

# 船内フリーフライヤーの地上実験システムの開発

## Development of a Ground Experimental Setup for Intra-Vehicular Free-Flyer

佐瀬泰弘\*, 駒井稔久\*, 横浜真誠\*, 葛西昭治\*, 妻木勇一\*,  
Dragomir Nenchev\*\*

Yasuhiro Sase\*, Toshihisa Komai\*, Mami Yokohama\*, Shouji Kasai\*, Yuichi Tsumaki\*,  
Dragomir Nenchev\*\*

\*弘前大学, \*\*武蔵工業大学

\*Hirosaki University, \*\*Musashi Institute Technology

キーワード: 宇宙ロボット (space robot), 国際宇宙ステーション (international space station), 船内フリーフライヤーシステム (intra-vehicular free-flyer system), テレロボティクス (telerobotics)

連絡先: 〒036-8561 弘前市文京町3番地 弘前大学工学部知能機械システム工学科  
妻木勇一, Tel.: (0172)39-3686, Fax.: (0172)39-3686, E-mail: tsumaki@cc.hirosaki-u.ac.jp

### 1. はじめに

宇宙開発において人間の作業を支援, 代行する宇宙ロボットへの期待は大きく, いくつかのロボットシステムはすでに実用化されている. しかし, これまで主に開発, 研究が行われてきたのは, 宇宙飛行士にとって危険が大きい船外活動を支援するロボットであった. 一方, 軌道上の宇宙飛行士の人手不足が深刻な問題となってきた. 例えば, 国際宇宙ステーションに常時滞在できる宇宙飛行士の数は NASA の予算削減のあおりを受け削減された<sup>1)</sup>. このため, 船内活動を支援するロボットも今後重要な役割を担うことが予想される. 船内活動支援ロボットに関してはこれまでいくつかの研究例があるが, そのほとんどが船内に設置された多軸のマニピュレータシステムを用いたものであった. しかし, 宇宙飛行士と同じ空間を共

有しなければならない船内でこのようなロボットシステムの使用は安全性の点で大きな問題がある.

一方, 現在 NASA において PSA (Personal Satellite Assistant) と呼ばれる船内で活動する自由飛行型の小型ロボットの研究が進められている<sup>2)</sup>. 小さなロボットを使用することで安全性を確保しているが, PSA が対象とする作業は情報の取得, 呈示といった非接触作業に限られている.

これまで我々は宇宙船内において宇宙飛行士を支援する船内フリーフライヤーシステム (Intra-Vehicular Free-Flyer System, IVFFS) と呼ぶロボットシステムを提案してきた<sup>3)4)</sup>. 概念図を Fig. 1 に示す. 現在までに IVFFS のひとつの形態として Space Humming Bird (SHB) と呼ぶロボットの検討を行っている. SHB は PSA と同様に宇宙船内において自由飛行が可能で, かつ簡単なマニピュ

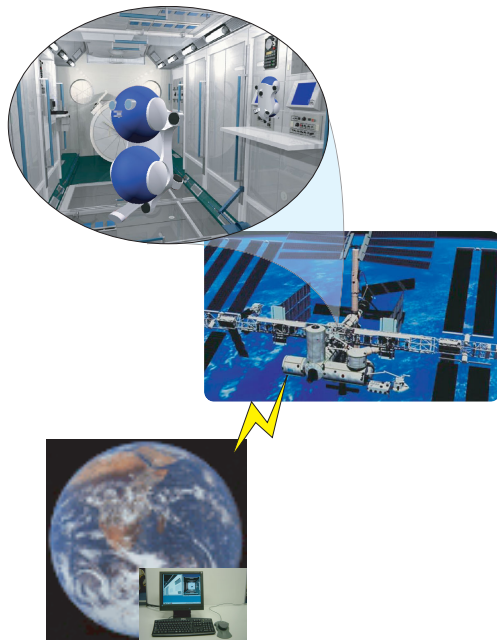


Fig. 1 Concept of the IVFFS.

レーション機能により非接触作業のみならず接触作業も行える小型ロボットである。本論文では、このロボットシステム IVFFS の妥当性を検討するために新たに設計、開発した地上実験システムについて報告する。

## 2. 船内活動支援用ロボット

現在検討中の SHB の概観を Fig. 2 に示す。また、SHB の特徴を以下に示す。

- プロペラを用いた推進システムの採用
- 全身を用いたマニピュレーション機能の実現
- 吸盤を用いた壁面への吸着
- 地上からの遠隔操作による運用

船内は与圧されているため、空気が存在しプロペラにより推進可能である。すなわち、電気エネルギーだけで推進できる。しかも、微小重力下であるため低出力のプロペラ推進で十分と考えられる。プロペラの配置に関しては、当初、可動式 5 自由度の推進機構を検討していたが、機動性を向上さ

