

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 2 7 年 度

研究開発課題名：

極限環境下での高いアクセシビリティを持つ脚型ロボットの開発

研究開発機関名：

早稲田大学

研究開発責任者

高西 淳夫

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

昨年度までに脚型ロボットのプロトタイプ機（全高 1300mm，質量 110kg，29 自由度）を開発し，垂直はしご昇降を実現してきた．しかし，プロトタイプ機は配線がむき出しであるため，外界環境と接触を伴う移動の際に問題となっていた．また，これまで垂直はしご昇降は，滑落防止のため 4 肢のうち 3 つを固定した 3 点支持のみでしか実現されておらず，この方法では 1 栈の昇降時間が 120 秒と極めて長いという課題があった．

そこで平成 27 年度は，プロトタイプ機の課題を克服した ImPACT 基本プラットフォーム（初号機）を設計・製作するとともに，垂直はしご昇降の高速化に向け 2 点支持においてもはしご昇降が可能なアルゴリズムを開発する．さらに，不整路面での移動実現に向け 4 肢ロボットによる匍匐移動法を提案し，シミュレーションを通して有効性を検証する．

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

脚型ロボットのプロトタイプ機は，150W のモータをタイミングベルトと波動歯車装置で大きく減速（1/532～1/2996）していたため，各関節の出力回転数が遅いものになっていた．そこで，モータの高出力化が必須だが，ハウジング付きのモータでは小型化が困難なため，ビルドイン可能なフレームレスモータ（275W，410W，735W）を採用し，減速機のフレームと一緒に組み付けることで小型化・大出力化を図ることとした．大出力のモータを使用することで減速比を下げることができ，具体的には減速比 1/100 と 1/160 の波動歯車装置を選定した．さらに配線を関節内に収めるため中空構造となるようにアクチュエータユニットを設計した．ロータの角度検出にはインクリメンタル・エンコーダを使用し，減速後の出力軸の角度検出にはアブソリュート・エンコーダを使用する．

2 点支持でのはしご昇降に関しては，2 ヶ所の把持点を結んだ稜線周りに機体が回転し，垂直はしごから滑落する危険性が高くなるため，垂直はしご上で機体を安定させるためには，稜線周りのモーメントを小さくしなければならない．そこで，全身の各質点の動きと把持点での反力を適切に制御することで滑落を防ぐアルゴリズムを考案した．従来の研究では，機体を単質点でモデル化しているものや，転倒を防ぐために把持点での反力を活用していないものなどがあるが，本研究で使用する機体は等身大サイズのため，各肢の運動による影響が無視できない．全身の各質点の運動の影響を考慮するために脚型ロボットを多質点モデルで近似し，把持点での反力を活用することで垂直はしごからの滑落を防ぐことができるようになる．

匍匐移動には胴体を常に路面に接地させて移動する方法と，胴体を路面から浮かせる方法の 2 通りが考えられる．前者の手法は，瓦礫が散在しているような脆弱環境では，胴体を常に接地させて移動させることが難しいと予想される．本研究では，胴体を脚のようにとらえ，路面から浮かせて移動する匍匐移動法に注目した．匍匐移動で高速に移動することを考えると，可能な限り少ない動作数の歩容が望ましい．そこで，4 肢同時→胴体の順に動かすという動作数が 2 つの匍匐移動法を考案した．

2-2 成果

図1に開発した ImPACT 基本プラットフォーム WAREC-1 (Waseda Rescuer – No. 1) を示す。4肢立脚時の寸法は W 1300mm × H 1700mm × D 1600mm で、質量は約 150kg である。1肢7自由度の計 28 自由度を有している。これまでにロボット全体としての動作は実現していないが、アクチュエータユニット単体での動作を確認している。具体的には、735W のアクチュエータユニットでは、要求仕様通りの 350[Nm] のトルクが発揮可能なことを確認した。

垂直はしご昇降については、「左腕・左脚」と「右腕・右脚」を交互に繰り出す 2 点支持による昇降を実現し、1 棧の昇降時間は 10 秒と、1 肢ずつ動かしていた 3 点支持に比べ、12 倍速い垂直はしご昇降を実現した。垂直はしごの支柱の間隔は 600mm、棧の間隔は 250mm で、どちらも JIS 規格内の寸法である。また、垂直はしご昇降アルゴリズムを応用することで、垂直はしごへの取り付け動作も実現した。これにより、垂直はしごへの取り付け、昇降、昇り切りと一連の動作が可能になった。

匍匐移動に関しては、動力学シミュレータを用いて提案する匍匐移動法を検証した。瓦礫を想定しプレート、ボックス、シリンダの各形状物（寸法・配置は指定値内でランダム生成）を合計 300 個（各形状の内訳もランダム生成）用意した。シミュレーションの結果、路面形状が崩れるような路面においても、センサフィードバックなしで移動が可能であることを確認した（図2）。

2-3 新たな課題など

新たな課題としては、瓦礫環境のモデル化がある。路面が堅固な環境の踏破性に関しては、凹凸高さや路面の傾斜度などが指標になりうるが、瓦礫環境などの崩壊の危険性のある脆弱な路面の踏破性に関しては、それら以外の指標も重要である。匍匐移動での移動能力を定量的に評価するために、瓦礫環境のモデル化にも取り組む必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

国際ロボット展にて研究室のブースを出展し、実施中の研究を幅広く紹介した。また、日産財団主催『わくわくサイエンスナビ』にて、ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジを紹介するとともに、脚型ロボットの研究開発意義を説明した。

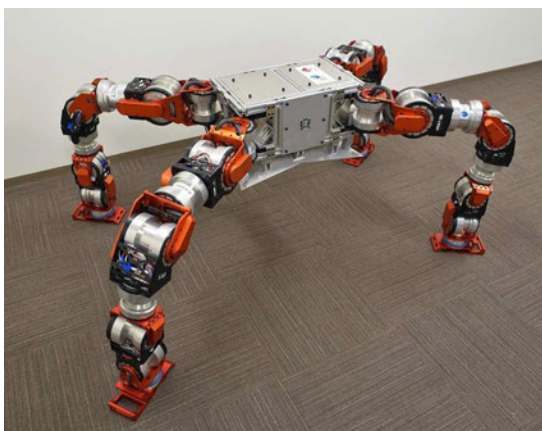


図1 ImPACT 基本プラットフォーム WAREC-1



図2 匍匐移動のシミュレーション