〔様式第４号の２〕

リンク型脚歩行ロボットの段差昇降

システム科学技術学部　知能メカトロニクス学科
２年　小西　毅
１年　高橋　諒
１年　土屋　晴哉
１年　冨澤　匠
１年　藤内　慧

指導教員　システム科学技術学部　知能メカトロニクス学科
教授　齋藤　敬

1. 目的

現在、人工生体機構研究室が開発中の小型４脚歩行ロボット「グラスゴート」[1]は、２３年間運用してきた先代となる８脚歩行ロボット「しろやぎ」[2]の後継機種として、一昨年の自主研によってほぼ完成した。これらの機体の特徴として、連続回転モーターによる玩具的な脚リンク機構で歩行するため高速さと頑強さに優れる点、そして連続回転をベースにしているため、動力伝達機構から車輪用の回転出力を取り出すことが容易な点を挙げることができる。昨年度の自主研究では、後者の実証として、グラスゴートに整地移動用車輪の追加実装を行うと共に、各脚の位相制御と車輪運用の切り替えについて試験が行われた。これらの進展がある一方、研究室の一連の多脚歩行ロボットのうち、最もスムーズな脚歩容を可能としているのは最新の大型機「おおやぎ」[3]であるが、おおやぎは全長４ｍ、質量３５０ｋｇ程度と、様々な脚の制御を試験するには大きすぎる問題が残っていた。

このため本研究においては、①おおやぎの縮小モデルとしてグラスゴートを試験できるようにするため、おおやぎ同様の各部寸法比となるようグラスゴートを改装すること、②その上で研究室の卒業研究と連携し、グラスゴート脚部に段差昇降用の機構を追加実装すると共に、③グラスゴートをベースに、レーザーカッターで高速な切り出し加工が可能なベニヤ板を主体に再設計した機体「ウッドゴート」を開発すること、以上を当初の目的としていた。しかしながら、グラスゴートの一部パーツの再設計と、その動作確認に多くの時間を費やした為、ウッドゴートの開発を中止し、グラスゴートの段差昇降用の機構の開発に集中することとした。

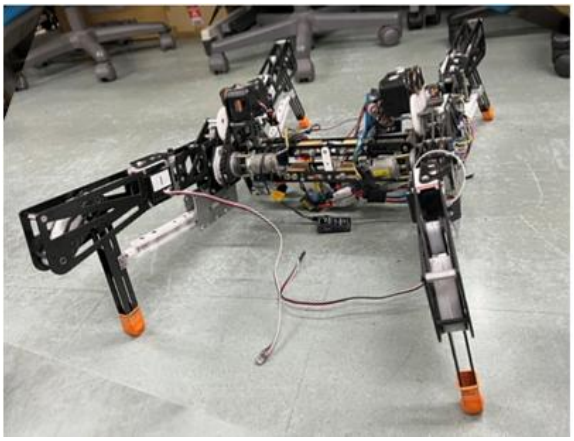


図１　４脚歩行ロボット　「おおやぎ」、「グラスゴート」
左：「おおやぎ」(2022年2月)　右：「グラスゴート」第二次改装後(2025年2月)

2. 実施内容及び考察

グラスゴートは2001年に開発されたしろやぎの後継機として、2019年度に開発された。一連の「やぎ」シリーズの特徴である、車両的な頑強さとロボット的な脚自由度を併せ持つ、独自の３次元リンク脚機構を実装している。今後の関連機体の量産に向けた基本形とすべく、板と支柱を主体に構成しているが、駆動系には耐久性の不足等まだ問題が残っていた。本研究においては、本自主研の学生支援スタッフである加藤翔さんの卒業研究と連携して、駆動系の問題点の改修と段差昇降用駆動系の追加と試験、その結果を反映した追加の駆動系改修を行った。以下に具体的な改良点と昇降機構の取り付けについて述べる。

2-①第一次改装　～脚部パーツの換装と一部パーツの再設計～

まず、実践的なロボット機能評価の機会として研究室が活用している、「かわさきロボット競技大会」[4]にグラスゴートで参加するため、連続回転モーターによる玩具的な脚リンク機構を構成するパーツの破損していた部分を修理した（図２右等）。グラスゴートを構成するカーボン系部材には、２種類がある。パーツのフレームの一部となり、機体を支えるものと、回転し３次元リンク脚機構をサポートするものである。前者は負荷がかかっても耐えられるように、パーツを隙間なく設計する必要がある。一方で後者は回転させるための若干の余裕を設ける必要があった。カーボンを切断するときは発生した粉末が人体に危険であるため、保護メガネとマスクを着用して、掃除機で粉末を吸引しながら作業を行った。

