

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560282

研究課題名(和文) 湿原移動ロボットのための二重螺旋推進機構の開発

研究課題名(英文) Development of a double spiral mobile mechanism for wetland mobile robots

研究代表者

花島 直彦 (HANAJIMA, Naohiko)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40261383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：湿原保全のために行われるフィールド調査には大変な労力と時間を要する。我々は、湿原特有の丈長植物の密生地を湿地に埋没することなく、草をなぎ倒さずに進める機構として、二重螺旋移動機構を提案している。これは螺旋形状のパイプを回転させると、密生した植物の間を縫うように進めることを原理としている。

本研究課題ではその実現のために、螺旋パイプ外周を保持して回転させる装置を開発し、モーションキャプチャシステムによる動作解析の結果、安定な回転が実現できていることを示した。さらに、シミュレーション環境の構築、1/2モデルの設計製作に着手し、ロボットの実現に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：Field survey activities for the wetland preservation consume enormous labor and time. I have proposed the concept of a double spiral mobile mechanism which can travel through dense stand of plants in the wetland without sinking into the mud and leveling the plants to the ground. It is based on the principle that rotating spiral can move forward in the thick material like a corkscrew. In this research, I developed a rotation device with gripping the circumference of the spiral pipe. The motion analysis using a motion capture system showed that the device realized a stable rotation. Furthermore, I undertook a construction of a whole robot model in a dynamics simulator, and a design of its half model for an experiment in order to proceed to a realization of the robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：湿原調査 環境調査 丈長密生植物 移動ロボット フィールドロボット 螺旋 モーションキャプチャ 運動解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、日本の湿原は周辺地域の開発や乾燥化の要因で面積が減少する傾向にあり、湿原保全のため再生事業や環境調査が行われている。湿原の地面は柔らかい泥炭層となっているため、調査器具を持ち運びながら長時間歩くのは容易ではない(図1)。このため調査支援ロボットの開発要求が高まっている。



図1 湿原調査の様子

(2) 近年、野外環境で作業するロボットの研究開発が盛んであり、フィールドロボティクスという分野を形成している。建設、山林、農業、鉱山、海中、レスキュー、軍用、宇宙など様々なフィールドがその対象となる。移動機構は環境に応じて車輪、クローラ、脚式、ヘビ型など様々なものが採用されている。湿地帯を移動する機構としては、水面を浮いて進むボート型、沼地を沈まずに進むスクリー型が提案されているが、丈長植物の密生地を、植物を踏み倒さずに進む機構は例が無い。このような機構が開発されれば、湿原のみでなく草の生い茂る草原や山林にも応用可能である。

(3) 湿原における移動機構への要求として、①湿地に沈み込まない、②植物を踏み倒す危険が少ない、③密生する丈長植物からの走行抵抗を避ける、などがあげられる。従来の野外ロボットで採用されている車輪、クローラなどは植物を踏み倒す恐れが強く、また、丈長植物による抵抗を受けやすい。そこで、螺旋体を回転させ、草を縫うように移動する螺旋移動機構を提案し、その実現を目指している。概念図を図2の左図に示す。これにより草への損傷を回避し、丈長植物による走行抵抗も避けられる。また、接地点が複数に分散され、湿地への沈下を防ぐこともできる。

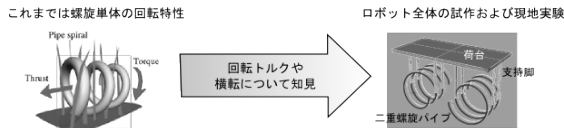


図2 螺旋移動機構の概念図

2. 研究の目的

(1) 図2の右図は本研究課題で試作を予定しているロボットのイメージ図である。左右両側にそれぞれ2つ1組の螺旋パイプ(二重螺旋パイプ)が配置される。移動方法は2つのフェーズの繰り返しである。第1フェーズでは、一方の螺旋パイプが上部の荷台の荷重を受

