

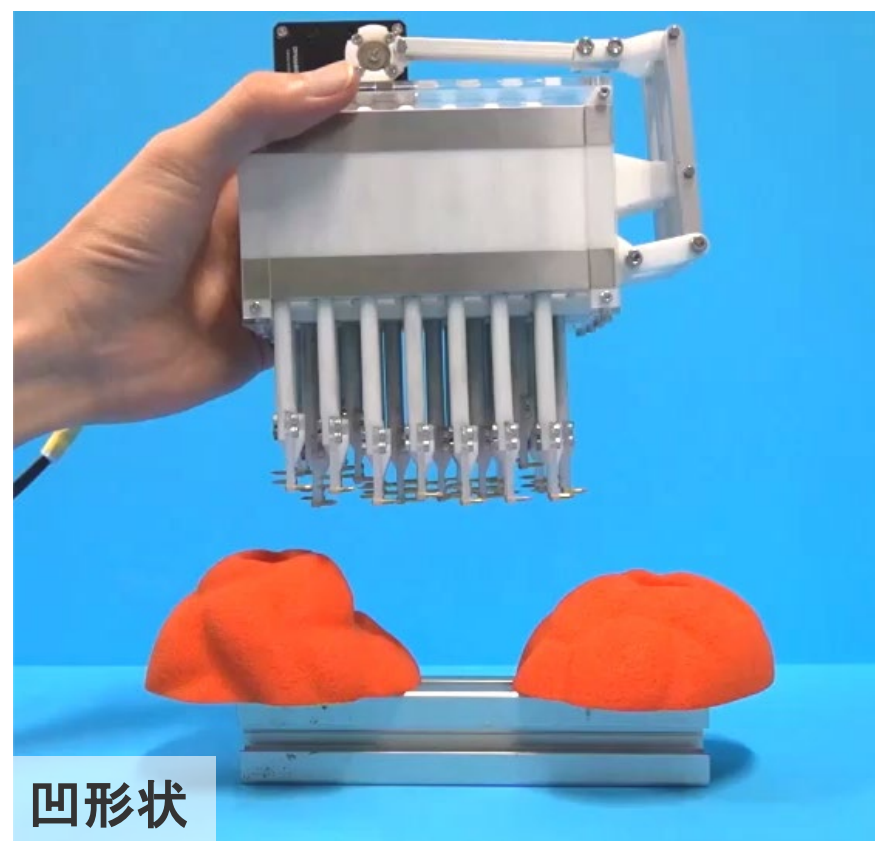
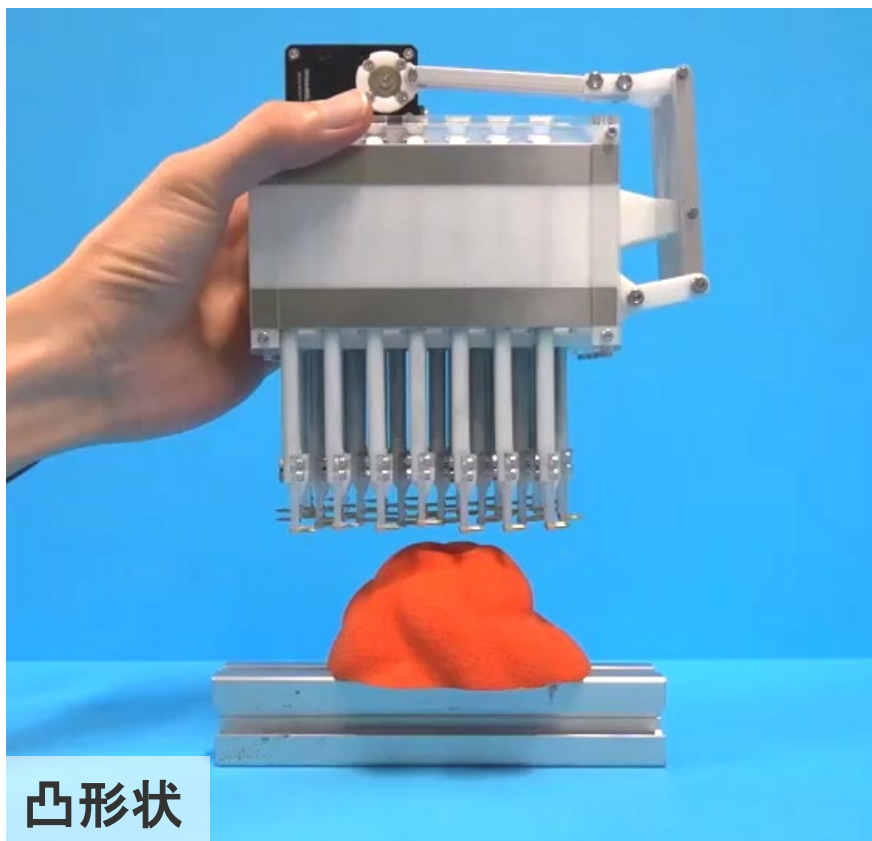
さまざまな凹凸形状をつかめる ピン配列型把持機構

