

# 形態変化と多機能化の両輪を回したロボット開発

## 木村 航平 研究室

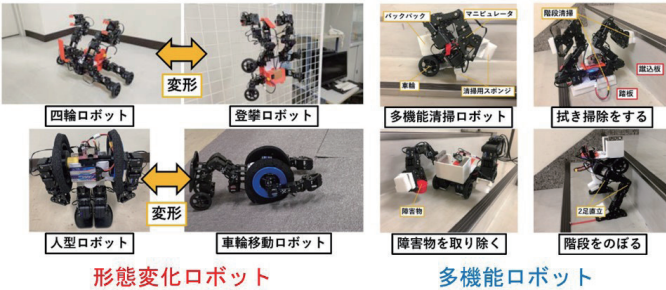


木村 航平  
Kohei KIMURA

ロボットハンド(グリッパ)で棒状や格子状の面をつかみながら登るロボットや、つかむ場所のない壁面に対して、吸盤や磁石で吸着しながら登るロボットなどが近年開発されています。これらは従来、異なる移動環境に対して異なる機体や手先(エンドエフェクタ)が必要でした。また、作業(タスク)の観点では、例えば、階段清掃ロボットののように、階段の水平面(踏板)に限定した清掃を行う事例はありますが、「階段を登る」「踏板を拭く」

### 形態変化と多機能化の両輪を回したロボット開発

研究室では、多様な形態に変化する**形態変化ロボット**、多様なタスクを実現する**多機能ロボット**、の研究開発に日々取り組んでいます。**形態変化と多機能化**の両輪を回すことで、実世界におけるロボットの活動可能性を拡げていきます。



形態変化ロボット

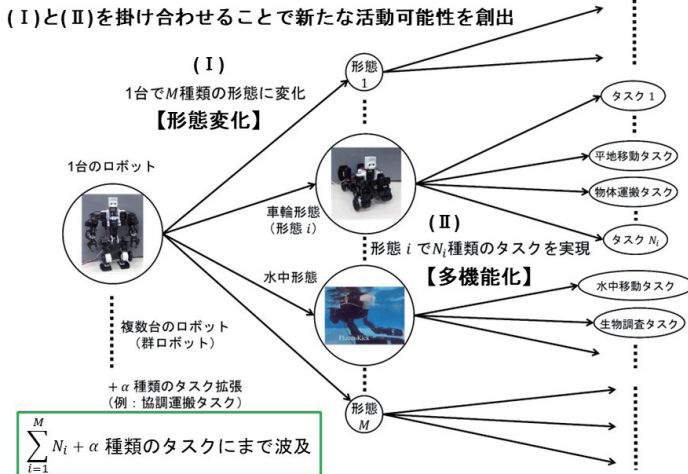
多機能ロボット

だけでなく、「階段の鉛直面(蹴込板)を拭く」「障害物を取り除く」と

いった異なるタスク要件が求められる場合、別の異なる機体や追加

の腕(マニピュレータ)が必要となり、機体の大型化や重量の増加

### 形態変化 × 多機能化 の構想



複雑化が避けられないといった課題がありました。このようにロボット分野では、環境や技能に応じて必要な機体や装置が異なることから、各領域で別々に技術開発が進められているのが現状です。

そうした背景において、木村航平助教は、「同一の機体で複数の役割を担うロボットをつくる」ことを目指し、主宰する研究室では、I)多様な形態に変化する形態変化、II)多様なタスクを実現する多機能化、の両輪を回したロボティクスの研究教育基盤を確立してきました。加えて、形態変化のみでは周囲環境への働きかけに乏しく、多機能化のみでは活動環境に制約があることから、両者を相補した独自のIII)形態変化と多機能化の統合

#### キーワード

ロボット工学、制御工学、形態変化、多機能化、登攀ロボット、ヒューマノイド、階段清掃ロボット、片付けロボット、グリッパ開発、マニピュレーション

所属	大学院情報理工学研究科 情報学専攻 機械知能システム学専攻(兼任)
メンバー	木村 航平 教授
所属学会	米電気電子学会(IEEE)、日本ロボット学会、計測自動制御学会、日本機械学会
E-mail	kimura@uec.ac.jp

吸盤併用グリッパの要素技術開発

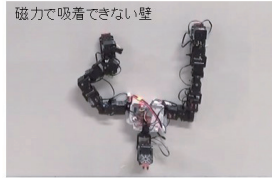


吸盤併用グリッパ [特開2024-111388]

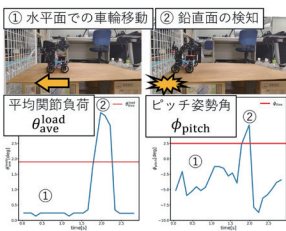


フェンス登攀・高所点検

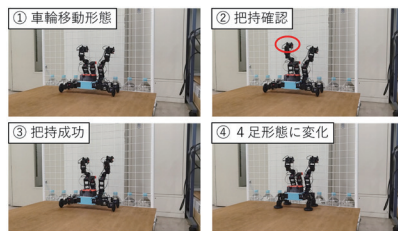
棒状・格子状の面に対してはグリッパによる把持  
網み所の無い面に対しては吸盤による吸着