次に、左右の脚部を連結し、姿勢制御を行うためのフレームを再設計した。これはかわさきロボット競技大会の規定に合わせて，機体の全幅を250mm以内に収める必要があったためである。また機体の電装系をまとめるための土台部分も設けた。図２左の中央部分において、垂直方向に一対伸びている板が土台部分であり、図２中の中央部はここに結合されている。ほかにもバッテリーや配線が露出してしまわないようにするために、モーターの配線を一度切断して、向きを変えてはんだ付けを行ったほか、脚部の３次元リンク脚機構のレールとなるパーツを学科共用３Dモデリングマシン「MDX-540S-AP」を用いて加工を行った。

なお大会においてはこれまでの継続性に鑑み、グラスゴートは「しろやぎ２４」としてエントリーした。脚の制御プログラムの完成が間に合わず、残念ながら初戦敗退となった。

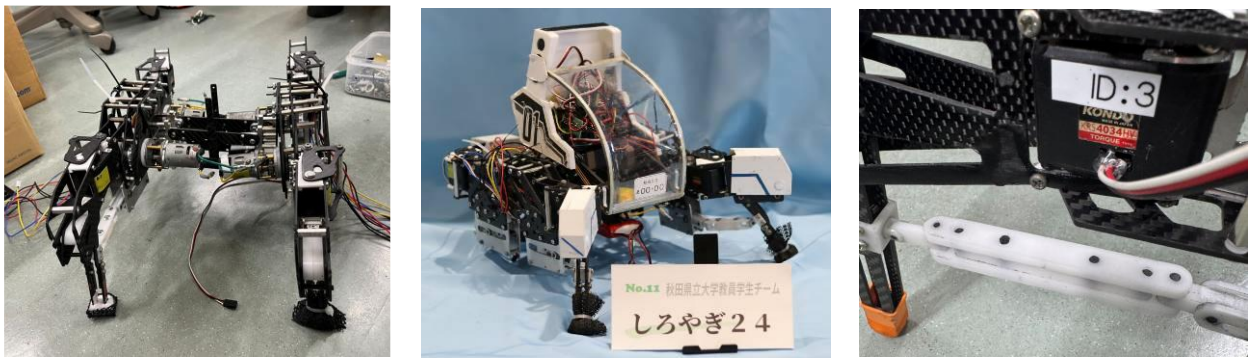


図２　「グラスゴート」第一次改装

左：脚フレーム全景　中：かわさきロボット競技大会仕様　右：脚リンク部修正箇所

2-②段差昇降機構の追加と、「おおやぎ」各部比率への統合

かわさき大会の後、グラスゴートの脚部を改めておおやぎの各部比率に準じた形に換装するとともに、段差昇降機構とその動作用サーボモーターを追加した。一脚における、脚駆動リンクと段差昇降用サーボモーターの配置について、図３に示す。

本来の脚駆動リンクは、連続回転されるドライブシャフトAから深青色の脚先までであり、これにE～Jの機構を追加することで、脚先を水平旋回可能にしたのがやぎ系脚ユニットの特徴である。

今回、これに加えて、まず、段差昇降用のサーボモーターの出力をK,Lを介してMに伝える。Lの軸とAの軸位置はフレームで等距離に保たれており、赤い点線部分が一種の四節リンク機構となっている。このためAと同軸となっている脚ユニット回転軸を中心に、Mが脚ユニット全体を持ち上げる／押し下げる。KとLのギア比は２８：４８で、減速しトルクが増した状態でMを駆動する。なおグラスゴートには、ドライブシャフトAの位相を計測することで、足先の位置を算出可能とするロータリーエンコーダが取り付けられている（図３下、白い四角状基板）。段差昇降はこのエンコーダの情報から、四節リンク機構の回転節を中心とした回転により脚を持ち上げるという仕組みによって行われる。

