

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

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：

配管をタフに走破するへび型ロボットの開発

研究開発機関名：

国立大学法人 岡山大学

研究開発責任者

亀川 哲志

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

大規模プラントの保守管理における配管検査や、大規模災害の発生時に被災した建築物の内部の探索活動を行うことのできるロボットとして、径が比較的大きな索状のロボット（いわゆるヘビ型ロボット）の研究開発を行う。開発するヘビ型ロボットは基本的に螺旋形状で配管に巻きついたり突っ張ったりし、配管に沿ってその内部あるいは外部を移動する。当該年度においては、下記の2つの実施課題を挙げている。

A) 高い走破性をもつタフな索状ロボットの構築の実施

これまでに我々が **ImPACT** タフ・ロボティクス・チャレンジに参画してきた期間において、ヘビ型ロボットのハードウェアの開発においては、2種類のヘビ型ロボットのプロトタイプを試作して動作検証を行ってきた。当該年度においては、この開発を継続してヘビ型ロボットに改良を加える。まず環境との接触力を測定するためのセンサを搭載するために、ヘビ型ロボットの外殻を設計する。また、音響システムを使ってロボットの自己位置同定をするために信号伝達のためのシステムの拡張を行う。さらに、搭載した機器や配線を保護するための外装設計を行う。これにより、タフなヘビ型ロボットの基本設計を完了する。

B) 実環境を想定したロボットの運動生成の実施

ロボットの運動生成に関して、当該年度においては、曲管を含む配管を走破する際のアルゴリズムを改良し、簡単な操作でこれを実現することのできるアルゴリズムを実装することで、配管内部に適切につばって曲管部を走破するヘビ型ロボットを実現する。さらに、螺旋縦波方式と呼ぶアルゴリズムを実装することで、ケーブルの取り回しに関する問題の解消と、配管が分岐している部分におけるロボットの走破に関しての研究開発を行う。同時に、ロボットに搭載した触覚センサの情報を基に3次元的な反射行動を行うことで適切な体幹形状を生成するアルゴリズムの研究開発を行う。さらに、これらのアルゴリズムのロボットへの実装にあたって、ROSを使ったシステムへの移行作業を行う予定である。

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

概ね計画どおりに研究開発が進捗している。

課題 A) 高い走破性をもつタフな索状ロボットの構築の実施、に関しては、プロジェクト内で開発されている圧力センサや音響センサをヘビ型ロボットに実装すべく、ヘビ型ロボットの改良を実施した。ハードウェアの実装のみならず、システムインテグレーションに関する改良も行い、ROSのシステムをつかって、ロボットの制御とセンサ値の測定とデータ処理を行えるようにシステム全体の設計を更新した。また配線処理や外装設計を適切に行い、壊れにくいヘビ型ロボットのハードウェアを実現した。

課題 B) 実環境を想定したロボットの運動生成の実施、に関しては、曲螺旋捻転運動のプログラムを新たに作成し、これをヘビ型ロボットに実装することで、曲管を含む全長7mの実験用模擬配管をへ

ビ型ロボットが走破するに至った。また螺旋縦波方式のアルゴリズムをプログラムとして実装し、シミュレーション実験にて分岐のある配管を移動できる可能性を示した。

2-2 成果

当該年度において実施した成果を下図に示す。本研究課題においては、タフに配管内を移動できるロボットシステムに高機能センサをインテグレーションしてイノベーションを創発することを目指し、現時点において下図にあるように研究開発が実現されている。

ヘビ型ロボットの
多様な移動形態
による走破適用環境の拡大

センサ統合
で非連続イノベーション
の創発へ

曲管を含む配管内部を走破



垂直な配管を上る
ヘビ型ロボット



出口に到達したヘビ型ロボット



配管にヘビ型ロボット挿入している様子

内径200mm全長約7mの配管内(途中にゲートバルブ1カ所と曲管2カ所あり)を螺旋捻転運動により走破



螺旋形状のヘビ型ロボット



曲管部の走破時には、ヘビ型ロボットの形状が曲螺旋形状になるように運動生成を行う

音響センサで自己位置推定



音響センサによるPipeSLAMの実証画面

- ・配管入口にスピーカを配置
- ・ヘビ型ロボット最後部にマイクを取り付け
- ・音の到達時間より配管内の位置を推定
- ・IMUも使って、配管地図を生成

ロボット全周の圧力測定



CoP (Center of Pressure)センサによる圧力測定結果およびロボット形状の表示

- ・シート状のCoPセンサをリンク全周に実装
- ・圧力の加わっている位置と大きさを測定可能
- ・各リンクへの圧力をベクトルで表示

2-3 新たな課題など

曲螺旋捻転運動により配管内を移動するにあたって、ロボットの曲がろうとする向きと配管が実際に曲がっている向きを合わせる必要があり、その向きのずれをオペレータが認識するのが困難であった。当該年度に実装した圧力センサの測定値を使って、向きのずれを自動判別するアルゴリズムを今後開発する予定である。

3. アウトリーチ活動報告

研究成果を一般公開するものとして、2016年6月に実施された第2回 ImPACT TRC のフィールド評価会と2016年11月に実施された第3回 ImPACT TRC のフィールド評価会に参加し、研究開発の成果を公開デモンストレーションした。

また、企業との連携の活動の一環として、2016年10月には某企業のメンテナンス中の実プラントシステムの一部を使って、ヘビ型ロボットの走行性能評価実験を実施するなどして、社会実装に向けた取り組みも行っている。