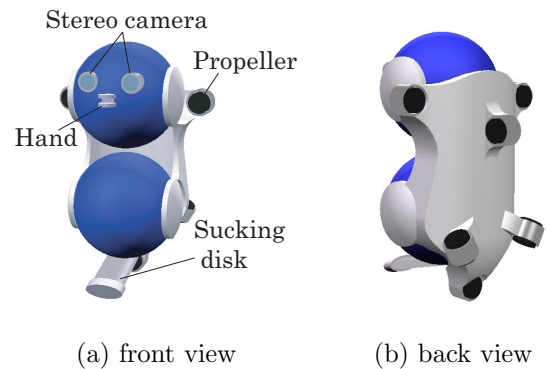


Fig. 2 A model of the SHB.

せるため Fig. 2 に示すような 6 個の固定式プロペラの検討を行っている。

一方、SHB の特徴の一つに、全身を用いたマニピュレーション機能が挙げられる。これは、構造を簡単にとすること、小さなサイズで比較的大きな作業領域を確保するためである。しかし、自由飛行中のマニピュレーションは、作用反作用の影響を受けるため、連続的な接触力を実現することは困難である。そこで、SHB では吸盤を用いて体の一部を壁面等に固定することを検討している。吸盤が利用可能なことも与圧された船内ならではの機能と言える。

SHB の自由度は、性能および全体の大きさを考慮すると、できるだけ簡易な構成が望ましい。Fig. 3 に自由度配置の例を示す。自由飛行ロボットであるため、壁との固定部を自由に選ぶことができれば、 $q_1 \sim q_3$  の関節があればマニピュレータとしての自由度は十分と考えられる。ただし、スイッチを回すような作業が必要であれば  $q_4$  の関節が必要になる。また、固定部を回転する  $q_5$  を加えることで作業領域を大きく確保することができる。

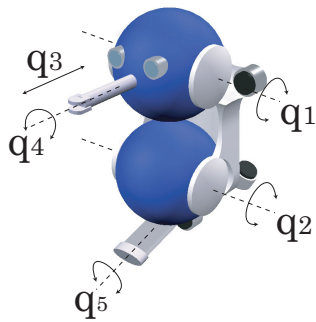


Fig. 3 Distribution of degrees of freedom.

### 3. 地上実験システム

上述した，SHB の各機能の妥当性を検討するために，地上実験システムを構築した．想定している実験内容を以下に示す．

- プロペラ推進技術の確立と妥当性の検証
- 吸盤を用いた固定機能の妥当性の検証
- マニピュレーション技術の検証と遠隔操作システムの構築

このような検証が可能な実験システムとして，エアベアリングを用いた平面微小重力シミュレータを構築した．土台には， $1000 \times 1000$  [mm] のグラナイト精密石定盤を用い，その周りに宇宙ステーション内を模したパネルを設置した (Fig. 4)．パネルには，3種類のスイッチ（ロッカースイッチ，押しボタンスイッチ，トグルスイッチ）と1枚の扉が配置されている．全体の外観を Fig. 5 に示す．

### 4. ロボット本体

実験用 SHB の外観を Fig. 6 に示す．ロボット本体は，バッテリー，ポンペを搭載し，ワイヤレス通信により操作用コンピュータと交信する．ビデオ信号も無線で飛ばすことにより，本体はワイヤレスで稼働できる．軽量化のため，空気用ポンペは医療用 FRP 製を用いた．Table 1 に重量，Fig. 7 に

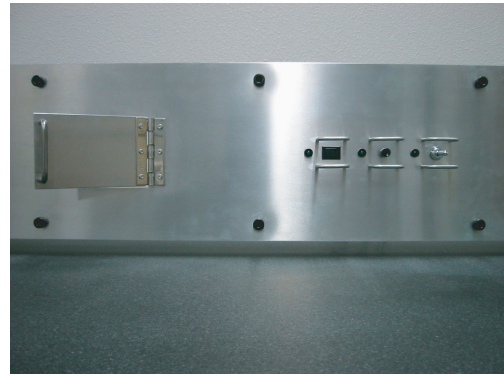


Fig. 4 Overview of the panel.