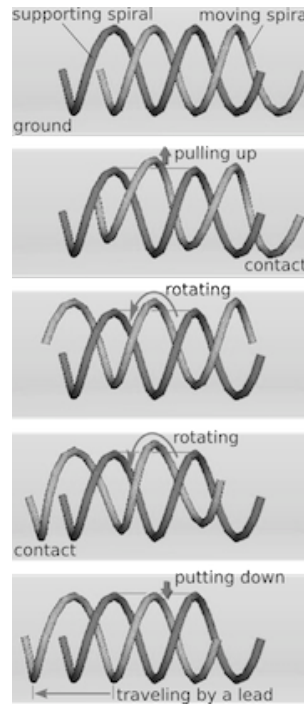


図3 二重螺旋移動機構

け、もう一方の螺旋パイプを回転して進ませる。第2フェーズでは、第1フェーズで回転させた螺旋パイプに支持脚を移して荷重を受け、第1フェーズで荷重された螺旋パイプを回転して進ませる。図3にそれぞれのフェーズにおける一連の流れを順に示す。このような機構を二重螺旋移動機構と呼ぶ。

(2) 二重螺旋移動機構では螺旋パイプの外周を保持しながら回転させる仕組みが必要であり、これまでの現地試験により明らかになった課題として、①回転する螺旋体が地面や植物に接するとき起こる転がり運動の抑制、②螺旋体が回転するときの揺れ運動の抑制、③アクチュエータの動力をうまく螺旋体の回転に結びつける機構、④繁茂する植物の中にある螺旋体にアクチュエータを接近させる方法、などがある。

(2) 研究期間の3年間ではこれらの課題を解決する回転機構を考案、設計、試作し、現地実験により評価を行う。最終的に、安定に螺旋パイプを回転する機構を実現する。これには、螺旋を持ち上げて降ろす機構も含む。

3. 研究の方法

(1) 当初立案した3年間の研究計画を説明する。初年度は、螺旋パイプ回転実験結果を力学的・幾何学的に解析し、螺旋パイプの姿勢維持機構とアクチュエータの動力伝達機構の配置について考察する(課題③に関連)。2年目は、螺旋パイプを安定に回転するための配置の条件を導出し、実験装置の機構を考案する。さらに、繁茂する植物の中にある螺旋パイプにアクチュエータを接近させる仕組みも考案し、設計、試作、屋内実験を行う。主に課題①、②、④に関連する。3年目は、試作した装置による現地での実験を行い、評

価を行う。また、実験において明らかになった新たな課題について、改善等を行う。

4. 研究成果

(1) 初年度は、螺旋パイプ回転装置による実験結果の解析を行った。この装置は螺旋パイプの外周を近接した3点でグリッパし、そのうち1点を駆動輪として螺旋に回転トルクを与える(図4)。螺旋パイプの片側を持ち上げたとき、螺旋パイプの他端は地面に接する構成(構成A, 図5)、回転装置と同構造の支持装置とにより螺旋パイプを持ち上げ、地面に接すること無く回転する構成(構成B, 図6)について、運動学モデルを構築した。