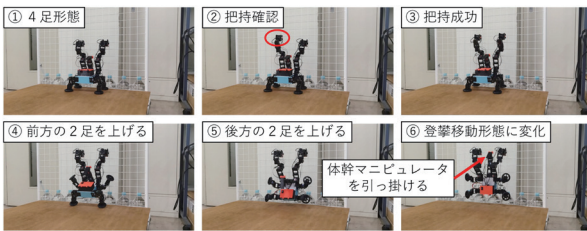
磁力で吸着できない壁  
受動吸盤により非磁性体の壁を登攀



【Phase 1】  
水平面から鉛直面への移行の検知



【Phase 2】  
車輪移動形態から4足形態への変化



【Phase 3】  
4足形態から登攀移動形態への変化  
水平面から鉛直面への移動形態変化

に関する研究開発も推進していきたいと木村助教は考えています。

同一機体でフェンスと壁面をよじ登る登攀ロボット

そのために、まず形態変化ロボットの二つとして、同じ機体でフェンスと壁面の両環境をよじ登る登攀ロボットを開発しました。木村助教は、グリッパと吸盤を切り替えられる「吸盤併用グリッパ」装置を考案し、格子状のフェンスなどはグリッパで把持し、つかみ場所のない平たい面

は吸盤で吸着できる、高所点検などが可能な登攀ロボットを製作しました。受動吸盤により、磁力で吸着できない壁なども登ることができ、また、開発した吸盤併用グリッパは特許も取得しています。

これに加え、車輪の移動形態からフェンスの登攀形態へと変化するロボットも開発しました。このロボットは、水平面では四輪ロボットとして動き、鉛直面に衝突した際のマニピュレータにかかる関節負荷と機体の姿勢角の変化に基づ

いてフェンス面を検知すると、いったん停止してフェンスの把持確認動作で探索を行います。ここで把持に失敗すると、横に移動してふたたび適切な位置を探索します。把持に成功したら、その双腕のマニピュレータを一つ上の段に動かして、再度、把持を確認した上で、マニピュレータと車輪部を折り畳んで機体を持ち上げ、フェンス登攀形態に変形します。

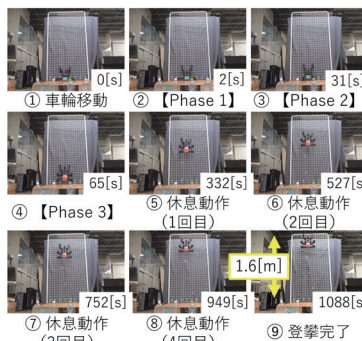
上述の形態変化後の登攀動作中には、ロボットの関節部分のサー

ボモータの温度が上昇し、一定値に達すると、体幹と双腕のマニピュレータを脱力して「休息」を取り入れ、この仕組みによって発熱に対処しながら、長時間の登攀を実現しています。実際に約1.6メートルの高さのフェンスを登れることを実機で検証しています。

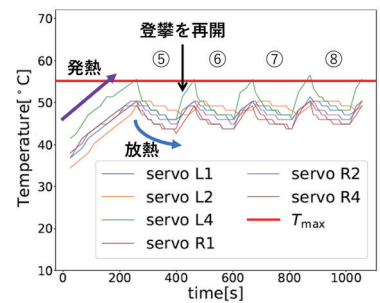
直近では、同一の機体で車輪の移動と、フェンスに限らず壁面の登攀が可能な形態変化ロボットも開発しており、「工場など、柵内の設備の高所監視や異常検出、窓の登攀など日常点検作業などに応用できるのではないかと木村助教は実用化を見ずえています。これに加え、高所作業用の遠隔操縦デバイスも独自に開発しており、バイラテラル制御により遠隔での物体操作が可能なネット(網)登攀ロボットなども作製しています。

