

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 2 9 年 度

研究開発課題名：

触覚を用いた極限ロボットの操作支援

及び索状ロボットプラットフォームの開発

研究開発機関名：

国立大学法人東北大学

研究開発責任者

昆陽 雅司

# 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

本研究開発では、操縦者の操縦能力、判断能力を飛躍的に高めるためのヒューマンインタフェース技術およびシミュレータを用いたトレーニング技術の基盤技術を確立する。特に、触覚情報の取得と提示を中心とした操縦支援技術を開発する。また、索状ロボットに関しては、飛躍的に運動性を高める駆動機構に加えて、触覚、視覚、聴覚の感覚機能とヒューマンインタフェース機能を統合したプラットフォームを開発する。さらに、要救助者の発見や火災消火などの災害被害軽減、平時の点検作業による災害予防などに貢献する索状ロボットを開発する。

研究開発計画書（平成 29 年度）に定めた研究課題と目標の概要は以下の通りである。

### 1) 触覚提示用ハードウェア・ソフトウェア基盤の開発

- 摩擦感、衝突感の向上、ジェスチャ IF の操作感、リアリティの向上。疑似力覚提示技術を利用したロボット操作や VR などのアプリケーションの例示。

### 2) タフ・インタフェース技術

#### ① ロボットと操縦者の触覚共有による、環境把握能力、操作能力向上技術

- 索状ロボットを対象に、索状先端部接触情報提示の効果を検証。索状体全体の接触の分布情報を検出するセンシング手法を開発。
- 建設ロボットを対象に、掘削作業時の接触情報や特性を触覚提示する技術を開発。さらに、双腕機を対象に、センサの設置と無線化、触覚提示システムを開発。

#### ② ロボットと操縦情報の再構成プレイバック技術

- 記録したカメラ映像と接触情報を、任意のタイミング・速度でプレイバックする検証用システムを構築。空間操作 IF に触覚情報を付与して操作性を高める方法を検討。

### 3) タフ・トレーニング技術

- シミュレーション空間において、衝突や摩擦による接触の振動を疑似的に再現する技術を開発。建設ロボット双腕機に対応。

### 4) 運動性能・情報収集能力・遠隔操作性を飛躍的に高めた索状ロボットの開発

#### ① 索状体に視覚・聴覚・触覚を統合し、移動能力と遠隔操作能力を飛躍的に向上

- 前年度までに開発してきた感覚統合型索状ロボットプラットフォームに、空気噴射機構を搭載するとともに、ハードウェアの安定性とメンテナンス性を向上。
- 索状ロボット先端の空気噴射による浮上による段差やギャップ乗り越え性能を定量的に評価する。

#### ② 倒壊瓦礫人命搜索能力の実証：瓦礫内の実用性能を確保（限界性能試験で改良）

- 熊本地震の倒壊家屋を参考にした倒壊瓦礫において、探査活動を行った際の運動性能やセンシング性能の限界や、オペレーション上の問題点を確認・改良。要素技術の統合による性能向上と問題点を実証フィールドで検証。

#### ③ 水噴射タイプによる建物内消火の試験：窓から建物内に進入し、火元消火できることを実証

- 複数の水噴射機構を搭載した索状ロボットのプロトタイプを実装し、浮上安定化の制御技術を開発。

## 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

項目 1) は、摩擦感を向上する接触モデル、衝突感の物理モデルの提案、高周波振動と硬軟感の関係導出、吸引圧を利用した疑似力覚提示アプリケーションなど順調に進捗している。項目 2) について、索状ロボットの先端接触推定については、統合プラットフォーム先端部構造の制約から、当該年度は実装を見送ることになり、索状体中間部の接触に注力して、推定手法の開発を行った。建設ロボットについては、計画通り、触覚伝達の効果を検証し、双腕機に対応する無線化を進めている。また、ロボットと操縦情報の再構成プレイバックとして、触覚情報の早送り再生技術の試行を行い、有効性を確認した。項目 3) に関しては、項目 1) で開発した衝突感物理モデルを利用するが、双腕機操縦 IF の仕様策定が遅れたため、当該年度はシミュレータ上での実装を見送った。項目 4) は、統合プラットフォームに搭載可能な空気噴射ノズルを開発するとともに、センサ信号等の安定化、ハードウェアの頑強性向上などを行った。また、兵庫県総合防災センター、東北大屋外実証フィールドで、性能試験を行い、問題抽出と改良を行った。また、消火ロボットに関しては、複数の水噴射機構を搭載したプロトタイプを実装し、浮上安定化の制御技術の開発に成功した。

