of short radius centrifuge with ergometer in Aichi Medical university.

その結果、20日間の $-6^\circ$ ヘッドダウンベッドレストの期間中に、人工重力負荷(心臓レベルで1.2G)とエルゴメータ運動負荷(60W)の組み合わせが、模擬微小重力曝露に伴うほとんどの系の宇宙デコンディショニングを予防することを明らかにした<sup>1-3)</sup>(表1)。

Table 1. The effect of artificial gravity of 1.4 G with ergometric exercise of 60 W as a countermeasure against space deconditioning.

デコンディショニング	症状	効果
心・循環系	起立耐性低下	改善
筋・骨格系	抗重力筋委縮	一部改善
骨代謝系	骨量の減少	改善
体温調節系	脱水	改善
内分泌系	血中 Nad 活性上昇	改善

## 2. ISSに搭載予定の人工重力負荷+運動負荷装置

岩瀬らの提唱した「ヒトにおける宇宙飛行デコンディショニングに対する対抗措置としての人工重力とエルゴメータ運動」は、2009年にJAXA(宇宙航空研究開発機構)が公募した「国際公募ライフサイエンスおよび宇宙医学分野;国際宇宙ステーション利用実験テーマ」に採択され、岩瀬をPIとする国際チームが結成された。本テーマが採択されて以降、NASA(アメリカ航空宇宙局)がISS内での人工重力+運動負荷装置の運用施設提供し、ESA(欧州宇宙機関)がISS内で運用可能な人工重力+運動負荷装置を作成することとなった。岩瀬らの要求とISS内での人工重力+運動負荷装置の運用施設の広さを考慮した結果、ESA側から提案された人工重力+運動負荷装置は半径1.4mで作成されることになった(図2)。

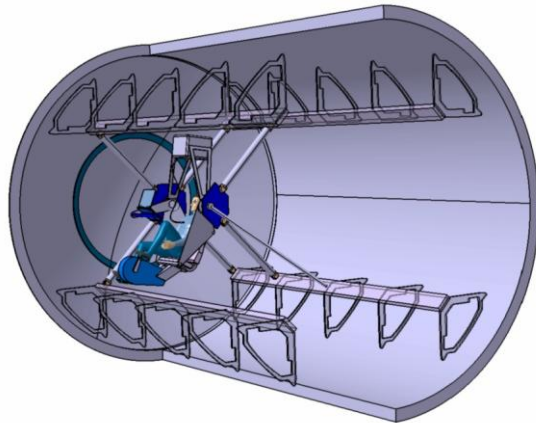


Fig.2 Manufacture of short radius centrifuge with ergometer on the ISS.

### 3. 地上実験としての人工重力負荷+運動負荷装置の改良

ESA 側が提案した ISS 搭載予定の人工重力+運動負荷装置は、我々がこれまで使用してきた人工重力+運動負荷装置と比べてより小型であることから、我々が保有するこれまでの研究

結果では十分とはいえず、ESA 側が提案する人工重力+運動負荷装置と同様のディメンションに改良することが必要となった(図3)。

改良された人工重力+運動負荷装置は、身体を固定するリクライニングシートを回転体に装着し、回転中心を眼前 20cm 程度に保持し、上を向いて横方向へ回転する。これは地球上においては宇宙の無重量状態と異なり、回転方向と求心力方向と重力方向は互いに垂直になっていなければ、コリオリ力により被験者にめまい感が生ずるからである。今後、この改良型人工重力+運動負荷を行わせた際の基礎的データを採取するために、以下のプロトコルでの地上実験を施行する。

1. 被験者に心電図、血圧、インピーダンス測定用センサを装着し、改良型人工重力+運動負荷装置内にて安静状態を 10 分間保たせる。
2. 初期設定を人工重力負荷 1.2G および運動負荷 60W に設定し、開始 1 分後に設定値に

