

平成27年3月31日

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 26 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

## 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開発の基礎検討と、2次元狭所および管径変化への適応を実現する環境適応制御系の基礎検討

##### (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

流体力を考慮したモデル構築

##### (c) ムカデ型ロボットの開発

体幹および脚に柔軟性を有する試作機の製作

#### 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

昆虫の採餌行動を基にした非常に簡単な仕組みで効率よく広域を探査可能な基本アルゴリズムの考案

##### (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

テザー型 UAV : UAV のテザー給電方式の検討を行うとともに、そのハードウェア試作を実施し、その機体を基にして、航法・飛行制御について基礎検討を実施

UAV の遠隔操作システムの開発 : UAV への過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示システムの搭載する前段階として、ミドルウェアを導入

##### (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

関連する研究や技術の調査およびクローラ型ロボットでの知見の獲得

##### (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

単体移動マニピュレータの自動制御法構築

##### (e) 環境構築群ロボットの開発

環境構築のための基材の検討

### 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

ROBOTIS 社製のサーボモータを用いた構成を検討し、複数のサーボモータを組み合わせて簡略なヘビ型ロボットのプロトタイプを試作した。また、PC やマイコンからコマンドを送信してこれらのサーボモータを駆動させる基本システムを構築した。さらに、複数マイコン間の通信システムを構築した。環境適応制御系の基礎検討としては、シミュレータ上に構築したヘビ型ロボットのモデルに対し、冗長性と接地点の切り替えを利用した制御系を検討した。また、環境内の障害物との接触力や摩擦力により反射的な振る舞いを生成するアルゴリズムを検討した。

## (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

ねじ推進機構の二重反転プロペラに対して流体力を考慮したモデルを提案し、シミュレーションと実機実験によりその有効性を検証した。

## (c) ムカデ型ロボットの開発

体幹ならびに脚の各関節に粘弾性を有するゴム製の素材を用いた試作機を製作し、基本動作を確認した。

## 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

昆虫の採餌行動を基にしたアルゴリズムとして、ランダム探索を基に、生存者が存在するクラスターの大きさ並びにクラスターの分布状況に合わせて、探索する範囲を適切に切り替えるアルゴリズムを考案した。

### (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

テザー型 UAV：簡単な解析を実施し、テザー給電における電力 電流関係式を導き、実験によりその検証を行った。その結果、テザー給電方式を高圧送電方式と決定した。また、テザー型 UAV のプロトタイプを設計・製作し、屋外での自律飛行に成功した。また、UGV に搭載するマーカより位置・姿勢を推定する航法システムを設計・実装した。

UAV の遠隔操作システムの開発：従来独自の通信規格を用いてきた過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示システムに対し、RTミドルウェアによる通信を可能するための改良を行った。

### (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

脚ロボットの遠隔操作に関するユーザインタフェース、タンジブルユーザインタフェースに関連したヒューマノイドロボットの直接操作システム、タッチパネルを用いて移動マニピュレータを操作する方法などの研究や技術の調査を実施した。また、フリッパーを有するロボットへの適用のため、仮想空間中の物体をあたかも操作者が自らの指によって摘んでいるかのような感覚を提示できるシステムを開発した。同時に、操作者が CG を掴むことを補助するため、深度センサを有するカメラを用いて適切な遮蔽表現の実現を行った。

### (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

既存の制御手法である RG 法に対して、自由度が多いロボット・複雑な環境でも適用可能とするため、評価関数に従ってサブタスクを実行する自由度を自動的に切り替える「拡張 RG 法」を構築した。また、移動マニピュレータのマニピュレータ部分と移動プラットフォーム部分の制御を連携させ、移動マニピュレータ全体を制御する方法についても提案した。

### (e) 環境構築群ロボットの開発

環境構築基材の候補として、1)発泡ウレタン、2)ブロック、3)土、4)酢酸ナトリウムの過冷却反応、5)高分子ポリマーを検討し、膨張率、強度、可搬性の観点から発泡ウレタンがロボットに搭載するのに適していることが分かった。

## 2-2 成果

### 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的设计と汎用ヘビ型ロボットの開発

汎用ヘビ型ロボットの試作モデルに従来までの制御アルゴリズムを実装して動作を確認できた。また、開発した複数のマイコンを用いた通信システムの動作を確認し、開発したシステムによりロボットの全身に搭載されたセンサ値が取得できるほか、アクチュエータ数増加に起因する通信時間の増加量がある程度削減す

ることに成功した。さらに、このシステムは問題発生時にはエラーを返す仕様となっているため、次年度以降の耐故障性向上やタスク失敗の予防と復旧に関する検討を進めるための基礎となるシステムを構築することができた。また、2次元狭所への適応制御系として、検討をした冗長性と接地点切換えを利用した制御系を実装し、2次元狭所におけるロボット全身の障害物回避を実現した。さらに、環境中の障害物を利用して推進するアルゴリズムにより推進効率が向上することをシミュレーションにより確認した。