東北大学 大学院工学研究科
航空宇宙工学専攻
助教 宇野健太郎

2023年7月11日



本発表のキーポイント

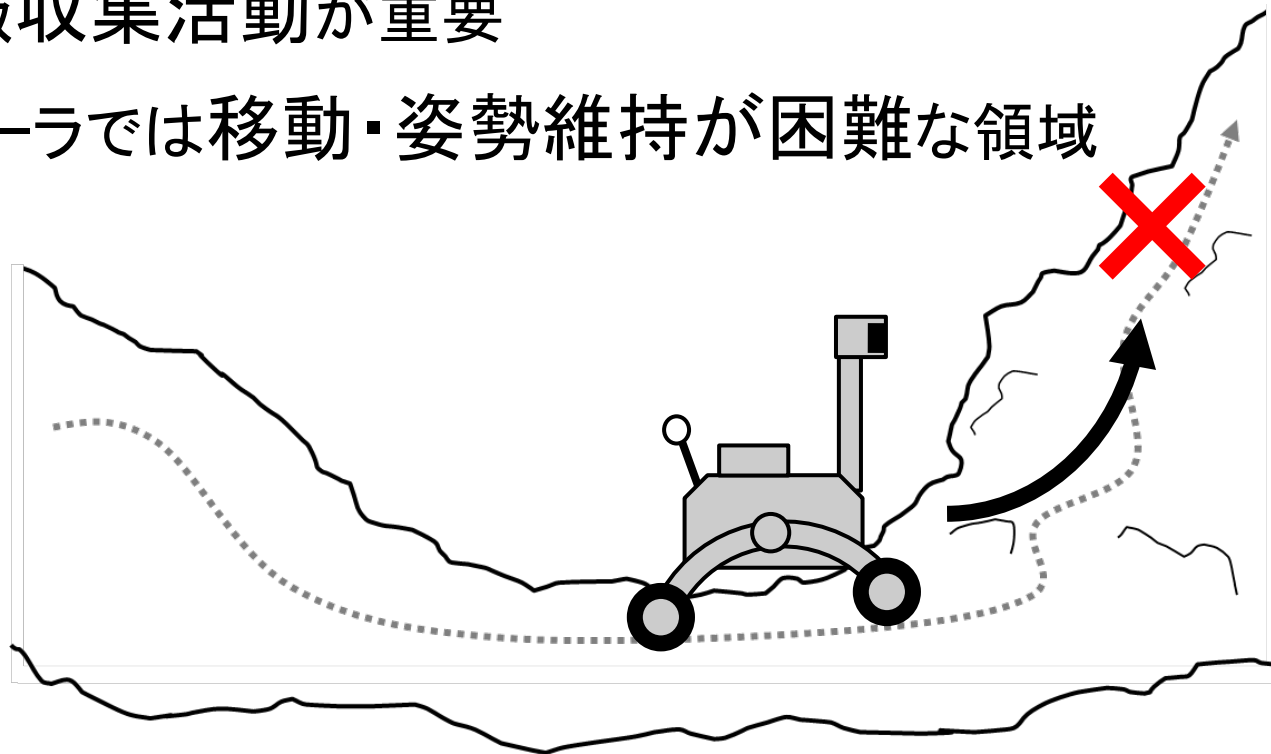


- 対象物の形状が未知の複雑な凹凸形状物であっても把持可能で、同時に形状の計測も可能な、簡単な機構のグリッパを開発した
- 搬送システム, 産業用機械, 不整地移動ロボティクス, 土木建設機械, 農業用機械などで有効グリッパを探索されている企業さまには有用と考えられる