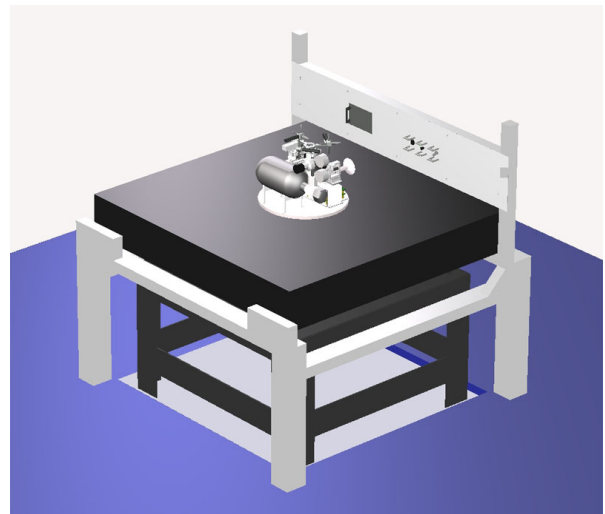


Fig. 5 Overview of the experimental setup.

ロボット本体の大きさと，自由度配置を示す．移動用として固定された3個のプロペラを持ち，マニピュレーション用に2自由度の回転関節 ( $q_1, q_2$ ) と1自由度の直動関節 ( $q_3$ ) を有する．更に，壁面固定用の吸盤と，吸盤内の気圧を制御する直動機構 ( $q_4$ ) を持つ．したがって，全体で7個のモータを使用している．なお，エアパッドの直径は300 [mm] で，厚さは10 [mm] である．Table 2 に仕様を示す．

#### 4.1 頭部

頭部はマニピュレーション時に伸縮する手先の直動関節と回転関節の2自由度を持つ．手先の設計図を Fig. 8 に示す．直動関節にはボールネジを使用する．CCD カメラにはステレオ視が可能なよ

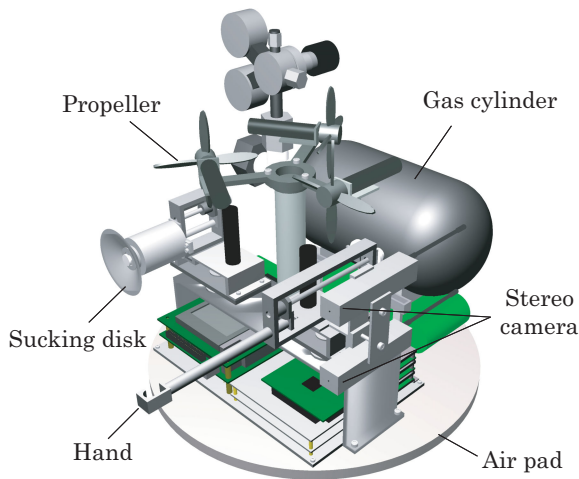


Fig. 6 Overview of the prototype model.

Table 1 Weight of the prototype model.

	weight
Body	1,800 [g]
Air pad	1,900 [g]
Gas cylinder	1,650 [g]
Battery	1,150 [g]
total	6,500 [g]

うにカメラを2つ設置する。人の目の間隔が約60 [mm] なので、同じように60 [mm] の間隔をあげて縦に設置した。また単眼視もできるように、真中に装着する事も可能である。

## 4.2 固定部

吸盤を使用した固定部の設計図を Fig. 9 に示す。吸盤内の気圧を変化させることで、固定、離脱を行う。構造は注射器を真似たもので、ピストン運動にはボールネジを用いる。吸盤の中心が手先の高さと同じになるように、設計した。

## 4.3 プロペラ

移動用の3つのプロペラは、Fig. 10 のように120 [deg] 間隔で配置することで、前後、左右の並進運動と垂直軸周りの回転運動を実現させる。1

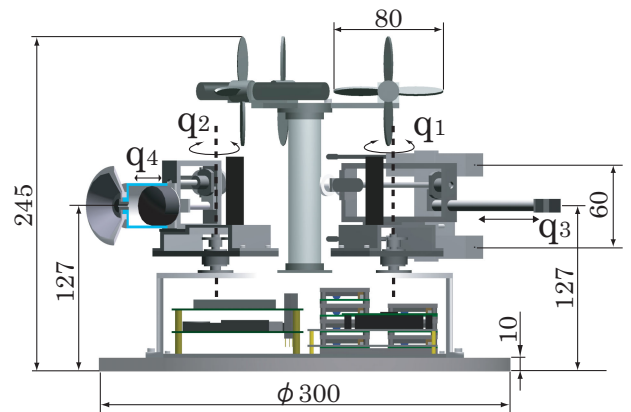


Fig. 7 Assembly drawing of the prototype model.

