

RoboCup JapanOpen @Space Challengeの構想

— ISS 船内を模倣した自律ロボット競技の提案 —

○萩原 良信（創価大） 池田 勇輝（JAXA） 岡田 浩之（東京情報デザイン専門職大学）
西野 順二（玉川大） 稲邑 哲也（玉川大） 大井 翔（大阪工大）

RoboCup JapanOpen における新たな試みとして、国際宇宙ステーション（ISS）船内を模擬した環境で実施する「@Space Challenge」を構想している。この競技では、自律ロボットによる宇宙飛行士支援タスクの自動化・自律化を対象とする。初回は JAXA が提供する Gazebo シミュレータを用いて実施し、将来的には ISS 実機（Int-Ball2）での競技も計画する。本競技を通じ、関連技術の普及・教育・発展を促進し、新たな研究コミュニティの形成を目指す。

1. はじめに

宇宙空間における作業効率化と安全性向上のため、自律型ロボットの導入が期待されている。特に、国際宇宙ステーション（ISS）内で運用されている JAXA の「Int-Ball」シリーズは、宇宙飛行士の撮影作業支援や作業記録の自動化を目的とした先進的なロボットであり、無重量環境下における Visual SLAM による自己位置推定、プロペラによる姿勢制御、および自律ドッキング機能などを実装している。最新機種である Int-Ball2 [1] では、ROS ベースによる制御・誘導・航法のモジュールを備えており、軌道上における先進的な技術実証プラットフォームとしての役割を担っている。

一方、地上では、ロボット工学および人工知能の研究促進を目的とした世界的な競技会である RoboCup [2] が開催されており、サッカー、レスキュー、家庭内支援、産業応用といった多様な分野を対象とするリーグが存在する。RoboCup は、実環境における自律制御、協調行動、認識・推論能力の統合的な評価環境として、国際的に高く評価されてきた。

本発表では、宇宙と地上の技術的接続点としての新たな競技構想「RoboCup JapanOpen @Space Challenge」を提案する（図 1）。本競技は、ISS 船内環境を模倣したフィールドにおいて、撮影支援タスクを自律的に実行するロボットの性能を評価するものであり、Visual SLAM、物体認識、疑似的な無重量環境における移動制御、障害物回避、自律帰還といった要素技術の統合的検証が可能である。本稿ではこの競技の構想と設計方針、想定される技術課題、およびその学術的・応用的意義について述べる。



図 1 @Space Challenge の提案

2. 競技の構想

2.1 概要

RoboCup JapanOpen @Space Challenge は、宇宙飛行士の撮影業務を支援する自律型飛行ロボットの性能評価を目的とした競技であり、ISS 船内環境を模擬した物理的・認知的タスクを通じて、宇宙ロボティクスにおける基盤技術の実証を試みるものである。本競技では、Int-Ball2 が実環境で直面している課題をモデル化し、無重量環境に近似した条件下における自律移動・認識・行動計画の統合性能を評価する。

2.2 Int-Ball2 とシミュレータ

Int-Ball2（図 2）は、ISS「きぼう」日本実験棟内での作業支援を目的として開発された球形自律飛行ロボットであり、8 基のプロペラを用いた三次元的な位置および姿勢制御が可能である。搭載されるナビゲーションカメラにより Visual SLAM を用いた自己位置推定を行い、マイクおよびメインカメラにより映像・音声情報を取得する機能も備える。本機は、ROS 上で制御可能なプラットフォームとして設計されており、軌道上実証用のハードウェアとシミュレータ環境が共に提供されている。

JAXA は、Int-Ball2 の動作検証およびアルゴリズム開発を目的として、図 3 のような ROS 環境上で動作する公式シミュレータを公開している¹。このシミュレータは、Gazebo を用いて無重量環境を模擬しており、ロボットの三次元的な位置・姿勢制御、Visual SLAM による自己位置推定、および対象物体の検出といった機能を仮想空間内で再現可能である。開発者は、実機と同様のインタフェースを用いて、飛行経路の設計、障害物回避アルゴリズムの検証、およびドッキング制御などを地上で事前に検討できる。



図 2 Int-Ball2 の概要（文献 [1] より）

¹https://github.com/jaxa/int-ball2_simulator

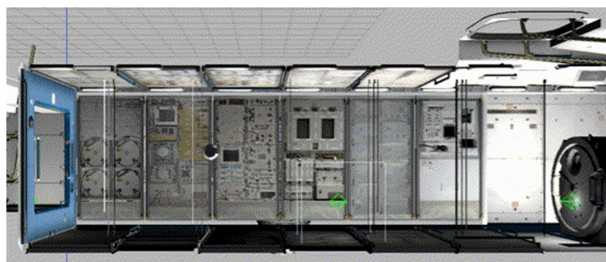


図3 Int-Ball2 Simulator の実行画面

2.3 競技タスク

構想中の競技タスクの概要を図4に示す。具体的な競技タスクは以下の3ステップから構成される。

- (1) **目標位置への自律移動：**
競技空間内に配置された障害物（模擬宇宙飛行士や機材）を回避しながら、事前に提示された目標座標に自律的に到達する。
- (2) **複数視点からの撮影：**
到達地点で対象物体を認識し、複数の角度から画像を取得する。対象は静的な物体に限らず、動的に変化する場合も想定される。
- (3) **ステーションへの自律帰還：**
ミッション終了後に自己位置および姿勢を推定し、自律的にドッキング位置まで安全に帰還する。