開発に関わる背景

極限環境における移動ロボット

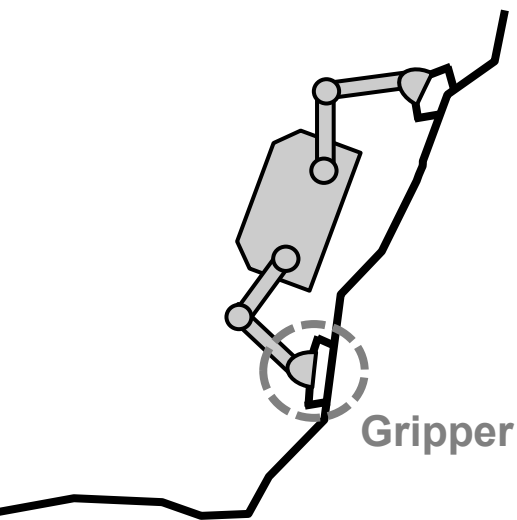
- 崖・洞窟・海底・火山火口に代表される極限環境は人に代わるロボットによる探査・情報収集活動が重要
- 従来の車輪やクローラでは移動・姿勢維持が困難な領域



こうした地形を踏破可能な、新たなロボットシステムが求められる

開発に関わる背景

把持機構を備えたクライミングロボット



HubRobo ©東北大/SRL

既知の模擬地形における自律クライミング
を実現



SCALER ©UCLA/RoMeLa

地球重力下で垂直壁・天井面でのクライミングを
実現

未知の自然地形における自律クライミングは実現していない

[1] K. Uno et al., "HubRobo: A Lightweight Multi-Limbed Climbing Robot for Exploration in Challenging Terrain", 2021.

[2] Y. Tanaka et al., "SCALER: A Tough Versatile Quadruped Free-Climber Robot", 2022.

開発に関わる背景

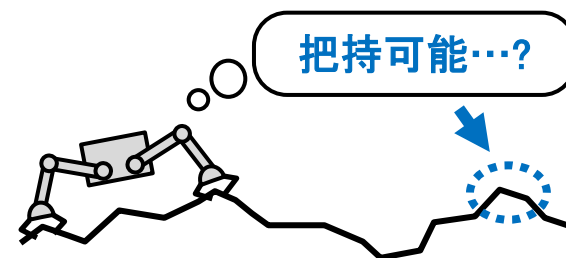
未知環境においてクライミングロボットに求められる機能



既知の模擬地形



未知の自然地形



ロボットに求められる機能

地形が未知 ... 未知の地形に適応的になじんで強靱に把持・登攀できる動作

自然環境 複雑な凹凸形状から把持点を抽出できる能力

開発する把持機構に求める機能

- 凹凸を含む**多様な未知の地形**であっても掴める機構が望ましい
- 探査活動および自己位置推定のために、**地形を計測**できる機能が必要

従来技術とその問題点①

多様な形状を掴むグリップ

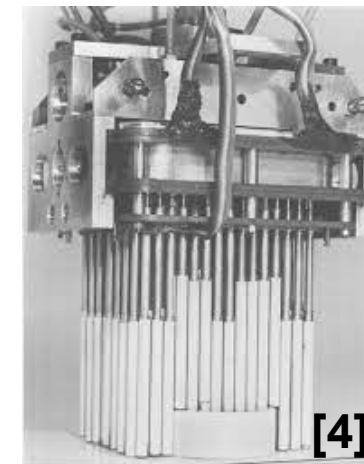
多自由度構造により，対象の形状になじみながら変形して把持を実現

ジャミング転移現象の利用

- 把持性能が表面膜および膜内物質の特性に依存 → 温度変化の激しい環境では使いにくい

ピン配列構造

- 把持できる形状に制限
- ロボットの姿勢を支えるには，把持力が弱い



[3] E. Broun, et al., "Universal Robotic Gripper Based on the Jamming of Granular Material", 2010.

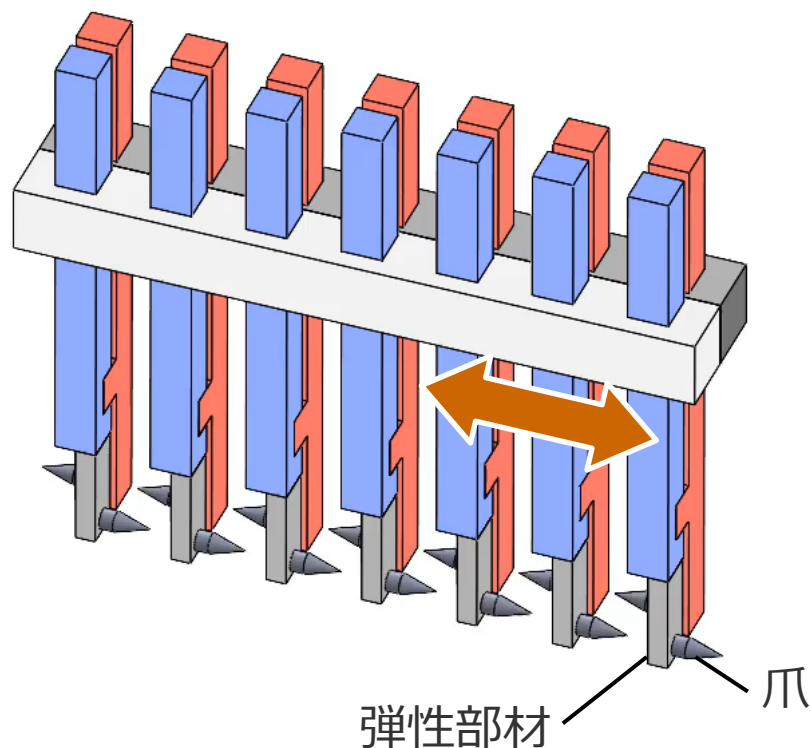
[4] P. B. Scott, et al., "The 'OmniGripper': A Form of Robot Universal Gripper", 1985.