Table 2 Specifications of the prototype model

item	specification
D.O.F	7
Motion range of the head	-90 ~ 90 [deg]
Stroke of the hand	84 [mm]
Motion range of the sucking disk	-90 ~ 90 [deg]

つのプロペラには4つの羽がついており、逆回転しても正転時と同じ風力が出力されるように、平らで左右対称な羽を設置した。

## 4.4 システム

システム概観を Fig. 11 に示す。地上に設置された操作用 PC からワイヤレス LAN 経由でロボット本体の SBC (Single Board Computer) に指令が送られる。SBC は、マイクロプロセッサ H8 を使用した制御回路にシリアル通信で指令を与え、Titech ドライバを介してモータが駆動される。SBC の OS にはリアルタイム OS である RT-Linux を使用する。ロボットからの映像は、直接無線で受信機に送信され、ビデオキャプチャカードにより、操作用 PC に取り込まれる。

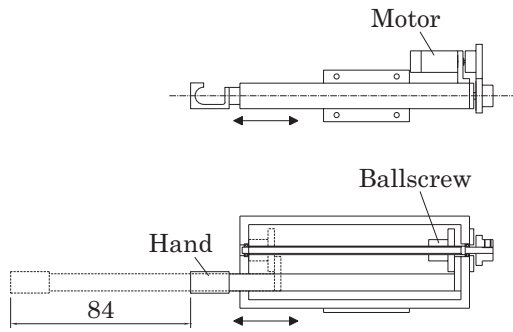


Fig. 8 Assembly drawing of the hand.

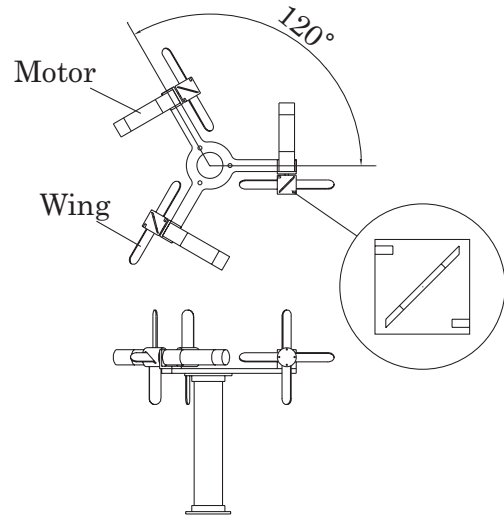


Fig. 10 Assembly drawing of a propulsion unit.

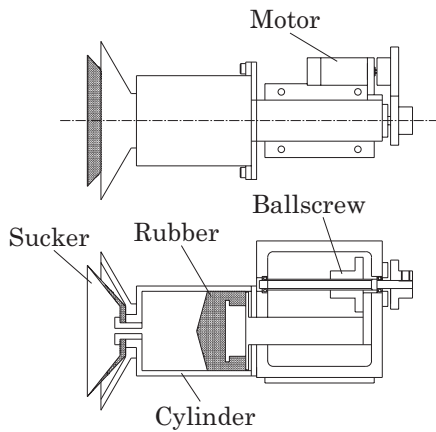


Fig. 9 Assembly drawing of the sucking device.

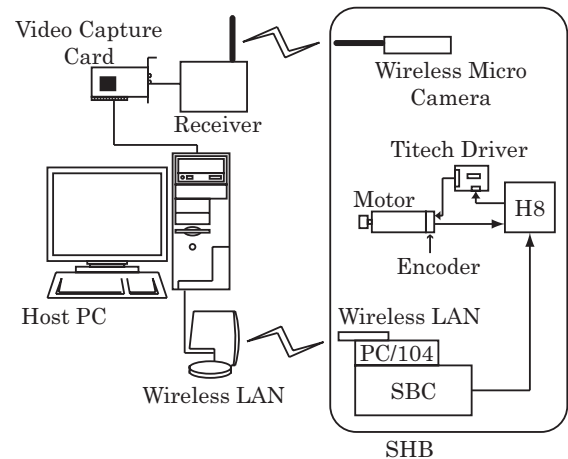


Fig. 11 Control system.

## 5. まとめ

これまで提案してきた IVFFS について技術的妥当性を検討するため、地上実験システムを構築し、平面微小重力シミュレータを設計、開発した。開発したロボットは、ワイヤレスで駆動できるため、微小重力下における平面運動のシミュレーションを精度良く実現することができる。今後、本システムを用いて要素技術の開発と検証を行っていく予定である。

なお、本研究は、(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行われた。

## 参考文献

- 1) E. Camhi, "Rescuing the CRV," Aerospace America, No. 9, p. 3, September, 2001.
- 2) <http://ic.arc.nasa.gov/ic/projects/psa/>
- 3) 妻木勇一, Dragomir Nenchev, 船内フリーフライヤーシステム, 第 45 回宇宙科学技術連合講演会講演集, pp. 787-790, 2001.
- 4) Y. Tsumaki, M. Yokohama, D. N. Nenchev, Intra Vehicular Free-Flyer System, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2547-2552, 2003.