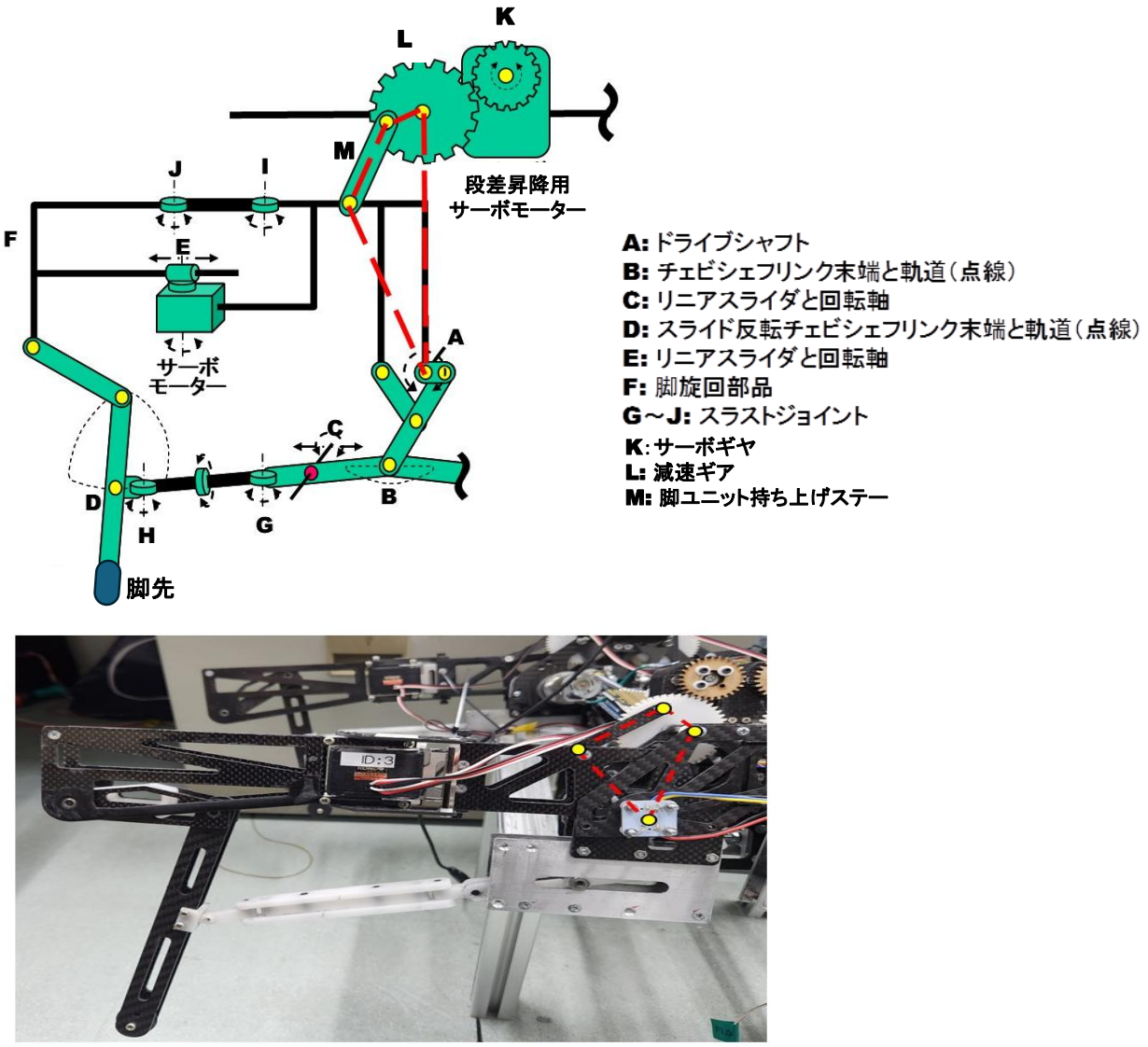
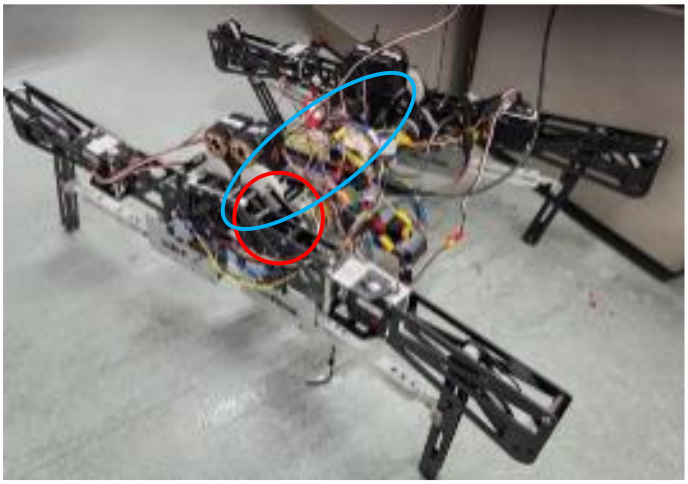