[5] A. Mo, et al., "A Novel Universal Gripper Based on Meshed Pin Array", 2019.

今回開発した新技術

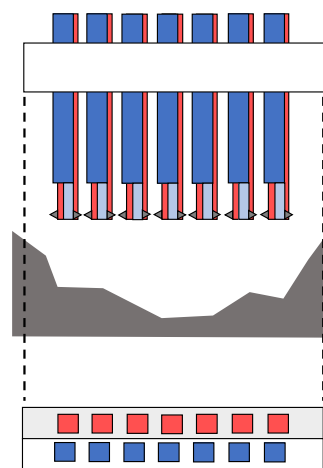
提案するピン配列型把持機構

爪と弾性部材を備えたピン配列と水平方向に互い違いに駆動可能なホルダーから構成

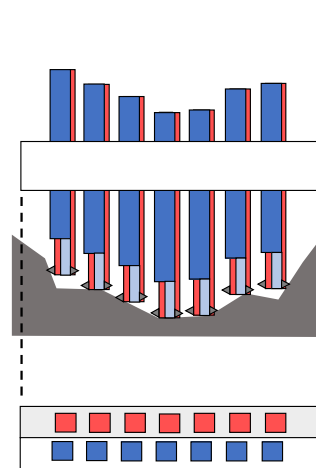


把持動作のフロー

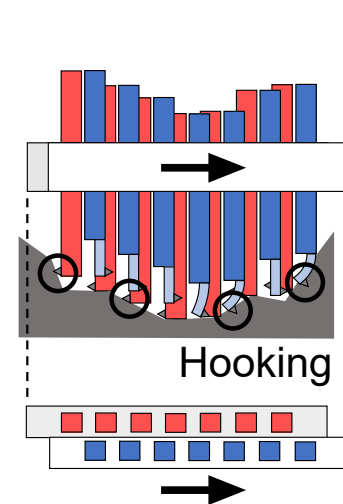
(a) Approaching



(b) Adapting



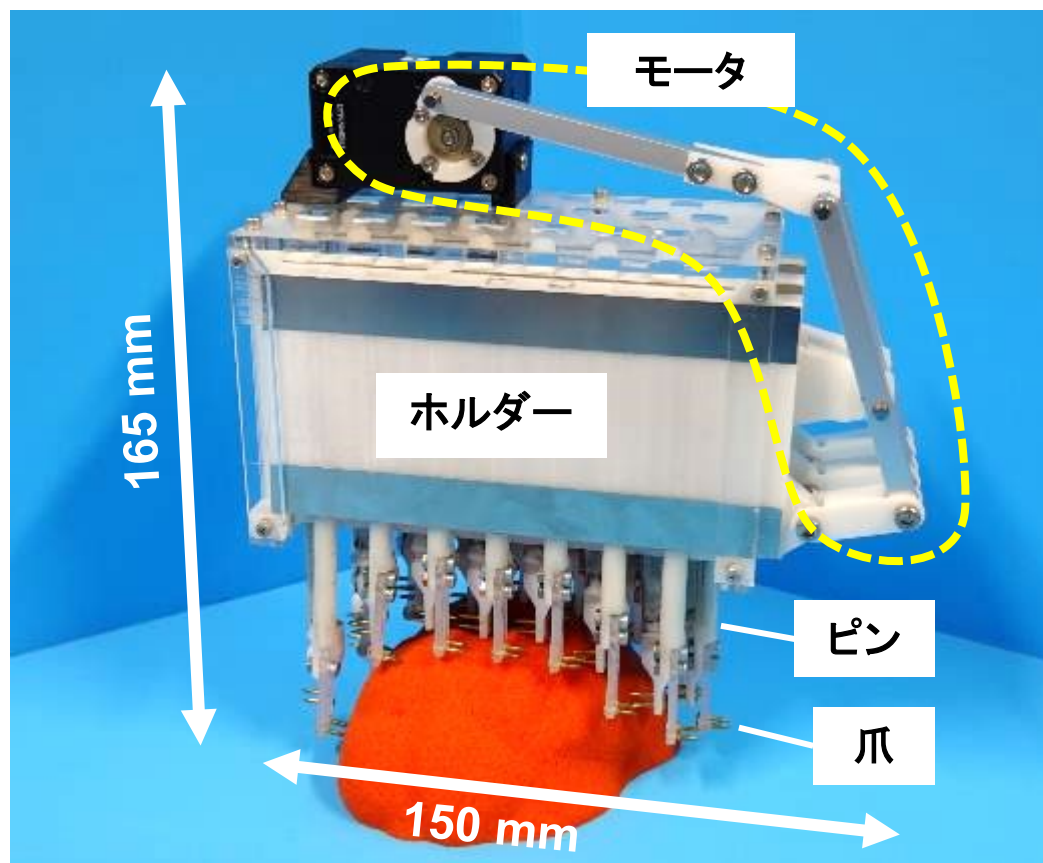
(c) Locking



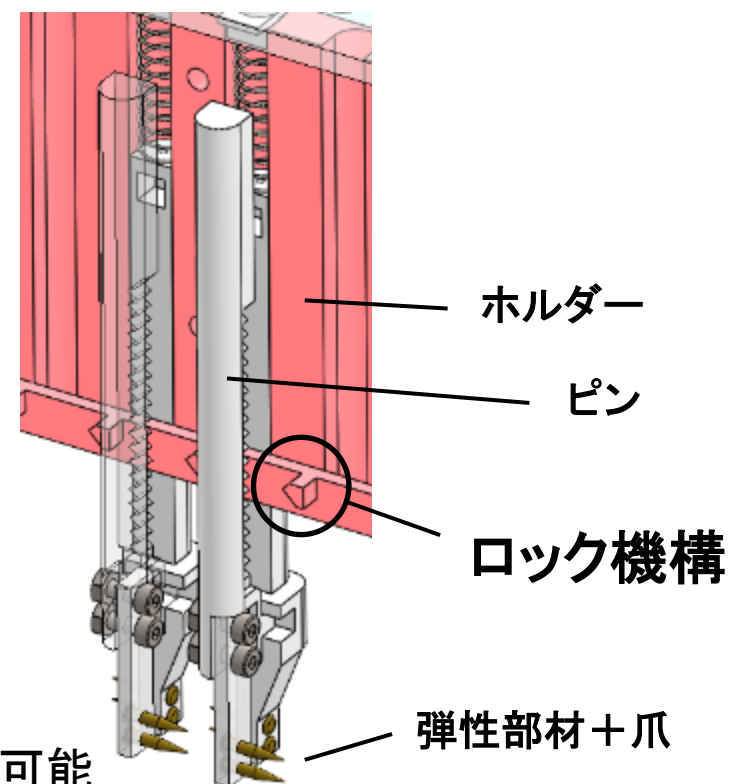