ヒューマノイド+傘の開閉機構

二つ目の形態変化ロボットとして、不安定な人型ロボットの形態

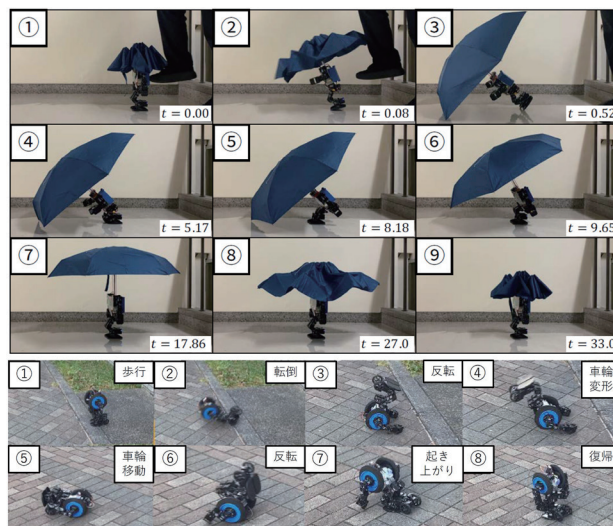


(a) 水平面からの登攀実験  
4回の休息動作⑤~⑧を入れることでフェンスの最高地点まで登攀成功

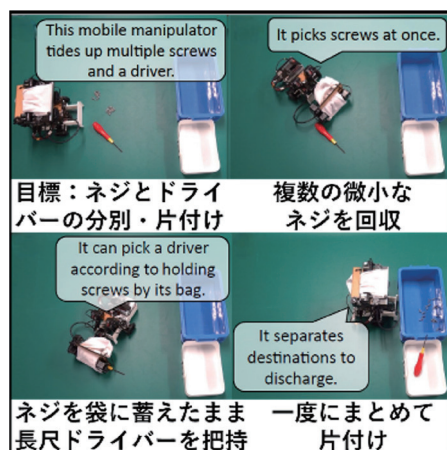


(b) 各サーボモータの関節温度変化  
マニピュレータを脱力した休息動作⑤~⑧により関節温度が下がったら登攀を再開

マニピュレータの脱力による休息を活用した登攀



折り畳み傘や柔らかい車輪を搭載し、転倒時の衝撃を和らげる形態変化ヒューマノイド



区切り機構を備えた袋付きマニピュレータによる多様な物体の分別・片付けロボット

部に柔らかい受動車輪、脚の後方に能動車輪を搭載し、段差や坂道で転倒しても衝撃を緩和できる車輪変形型のヒューマノイドなども試作しています。

### 階段清掃／片付けロボット

一方、多機能ロボットの領域では、階段清掃ロボットを開発しながら、階段を登り、姿勢を変えながら、踏板と蹴込板の拭き掃除をし、拭けない対象物については回収や除去を行います。ロボットの構成要素であるスポンジホルダー付きマニピュレータを「階段の登

攀」、「踏板の拭き掃除」、「蹴込板の拭き掃除」、「拭けない対象の回収や除去」といった個々のタスクに共通利用させることで、同じ機体で多くのタスクをこなせるようになりました。

もう一つの多機能ロボットは、袋

を活用した大小・個数さまざまな物体の片付けロボットです。これはロボットに布製の袋を取り付けることで、床面に置かれたボトルや薄板から、ネジなどの微小な物体、さらには機体よりも大きな長尺物などを袋の中に回収でき、そのまま移動して運搬することも可

能なロボットです。さらに、袋付きマニピュレータに独自で開発した区切り機構を設けることで、複数の物体を同時に回収して仕分けができる、分別・片付けロボットも実現しています。

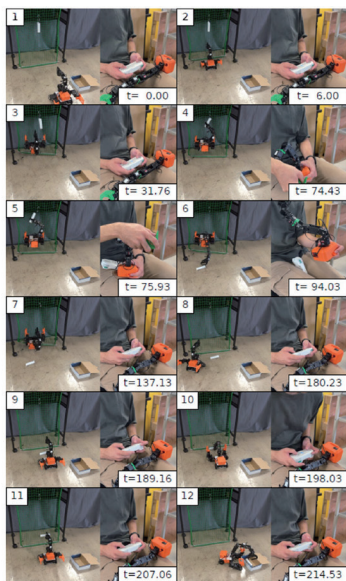
### 登攀型と車輪型の形態変化・移動と作業の多機能化を統合

これらの形態変化ロボットと多機能ロボットの開発実績を活かし、木村助教は最近、登攀型と車輪型の形態変化・移動と作業の多機能化を統合したロボット開発にも着手しています。つかむ所が定まら

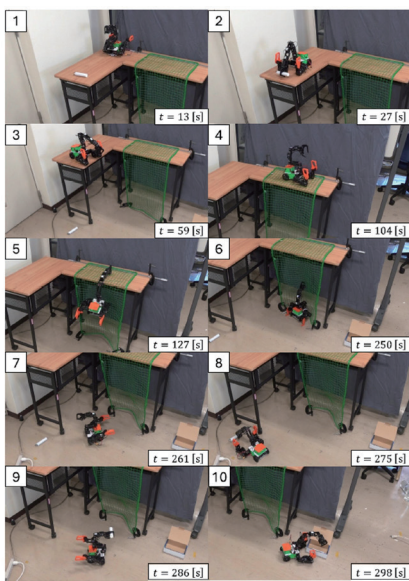
ない柔らかいネットでも確実に把持して登攀移動でき、かつ剛体の物体操作も可能なカラビナ型グリッパの要素技術を開発しました。カラビナ型グリッパを車輪付き登攀ロボットに適用し、手の届かない高所物体の片付けや、高低差のある環境間での片付けを、登攀型と車輪型で形態変化させながら移動と作業の多機能化を実現する一連の統合動作を確認しています。

木村助教は「形態変化と多機能化を組み合わせることで、壁を登ったり、水中を泳いだり、空を飛んだりときさまざまな姿に変形しながら目的地へ移動し、高所作業や物体運搬、清掃など幅広いタスクをこなす万能なロボットを開発したい」と展望を語り、ロボットのまだ見ぬ可能性に大きな期待を寄せています。

【取材・文】藤本信穂



(a) 手の届かない高所物体の片付け



(b) 高低差のある環境間での片付け

登攀型と車輪型の形態変化・移動と作業の多機能化を統合した実機検証