これらの一連のタスクは、Visual SLAM による自己位置推定、障害物回避アルゴリズム、画像認識、軌道制御、状態遷移管理など、複数の高度な知覚・行動機能の統合を前提として設計されており、システムアーキテクチャ全体の総合的な検証が可能となる。また、得点評価は各ステップごとの成功率（目標到達、認識精度、帰還成功など）および行動経路の最適性に基づき定量的に行われる。本競技は、既存の Kibo Robot Programming Challenge (Kibo-RPC) と異なり、研究者主体による課題設定と地上での自由な開発環境を特徴とし、研究ベンチマークとしての活用や技術交流のプラットフォームとしての発展が期待される。

3. 想定される技術課題

本競技において想定される主要な技術課題は、ISS 船内環境に類似した環境における自律飛行ロボットの制御・認識機能の統合的性能検証にある。特に、Visual SLAM、物体検出、経路計画、ドッキング、インタラクションといった要素技術において、以下のような技術的チャレンジが存在する。まず、Visual SLAM を用い

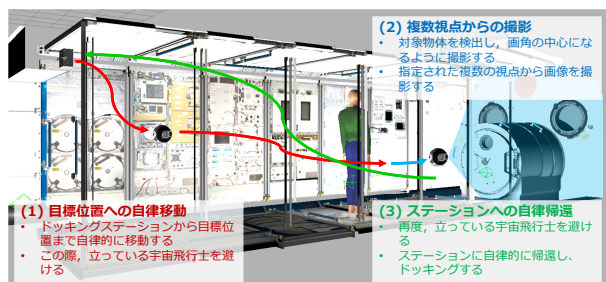


図4 構想中の競技タスクの概要

た自己位置推定に関しては、視覚特徴の乏しい環境や移動体により誤差の蓄積が顕著となり、特にドッキング動作や撮影時の位置ずれが課題となる。次に、動的・静的障害物を含む環境下での経路計画と障害物回避も重要な課題である。特に、ISS 環境を模擬した競技空間では、空中を浮遊する物体や模擬宇宙飛行士といった移動対象が存在し、これらをリアルタイムに検出・予測しながら最適な回避行動を取る必要がある。また、対象物体の画像認識と追跡においては、撮影対象の形状や見え方の変化、浮遊状態による姿勢変化に対処するため、ロバストなマルチビュー認識が求められる。加えて、撮影完了後のドッキング帰還時には、自己位置・姿勢推定誤差を補正しつつ高精度にステーションへ戻るための制御が要求される。さらに、宇宙飛行士との協調作業を模擬する将来拡張においては、音声認識や自然言語による指示理解といったヒューマンインタラクション機能の導入も課題となる。以上の課題は、競技参加者に対し、視覚認識・ナビゲーション・制御工学・ヒューマンロボットインタラクションといったロボティクス分野の横断的スキルを要求するものであり、本競技が技術実証および研究開発の共通ベンチマークとしての価値を有することを示している。

4. おわりに

本稿では、RoboCup JapanOpen における競技構想「@Space Challenge」について述べた。本競技は、ISS 船内を模擬した環境において、自律飛行ロボットによる撮影支援タスクを通じて、Visual SLAM、物体認識、障害物回避、ドッキング帰還といった要素技術の統合的な性能評価を目的とする。既存の教育的競技である Kibo-RPC とは異なり、研究者主体で課題設計が行える研究フィールドとして位置付けられる。これにより、宇宙ロボティクス分野における技術の宇宙転用の検証や、基盤技術の実証的研究の促進が期待される。本競技の詳細は GitHub Organization²に公開予定である。今後は、本競技を通じたベンチマークデータの整備、ロボティクス研究者間の技術交流の活性化、さらには RoboCup 世界大会やジュニア競技との連携による教育的展開も視野に入れている。また、JAXA が提供する ROS ベースのシミュレータや実機を活用することで、実世界に即した開発・評価環境の構築も可能となる。本競技が、宇宙ロボティクス技術の発展と新たな研究コミュニティ形成のきっかけとなることを期待する。

参考文献

- [1] D. Hirano, S. Mitani, K. Watanabe, T. Nishishita, T. Yamamoto, and S. P. Yamaguchi, “Int-ball2: On-orbit demonstration of autonomous intravehicular flight and docking for image capturing and recharging,” *IEEE Robotics Automation Magazine*, pp. 2–14, 2024.
- [2] H. Kitano, M. Asada, Y. Kuniyoshi, I. Noda, E. Osawai, and H. Matsubara, “Robocup: A challenge problem for ai and robotics,” in *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup I*, H. Kitano, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998, pp. 1–19.

²<https://github.com/RoboCupAtSpaceJP>