形状が未知でも、同じ動作で凹と凸両方の形状の把持が可能

今回開発した新技術

把持機構の具現化



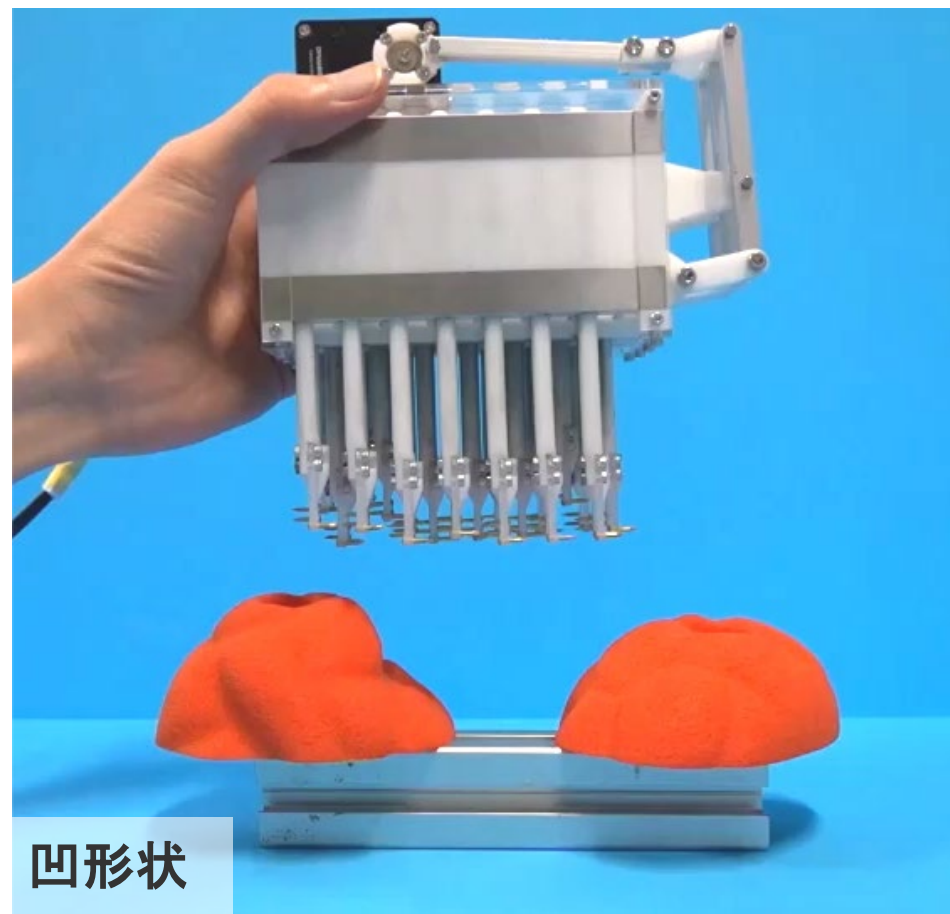
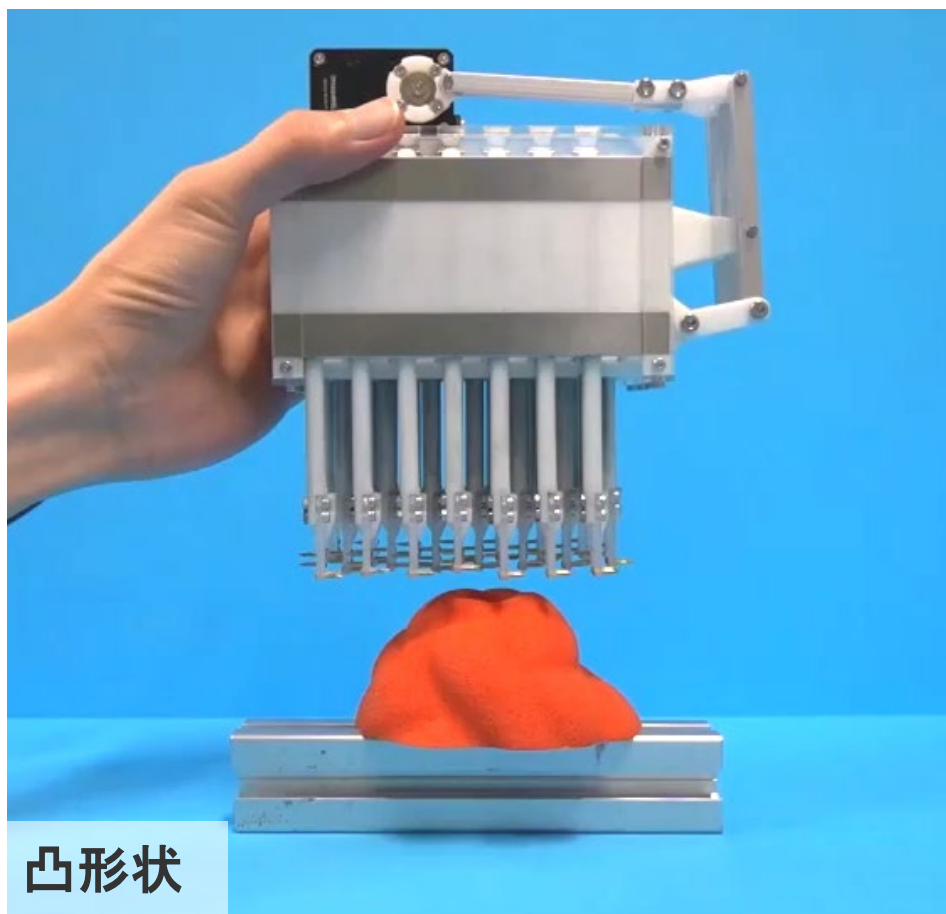
- 7本×3列=21本のピンで構成
- 爪: 真鍮
- 弾性部材: ポリカーボネート