図３　段差昇降用脚ユニット持ち上げ／押し下げ機構
上：構成図　下：実機写真

しかし卒業論文のための最終実験となった2025年1月末の実験においては、この機構によっても脚ユニットの昇降は行えなかった。なぜなら、パーツが歪み動力をうまく伝達できなかったためである（図４参照）。

2-③段差昇降機構の動作達成のための第二次改装

歪んだパーツは、４節リンク機構を構成するパーツと、ロボットの姿勢を支えるための機体左右連結フレームである。４節リンク機構を構成するパーツが歪んでしまった原因は、脚部ユニットとのつなぎ方が従来のものでは不十分であったためである。



赤枠：K～Mの偏った配置がフレームのねじれを誘発し、
脚ユニットの持ち上げを不可に

青枠：機体左右連結フレームの強度が不足し、
片側の脚を持ち上げても
このフレームがねじれ、脚が接地してしまう

図４　「グラスゴート」卒論最終実験状態

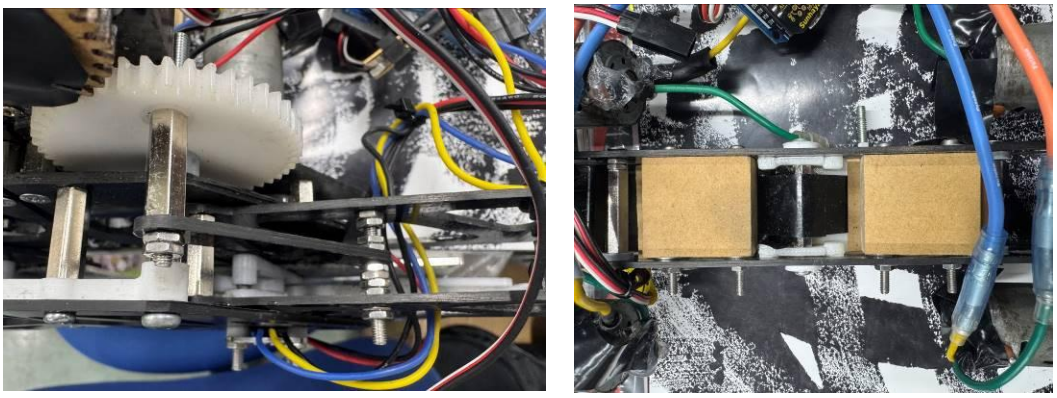


図５「グラスゴート」第二次改装
左：４節リンク機構を構成するパーツ　右：木材を挟んだフレームを構成するパーツ

そのため、図５の左のように４節リンク機構を構成するパーツを脚部ユニットの中心につながるように改良した。姿勢を支えるためのフレームが歪んでしまった理由は、フレームどうしの間のスペースが多すぎたためである。そのため、図５の右のようにフレームどうしの間に木材を２つ挟み込むように取り付けた。
これらの改善により、グラスゴートはパーツが歪むことなく、動力を脚部ユニットに十分に伝達できるようになり、段差昇降実験を行える状態に至った。

3. まとめ

本研究では、小型多脚歩行ロボット「グラスゴート」を改良し、段差昇降用の機構を追加することを目指した。当初は、ベニヤ板を主体に再設計した「ウッドゴート」の開発も計画していたが、「グラスゴート」のパーツ再設計と動作確認に時間と費用を要したため断念した。その代わりに「グラスゴート」の段差昇降機構の設計に専念した結果として、カーボンや樹脂の加工技術や3Dプリンターの基礎を習得でき、大きな成長を実感することができた。

参考文献

[1] 加藤翔，今林京介，古川大介，齋藤敬，”板と支柱を基本構造とした荷重分離型三次元リンクによる簡易４脚歩行ロボット”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, vol.2025, in press
[2] Saito, T.K. et al., “A Multi-purpose Eight-Legged Robot Developed for an Evaluation of a Neural Interface”, *Springer Tracts in Advanced Robotics*, vol.24, pp.385-394, 2006.
[3] 藤原涼介，伊藤雄拓，ニックスステファニー，齋藤敬，“車輪－脚切替機構を有する高耐久性多脚歩行ロボット（第２報）”，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集，vol.2022, p.2A2-O11, 2022.
[4] 酒井賢二，”かわさきロボット競技大会がもたらしたもの”，日本ロボット学会誌, vol. 27(9), pp.994-996, 2009.