### 2-2 成果

#### 1) 触覚提示提示用ハードウェア・ソフトウェア基盤の開発

摩擦感については、ヒトの指先の皮膚だけでなく、全体の剛性・粘性の影響を考慮した 2 自由度の新しいハプティックレンダリング法を提案し、分野のトップジャーナルである IEEE Trans. on Haptics に発表した。衝突感に関しては、従来経験則であった振動波形に対し、衝突物体の運動方程式と接触力学を考慮した波形生成モデルを構築した。また、ジェスチャ入力時の触覚フィードバックを安定化する技術、一人称視点映像から振動刺激を人工的に生成し体感を拡張する技術を開発した。これらは国際会議 IDW'17 でポスター発表し、Outstanding Poster Paper Award を 2 件受賞した。

#### 2) タフ・インタフェース技術

##### ① ロボットと操縦者の触覚共有による、環境把握能力、操作能力向上技術

索状ロボットを対象に、挿入部全体にわたり振動センサを 400 mm 間隔程度で配置し、振動駆動機構によって発生する振動と接触時の振動スペクトルの変化を計測し、接触の有無を機械学習によって判別する手法を開発した。比較的単純な接触状態では、80%以上の精度で判別できることを確認した。また、建設ロボットを対象に、エンドエフェクタによる掘削や衝突時の振動情報を、ノイズを除去しながらヒトが知覚しやすい振動に変調する手法を開発し、対象物の弁別性能とリアリティを向上できることを確認した。またエンドエフェクタにより棒を把持し、穴に差し込むタスクでは、押し込み力を 1/3 程度に削減し、より繊細な作業ができることを確認した。さらに移動ロボット上の接触位置を 2 つのバイブレータによって提示する手法を開発し、遠隔操作による移動ロボットの障害物回避性能の向上を確認した。

##### ② ロボットと操縦情報の再構成プレイバック技術

また、ロボットに搭載した 1 人称視点のカメラ映像と、加速度センサの情報を元に、記録

映像をプレイバックした際に、衝突情報やロボットのゆれの情報を保持したまま早回し再生可能な技術について試行し、移動台車を用いた予備実験でその有効性を確認した。

### 3) タフ・トレーニング技術

物理シミュレータ上で高周波の衝突振動を発生するための物理モデルを構築し、衝突速度や対象物の剛性からハンマリングした際の人工的な衝突感を生成する技術を評価した。人工的に生成した振動により、ゴム、木材、プラスチック、金属の4種類を90%程度で識別可能なことを確認した。

### 4) 運動性能・情報収集能力・遠隔操作性を飛躍的に高めた索状ロボットの開発

#### ① 索状体に視覚・聴覚・触覚を統合し、移動能力と遠隔操作能力を飛躍的に向上

前年度までに開発してきた感覚統合型索状ロボットプラットフォームに、2自由度の空気噴射機構を搭載した。また、ハードウェアのモジュール化とセンサシステムのノイズ対策をほどこし、安定性を向上させた。空気噴射を用いた運動性能試験に関して、200mm程度の段差乗り越え、絨毛振動機構に比べて10倍以上速い方向転換を実現した。

#### ② 倒壊瓦礫人命捜索能力の実証：瓦礫内の実用性能を確保（限界性能試験で改良）

熊本地震の倒壊家屋を参考に、東北大学屋外フィールドに実証フィールドを設営した。6月の評価会では、受動機構型の空気噴射機構を瓦礫に挿入した際の、駆動性能と受動機構の限界等を確認した。また、11月評価会にて、2自由度能動型空気噴射機構を搭載し、他の感覚機能を統合した瓦礫内探査能力を評価し、統合ユーザインタフェースを構築し、操作性と課題について検証を行った。

#### ③ 水噴射タイプによる建物内消火の試験：窓から建物内に進入し、火元消火できることを実証

先端水噴射モジュールを搭載した消火ロボットを試作し、安定浮上を実現する水噴射制御手法を提案し、実験により安定浮上が可能であることを確認した。その成果はIEEE RA Lettersに採択された。また、2モジュールに延長した消火ロボットの試作を行った。

### 2-3 新たな課題など

索状ロボットにおいては、感覚統合による操作性の向上や、センサ機能間の連携など、現実的な環境での総合的な評価試験が今後必要になる。また、消火ロボットに関しては、長尺化した際の運動の安定化と、ハードウェアの耐久性の向上が必要である。

### 3. アウトリーチ活動報告

フィールド評価会や技術セミナーにて、関係者、ユーザに開発技術の紹介を行った。また、オープンキャンパスにて、中高生、大学生、一般市民らにも広く研究開発技術の有用性をアピールした。