モータとリンク機構により, どの形状でも
機構を押し付けてモータを一定角度回すだけで把持可能

今回開発した新技術

把持機構の具現化

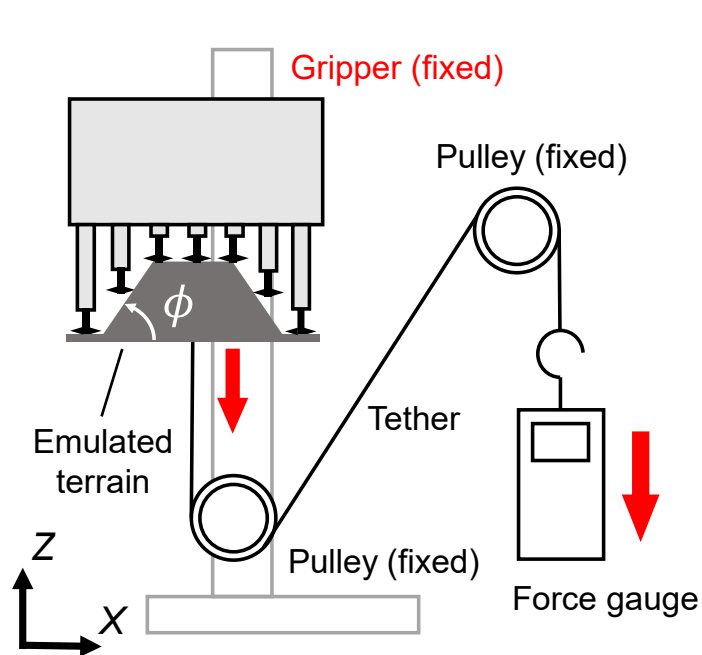


凸と凹両方の模擬地表面(500 g)を安定して持ち上げることに成功

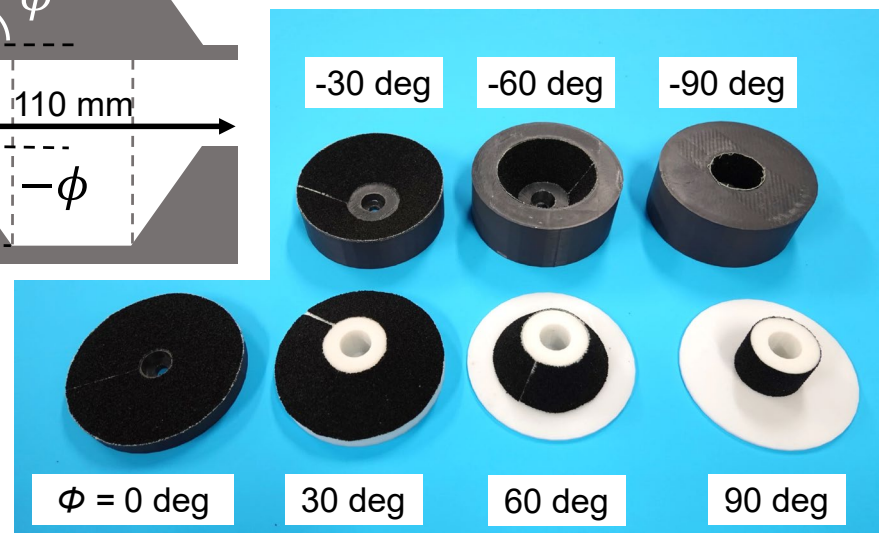
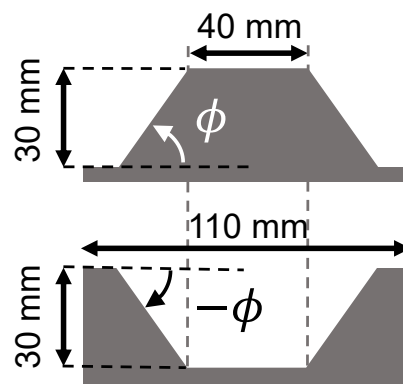
今回開発した新技術

把持機構の評価

さまざまな形状における，引剥外力に対する把持力を比較^[6]



