

プログラム名： タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名： 田所 諭

プロジェクト名：ロボットプラットフォーム 及び ロボットインテリジェンス

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 28 年 度

研究開発課題名：

タフな索状ロボットおよび極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

研究開発機関名：

国立大学法人 京都大学

研究開発責任者

松野 文俊

## I 当該年度における計画と成果

### 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

1. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発
  - (a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発
    - 汎用ヘビ型ロボットのプロトタイプの改良
    - 環境適応制御系の開発
    - 耐故障性の高い制御システムの検討
    - 作業失敗の予防策に関する検討
  - (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発
    - 水陸両用ねじ推進ユニットの改良
    - 多連結モデルの開発および水陸両用制御システムの構築
  - (c) ムカデ型ロボット
    - ムカデ型ロボットプロトタイプの改良および遠隔操作インタフェースの開発
    - 自律制御アルゴリズムの開発
2. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発
  - (a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発
    - 環境に適したパラメータの最適化手法の開発
  - (b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェースの開発
    - テザー型 UAV のハードウェアの改良
    - ホバリングベース飛行モデルの構築とそれに基づく飛行制御系の開発
    - 水平移動飛行モデルを基にしたロバスト飛行制御系の開発
    - UAV 群の過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースの開発
  - (c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発
    - 過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースの改良
    - 本体の重心への指令による操作の実現
    - タンジブルなユーザインタフェースの開発
    - 生物の運動解析に基づいた転倒からのリカバリー法の開発
  - (d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェースの開発
    - VR 空間へのアバターの配置と視覚提示システムの改良
    - 複数台移動マニピュレータの制御法の構築
  - (e) 環境構築群ロボットの開発
    - 基材を環境へ噴射するロボットメカニズムの改良
    - 基材噴射メカニズムをロボットに搭載
    - 実験室環境での検証実験

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

#### ①. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発

##### (a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発

新たにミドルパワーヘビ型ロボットを開発し、東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された配管フィールドにて、動作検証を行った。また、耐故障性および作業失敗の予防策に関して、通信システムにエラー情報を収集する機能を実装し、故障検知の基本となるシステムを構築し、シミュレーションを実施した。

##### (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

流体力を考慮した動力学モデルを構築し、制御則を構築した。2 リンクの水中ねじ推進ヘビ型ロボットを製作し、水槽での実証実験を行った。

##### (c) ムカデ型ロボットの開発

不整地走行、壁登坂、パイプ昇降の3つのタスクを想定し、それぞれのタスクに合わせたプロトタイプロボットの改良を行った。東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された垂直壁環境で実証実験を行った。

#### ②. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

##### (a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

基本アルゴリズムの改良とシミュレーションによる検証を行った。

##### (b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェース

テザー給電ならびに UAV のハードウェアのプロトタイプを改良した。また、地面効果に関する基礎的な実験を実施した。

##### (c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

早稲田大学が開発している4脚ロボットに対して、過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示インタフェースを実装した。東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された瓦礫環境において、過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示インタフェースを用いた腹這い移動の遠隔操作を実現した。

##### (d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

VR 空間へのアバター配置と HMD への視覚提示を実現し、研究室内の環境で被験者実験を実施した。

##### (e) 環境構築群ロボットの開発

環境構築基材として発泡ウレタンを選定し、ロボットから射出する機構を改良し、基礎実験を実施した。

### 2-2 成果

#### ②. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発

##### (a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発

提案する軌道計画手法を適用し、配管の外側の移動に対して、螺旋捻転運動を適用するためのヘビ型ロボットの各関節角の時系列データの生成を実現した。東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された配管フィールドにて、配管の途中にフランジなどの障害物が存在する環境で、配管の外側を障害物乗り越えながら行動する実証試験を実施し、提案した制御系と開発したヘビ型ロボットシステムの有効性を示すことができた。

(b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

開発した 2 リンクの水中ねじ推進ヘビ型ロボットに流体力を考慮した制御系を実装し、水槽での実証実験を行った。実験結果より、提案制御則の有効性が示された。

(c) ムカデ型ロボットの開発

不整地走行、壁登坂、パイプ昇降の 3 つのタスクを想定し、それぞれのタスクに合わせたプロトタイプロボットの改良を行った。東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された凹凸のある垂直壁環境で実証実験を行い、吸着装置による環境への足先の固定に失敗した場合の復帰アルゴリズムが有効に働くことを検証した。

②. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

(a) 昆虫の採餌行動を基にした広域探査アルゴリズムの開発

基本アルゴリズムの改良とシミュレーションによる検証を行った。

(b) UGV との連携を考慮したテザー型 UAV の開発と UAV の操作インタフェース

テザー給電ならびに UAV のハードウェアのプロトタイプを改良した。また、地面効果に関する基礎的な実験を実施した。

(c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

早稲田大学が開発している 4 脚ロボットに対して、過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースを実装した。東北大学の ImPACT TRC 屋内フィールドに設置された瓦礫環境において、過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースを用いた腹這い移動の遠隔操作を実現した。

(d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

VR 空間へのアバター配置と HMD への視覚提示を実現し、研究室内の環境で被験者実験を実施した。

(e) 環境構築群ロボットの開発

環境構築基材として発泡ウレタンを選定し、ロボットから射出する機構を改良し、基礎実験を実施した。

## 2-3 新たな課題など

①. タフな索状ロボットとタフな索状用コントローラの開発

(a) タフな索状用コントローラの設計と汎用ヘビ型ロボットの開発

現場からの要求としてロボットの防塵防水防爆性があるが、現状では簡易的な防塵防水に留まっている。

(b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

2 リンクの場合、水中ねじ推進ヘビ型ロボットには特異姿勢が存在するので、特異姿勢回避が必須であるが、統一的な制御系設計方法の提案には至っていない。

②. 極限ヒューマンインタフェースのための極限制御システムの開発

(c) 脚ロボットのタフな制御系構築と操作インタフェースの開発

過去画像履歴を用いた俯瞰映像の提示インタフェースにはロボットの位置姿勢情報が必須であり、ノイズなどの外乱に対するロバスト性を確保することはできていない。操作者にとって重要な情報を自動的にリアルタイムに表示できるシステムに拡張していく必要がある

(d) アバターを用いた異種ロボット群による作業のための遠隔操作インタフェース

VR 空間を生成する環境データの精度が不十分であり、対応策を検討する必要がある。

### 3. アウトリーチ活動報告

実プラントでの実証試験の機会をいただき、ガスタービン発電用のプラントでのヘビ型ロボットを用いた点検作業に関する評価実験を実施し、課題を抽出した。また、高校生を対象とした講演会で研究開発内容の紹介をした。