

## 予備呼吸不要な船外活動用宇宙服の開発

田中 邦彦, 間野忠明 (岐阜医療科学大学)

### Development of a space suit for extravehicular activity with no need for pre-breathing.

Kunihiko Tanaka, Tadaaki Mano

Gifu University of Medical Science, Seki, Gifu 501-3892

E-Mail: ktanaka@u-gifu-ms.ac.jp

**Abstract:** Current extravehicular mobility unit (EMU) is pressurized at 0.29 atm. With this low pressurization, pre-breathing is needed to avoid decompression sickness. Higher pressure is safer but the mobility should be sacrificed due to pressure differential between inside and outside of the suit. Recently, we have developed and demonstrated that gas-pressurized elastic glove has larger mobility compared to non-elastic glove as used in current EVA suit. Furthermore, the mobility of the glove with pressure differential of 0.65 atm, which is not needed pre-breathing, was significantly higher than that of non-elastic glove likely the current EMU. According to the result, we are developing elastic whole body suit for extravehicular activity.

**Key words:** decompression sickness, mobility, elasticity, hard suit

我々が通常生活している地上は 1 気圧である。成分は主として窒素 79%、酸素や 21% でありそれぞれ分圧として 0.79 気圧、0.21 気圧となる。宇宙ステーション内部は同様の組成で 1 気圧に与圧されているため、地上同様に呼吸ができ、減圧症あるいは酸素中毒といった気圧変化による不調をきたすことはない。しかし外部の宇宙空間は高度真空であるため、船外での活動に際しては宇宙服を着用しなければならない。宇宙服内部の圧力を地上、あるいはステーション内部同様の組成で 1 気圧に与圧すれば気圧変化に伴う不調をきたすことはない。このとき、与圧はヘルメット内部のみならず、身体にも同様に行わなければ、血管内あるいは間質に気泡が生じ減圧症を引き起こす。特に分圧の高い窒素による減圧症は酸素のそれよりも早く生じる。しかし、服内部に与圧すると、外部との圧較差によって服は膨張し、可動性が低下する。かつてこの服内外の圧較差による過膨張を防止すべく、潜水服のような硬い金属性のハードスーツが試作された<sup>1,2)</sup>。これらのスーツは金属部品による成型がなされているため与圧による変形を認めず、また関節の可動域も十分得られた。しかし、変形しないがために、輸送容量が限られている宇宙船への収納が困難であった。そこで、与圧していない際には容易に変形させる事が可能である布などの柔軟素材を使用したソフトスーツが製作され、現在も使用されている。しかし、ハードスーツのような可動のための部品を使用していないため膨張すると可動域が制限されるのみならず、動作に多大な労力を要する。肘関節部部分にわずかにフラットパターンと呼ばれるジャバラ様の折り込みをつけ、過

膨張を防ぐべくテープで固定はしてあるが、与圧時には変形してしまうため可動性が制限を受けている状態である。したがってソフトスーツの可動性を高めるためにはスーツ内外の圧較差が小さい方が好ましい。現在アメリカ航宇宙局 (NASA) で用いられている船外活動用宇宙服 (Extravehicular Mobility Unit、以下 EMU) は服内部を純酸素で 220 mmHg (0.29 気圧) に与圧している<sup>3)</sup>。この圧は、酸素分圧としては地上よりも高く、十分な圧であるといえるが、地上および宇宙船内 1 気圧に比較して非常に小さく、減圧症を引き起こす危険が高いため飛行士は船外活動にあたって約 24 時間もの予備呼吸を行い、血中ならびに組織中の窒素を排出する必要がある<sup>4)</sup>。このような低圧であっても前述のように外部の高度真空との圧較差によって服は膨張し、動作に対する抵抗増大ならびに可動域の低下を来している。

これまでに我々は現行の EMU のような非伸縮性の素材とは異なり、伸縮性素材を用いることで、ソフトスーツであっても可動性が改善できるのではないかと考え、独自に船外活動用グローブを試作し、その有用性を証明してきた<sup>5,6)</sup>。伸縮性素材で編成したグローブは内外圧較差 0.29 気圧において、現行の EMU のような非伸縮性グローブと比較して最大握力、第 3 指可動域、握力持続時間ともに有意に優れていた。可動性が良好であるなら、低い与圧にする必要なく、高い与圧で減圧症の危険性を小さくすることができると考えられる。

予備呼吸を行わずとも減圧症を引き起こさない最低限度の与圧についてはいくつかの報告があるが、もっとも客観的な報告の一つに Webb らの報告があ

る<sup>7, 8)</sup>。彼らの報告によれば、減圧症の自覚症状が現れる以前に血中にはすでに気泡が発生すること、最低限度の与圧は0.65気圧であること、与圧に際しては酸素・窒素混合気よりも純酸素の方が、安全性が高いことなどを報告している。そこで我々は新たな伸縮性素材を用いて圧較差0.65気圧の船外活動用グローブを製作し、その可動性を検討した<sup>9)</sup>。その結果、可動域は非伸縮性0.29気圧のグローブと有意な差をみとめなかったが、指屈曲に必要な筋力は、非伸縮性0.29気圧のグローブよりも伸縮性0.65気圧の方が有意に小さく、すくない労力で動作することを証明した。

この結果をもとに、頭部と足部以外の全身を伸縮性素材で構成した、あらたな船外活動用宇宙服を作成した(図1)。



図1 伸縮性素材による宇宙服

現在、与圧を徐々に上昇させつつ、関節可動域の検証ならびに可動性をより向上させるための付属装置を作成・検証を行っている。

#### 参考文献

- 1) Litton Industries. Modification of RX-5 hard suit assembly. NASA-CR-102166, 1969.
- 2) Loewenthal, Stuart; Vykukal, Vic; Mackendrick, Robert; Culbertson, Philip, Jr. AX-5 space suit bearing torque investigation The 24th Aerospace Mechanisms Symposium; p 301-312, 1990.
- 3) Jordan NC, Saleh JH, Newman DJ. The extravehicular mobility unit: A review of environment, requirements, and design changes in the US spacesuit. Acta Astronautica. 2006 59:1135 - 1145.
- 4) McBarron JW, 2nd. U.S. prebreathe protocol. Acta Astronaut. 1994 Jan;32: 75-8.
- 5) Tanaka K, Abe C, Iwata C, Yamagata K, Murakami N, Tanaka M, et al. Mobility of a Gas-pressurized Elastic Glove for Extravehicular Activity. Acta Astronaut. 2010;66:1039 - 43.

- 6) Tanaka K, Tohnan M, Abe C, Iwata C, Yamagata K, Tanaka M, et al. Development and evaluation of gas-pressurized elastic sleeves for extravehicular activity. Aviat Space Environ Med. 2010 81:671 - 676.
- 7) Webb JT, Olson RM, Krutz RW, Jr., Dixon G, Barnicott PT. Human tolerance to 100% oxygen at 9.5 psia during five daily simulated 8-hour EVA exposures. Aviat Space Environ Med. 1989; 60: 415 - 421.
- 8) Webb JT, Pilmanis AA. Breathing 100% oxygen compared with 50% oxygen: 50% nitrogen reduces altitude-induced venous gas emboli. Aviat Space Environ Med. 1993; 64: 808 - 812.
- 9) Tanaka K, Ikeda M, Mochizuki Y, Katafuchi T. Mobility of an elastic glove for extravehicular activity without prebreathing. Aviat Space Environ Med. 2011 82: 909 -912