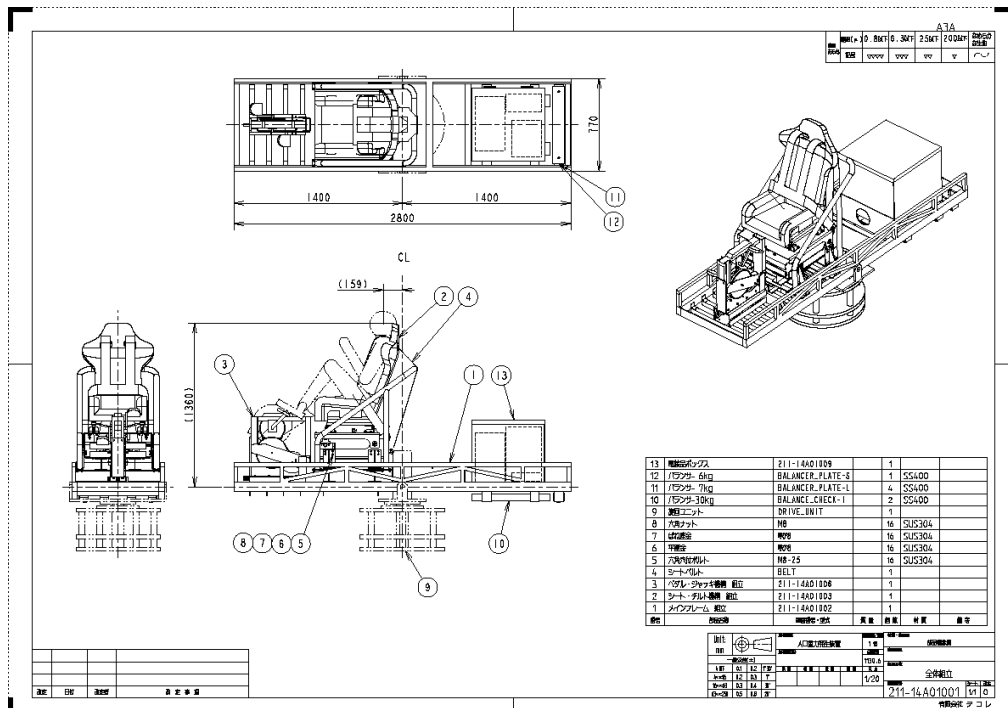


Fig.3 Design of the refinement short arm centrifuge device with ergometer in the Aichi Medical University.

なるように負荷を徐々に上昇させる。

3. 10 分間の人工重力負荷+運動負荷を完遂できた場合、被験者の許可を経て更に 10 分間の人工重力負荷+運動負荷を行わせる。
4. 人工重力負荷+運動負荷中に被験者から中止の要請のあった場合や、急激な除脈や血圧の低下 (NASA の中止基準) がみられた場合は直ちに装置を停止させ、十分な休息を取らせる。
5. 10 分間の人工重力負荷+運動負荷を完遂できなかった被験者の内、再度、遠心負荷+運動負荷を行うことを承諾した被験者は、再び人工重力負荷+運動負荷を行わせる。

### 3. 来年度の地上実験予定

岩瀬らは、来年度 (2012 年) にベッドレスト実験を企画している。これまで我々が推奨してきたプロトコール (1.2G の重力負荷と 60W のエルゴメータ運動の組み合わせを、ベッドレスト期間中に連日行わせる) を改良型の人工重力負荷+運動負荷装置を用いて行わせることにより、宇宙デコンディショニングに対する対抗措置として有用であるか否かを検証する。もし、同様の効果が得られないとしたならば、ESA 側の提案する装置にさらなる改良を加えるための基礎的データとする。

### 参考文献

- 1) 西村直記、岩瀬敏、菅屋潤壹、清水祐樹、高田真澄、櫻井博紀、犬飼洋子、佐藤麻紀、Dominika Kanikowska、鈴木里美、渡邊順子、石田浩司、秋間広、片山敬章、平柳要、塩沢友規：模擬微小重力曝露に伴う心循環系デコンディショニングに対する人工重力および運動負荷の有効性。Space Utiliz Res.,25 : 108-110, 2009
- 2) Satoshi Iwase, Junichi Sugeno, Naoki Nishimura, Maoki Sato, Yuuki Shimizu, Dominika Kanikowska, Yoko Inukai, Hiroki Takada, Masumi Takada, Tadaaki Mano, Koji

Ishida, Hiroshi Akima, Keisho Katayama, Kaname Hirayanagi, Tomoki Shiozawa, Kazuyoshi Yajima, Yoriko Watanabe, Satomi Suzuki, Tetsuo Fukunaga, Yoshihisa Masuo: Effectiveness of artificial gravity and ergometric exercise as a countermeasure – comparison between everyday and everyother day protocols. Space Utiliz Res.,25 : 114-115, 2009

- 3) 西村直記、岩瀬敏、塩沢友規、菅屋潤壹、清水祐樹、高田真澄、犬飼洋子、佐藤麻紀、Dominika Kanikowska、鈴木里美、石田浩司、秋間広、片山敬章、増尾善久、間野忠明：模擬微小重力曝露後の骨代謝デコンディショニングに対する対抗措置の有効性。Space Utiliz Res.,26 : 122-124, 2010