#### (b) 水陸両用ねじ推進ヘビ型ロボットの開発

ねじ推進機構の単体ユニットに対して提案した流体力を考慮したモデルの妥当性が、シミュレーションと実機実験により示された。

#### (c) ムカデ型ロボットの開発

基本構造の有用性を検証するための試作機を製作し、体幹および脚の柔軟性によりが不整地の凹凸を受動的に吸収可能であることを確認した。

### 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

昆虫の採餌行動を基にしたアルゴリズムとして、ランダム探索を基に、生存者が存在するクラスターの大きさ並びにクラスターの分布状況に合わせて、探索する範囲を適切に切り替えるアルゴリズムを考案した。また、シミュレーションによりその基本性能を確認した。

#### (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

テザー型 UAV：送電電圧を高圧にし、UAV 側で降圧する高圧送電方式が、電力ロスおよびケーブル発熱を低減する給電方式唯一現実的な方式であること、および高い電力効率での送電を実現できることからテザーの芯線化が可能となることを明らかにした。試作したテザー型 UAV のプロトタイプに開発した航法システムおよび自律飛行制御を組み込み、屋外にて自律飛行を実現した。

UAV の遠隔操作システムの開発：ミドルウェアを導入により、過去画像履歴を用いた俯瞰映像提示システムを用いて様々なロボットを操作することが可能となった

#### (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

提案する操作システムを、フリッパを有するクローラロボットと同じ多自由度ロボットである脚ロボットに対しても適用可能とするための知見を得た。

#### (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

特異姿勢回避と障害物回避を行いながら、移動マニピュレータの手先位置を軌道追従させる制御系を構築した。移動マニピュレータの移動プラットフォームとマニピュレータの個々の制御方法を連携させる方法を考案した。

#### (e) 環境構築群ロボットの開発

ロボットに発泡ウレタンを搭載し、適切な箇所に噴霧することによってロボットの走破性能を超える段差や溝を走破することが可能になった。

### 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的设计と汎用ヘビ型ロボットの開発

汎用ヘビ型ロボットの設計にあたっては、今後搭載する予定の機能を設計初期の段階から組み込んでおく必要がある、ヘビ型ロボットの最終形態のイメージを関連の研究グループ全体で詳細にすり合わせておく必要がある。環境適応制御系の開発については、実機実験をするにあたって、周囲環境との接触力や滑り覚、距離といった情報を取得するセンサが必要であり、その選定が大きな課題である。これについては、今後の公募課題に含めることが検討されている。

#### (c) ムカデ型ロボットの開発

瓦礫上を歩行するなどの基本動作においては、提案機構の有用性が確認されたが、その一方で、転倒など、不測の事態からのリカバーについては、現状の機構では困難であることが確認された。体幹の運動により転倒から復帰するなど、復帰シーケンスの検討とそのために必要とされる機構の追加を行う予定である。

### 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

#### (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

テザー型 UAV：さらに送電効率を上げるためには、高圧（数百 V）からモータ電圧（試作機では 12V）に降圧する高効率かつ小型・軽量の DC-DC コンバータが必要である。

#### (e) 環境構築群ロボットの開発

発泡ウレタンは、イソシアネートとポリオールの 2 液をノズル内で混合することで硬化する。そのため、ノズル内で硬化してしまった場合は連続して射出することができない。連続射出が可能なノズルやバルブを開発する必要がある。

## 3. アウトリーチ活動報告

以下の招待講演を行い、研究成果を公開した。

- 1) 松野文俊, ロボット革命の気配, 京都産業 21 生活支援ロボットビジネス研究会, 京都リサーチパーク, 平成 26 年 11 月 17 日
- 2) 松野文俊, 災害対応ロボットと ITS, ITS シンポジウム 2014 パネル討論 災害と ITS, 東北大学, 平成 26 年 12 月 4 日
- 3) 松野文俊, 災害対応ロボットの研究開発最前線, ロボカップレスキューロボットリーグキャンプ in 福井, 福井県若狭湾エネルギー研究センター, 平成 27 年 1 月 11 日
- 4) 松野文俊, 阪神淡路大震災から 20 年 ~ 国際救助隊サンダーバードへの夢 ~, 震災 20 年 神戸ロボット工房 特別セミナー 災害に立ち向かうレスキューロボットが築く未来, 神戸市地域人材支援センター, 平成 27 年 1 月 18 日
- 5) 松野文俊, ICRT を基盤とした国際救助隊サンダーバードの実現に向けて, 京都産業 21 生活支援ロボット研究会, 京都リサーチパーク, 平成 27 年 3 月 18 日
- 6) 松野文俊, 災害対応ロボットシステムの現状と課題, 情報処理学会第 77 回全国大会 企画イベント: 無人機の最新技術紹介, 京都大学 吉田キャンパス, 平成 27 年 3 月 19 日