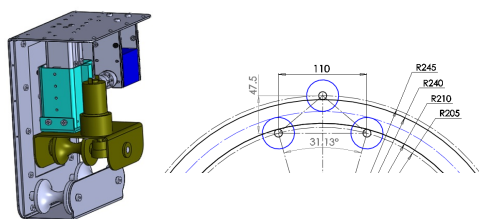


図4 螺旋パイプ回転装置と3点支持プーリーの配置図

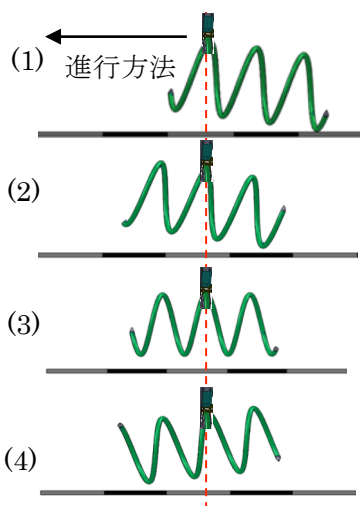


図5 構成Aによる螺旋回転と螺旋の動き

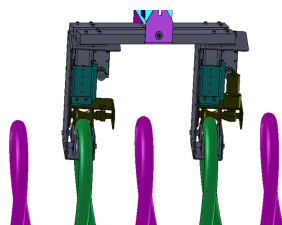


図6 構成Bによる螺旋の把持(側面)

当初は構成A, Bについて、力学シミュレーションソフトウェアを使用して解析する予定であったが、実システムにおける考察を優先し、モーションキャプチャシステムを用いて螺旋パイプの運動を計測することにした(図7)。モーションキャプチャは光を反射する球形のマーカーを複数のカメラで

撮影し、その三次元的な位置を瞬時に計算する装置である。螺旋パイプの特定の場所にマーカーを3つ工夫して取り付けることで、螺旋パイプの位置と姿勢を計測する手法を確立した。

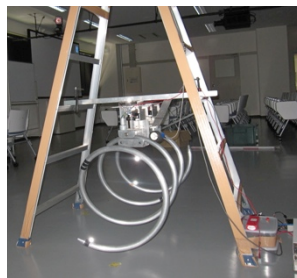


図7 モーションキャプチャ装置による螺旋姿勢計測実験

室内実験での結果、構成が簡単で軽量である構成Aは、地面との接触状態により、螺旋パイプ姿勢が変動したが、回転自体は可能であった。構成Bは構成Aに比べて姿勢変動は少ないが、螺旋の形状誤差に起因する姿勢の傾きが生じることがわかった。以上により螺旋パイプの姿勢維持機構とアクチュエータの動力伝達機構の動的な配置について知見が得られた。

さらに、屋外での動作実験を行った結果、繁茂する植物の中にあっても構成Bであれば、姿勢変動を抑制し、安定した螺旋パイプの回転が実現できることがわかった(図8)。以上により、課題①, ②, ③について解決がされた。



図8 屋外での動作実験の様子

(2) 螺旋を安定に回転できる装置の開発に目処が立ったため、2年目は研究計画を前倒しし、移動ロボット本体の開発に着手した。このロボットは4脚を有し、螺旋パイプを足場として安定な静歩行を行う。螺旋パイプの形状を利用し、脚を持ち上げることなく、遊脚相をつくれるという特徴を持つ。このロボットの運動学モデルを構築し、脚の移動範囲や荷台部分の運動について解析的に考察を

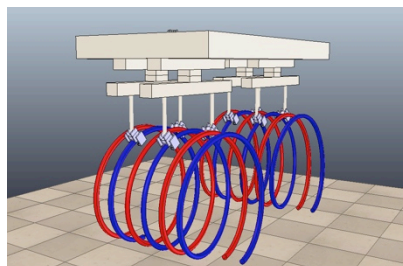


図9 シミュレータ内に構築したロボット

した。さらに、3次元動力学シミュレータにロボットを構成し、歩行シミュレーションを行った。また、歩行時に脚にかかるトルクや力を計測し、ロボットの設計仕様を設定した。このような考察を元に実験的にロボットの動作を検証するため、ロボットの1/2モデルを設計し、荷台と脚を動かす機構までを製作した。

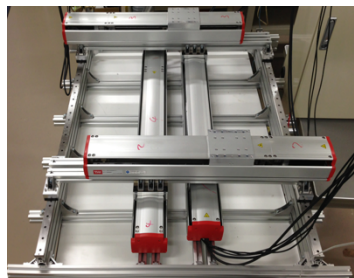


図 10 開発中のハーフモデル

(3) 3年目は移乗機構の開発に着手した。二重螺旋移動機構では、回転させる螺旋パイプAと対になり、装置全体を支える螺旋パイプBも必要となる。螺旋パイプAを回転して進めた後、装置全体は螺旋パイプBから螺旋パイプAに移乗する。この移乗動作を行う機構の設計にも着手し、動力学シミュレーションにより、この動作の実現を確認した。

また、赤外近接センサを使って、移乗する螺旋の位置を走査する手法についても考察した。これにより、繁茂する植物の中にある螺旋体にアクチュエータを接近させる方法に目処が立ち、課題④についても概ね解決策を得ることができた。

(4) 以上により、当初計画した研究課題について、目標どおりの成果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Qunpo LIU, Naohiko HANAJIMA, Kunio KAWAUCHI, Toshiharu KAZAMA, and Hidekazu KAJIWARA : Driving unit design and motion analysis for a spiral propulsion mechanism in wetlands, Mechanical Engineering Journal, 査読有, Vol.1, No.4, DR0035, 15 pages (2014)

DOI: 10.1299/mej.2014dr0035

[学会発表] (計11件)

① 物井 佑樹：二重螺旋移動機構における動力学シミュレーションを用いた脚部の力学解析, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 2015/5/19, 京都市勧業館 (京都府・京都市)

② Yuki Monoi : Force analysis of walking motion using dynamics simulation for a double spiral mobile robot, Joint Seminar on Environmental Science and Disaster Mitigation Research 2015, 2015/3/13, 蓬莱

殿 (北海道, 室蘭市)

③ 呼和 満達：二重螺旋移動ロボットにおける支持脚の移乗手法, 第47回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, 2015/3/9, 北海道大学 (北海道, 札幌市)

④ 物井 佑樹：動力学解析を用いた二重螺旋移動機構ロボットにおける脚部回転機構の設計, 日本機械学会北海道支部第53回講演会, 2014/9/27, 室蘭工業大学 (北海道, 室蘭市)

⑤ 濱浦 大樹：二重螺旋移動機構における直動式脚機構の設計と動作シミュレーション, 第14回(公)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 S I 2 0 1 3, 2013/12/18, 神戸国際会議場 (兵庫県, 神戸市)

⑥ Naohiko HANAJIMA: A four-legged mobile robot with prismatic joints on spiral footholds -Conceptual design and motion-, Joint Symposium on Mechanical - Industrial Engineering, and Robotics 2013, 2013/11/15, Chiang Mai (Thailand)

⑦ Manda HUE: A four-legged mobile robot with prismatic joints on spiral footholds -Detection of spiral for positioning of legs-, Joint Symposium on Mechanical - Industrial Engineering, and Robotics 2013, 2013/11/15, Chiang Mai (Thailand)

⑧ 對馬 英彦：二重螺旋移動における移乗機構の静的姿勢安定, 第5回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会 (RSJ-HRT) 学術講演会, 2013/3/7, 北海道大学 (北海道, 札幌市)

⑨ 濱浦 大樹：湿原環境調査における二重螺旋移動機構の開発～モーションキャプチャを用いた螺旋の形状解析～, 第5回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会 (RSJ-HRT) 学術講演会, 2013/3/7, 北海道大学 (北海道, 札幌市)

⑩ 濱浦 大樹：湿原環境調査における二重螺旋移動機構の開発～モーションキャプチャによる螺旋の姿勢解析～, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 2012/9/20, 札幌コンベンションセンター (北海道, 札幌市)

⑪ 對馬 英彦：二重螺旋移動におけるZMPを用いた移乗機構の動力学的バランス, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12, 日本機械学会, 2012/5/29, アクオシティ浜松 (静岡県, 浜松市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花島 直彦 (HANAJIMA, Naohiko)
室蘭工業大学・工学研究科・准教授
研究者番号：40261383

(2) 研究協力者

劉 群坡 (LIU, Qunpo)