実験の構成



模擬地表面

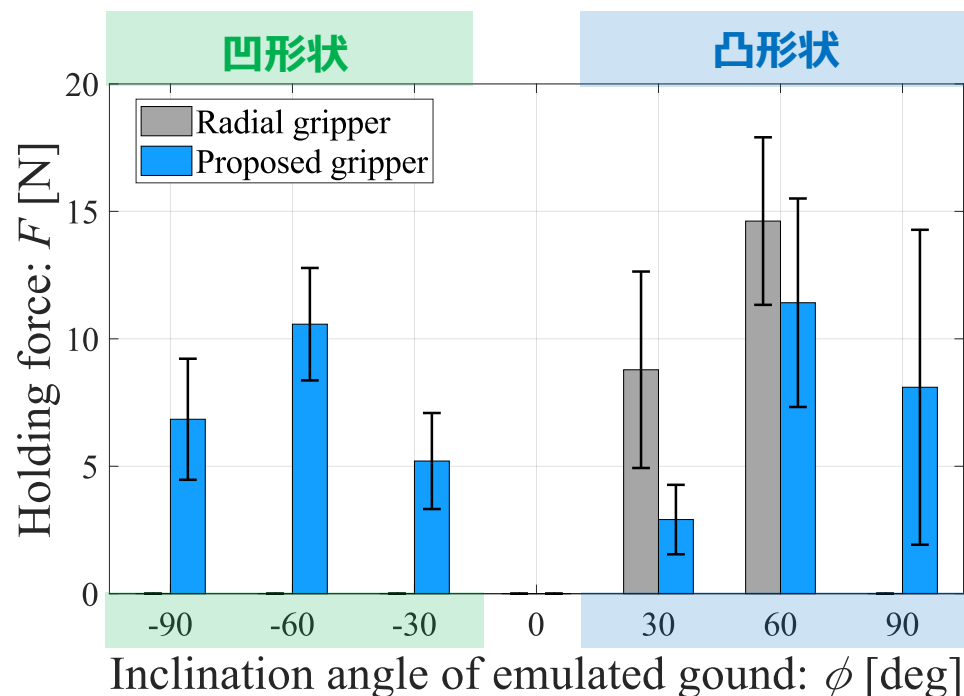
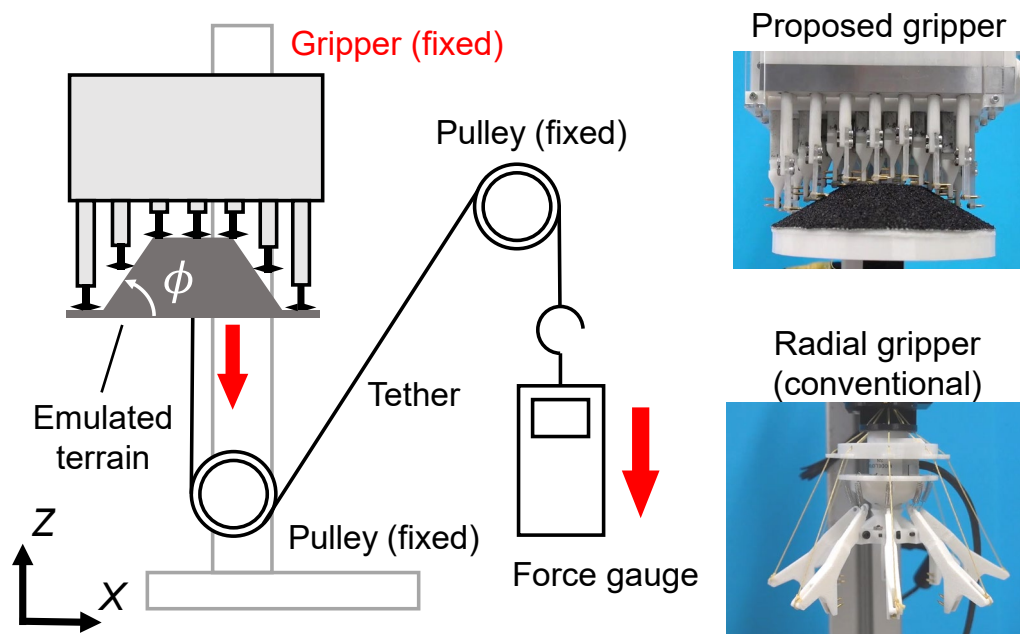
爪が円形に配置された従来型グリッパと比較

[6] 加藤 匠哉, 宇野 健太郎, 吉田 和哉, “ピン配列型凹凸地形把持機構”, 第40回日本ロボット学会学術講演会, 2022.

今回開発した新技術

把持機構の評価

さまざまな形状における, 引剥外力に対する把持力を比較^[6]



- 従来型よりも幅広い傾斜角で, 5~12 Nの安定した保持力を得た
- 傾斜角が緩やかになるほど, 保持力が減少する傾向がみられた

[6] 加藤 匠哉, 宇野 健太郎, 吉田 和哉, “ピン配列型凹凸地形把持機構”, 第40回日本ロボット学会学術講演会, 2022.

従来技術とその問題点②

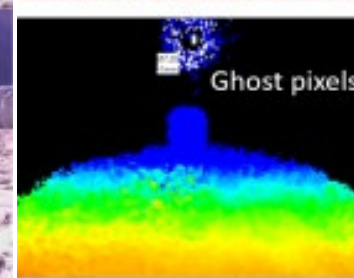
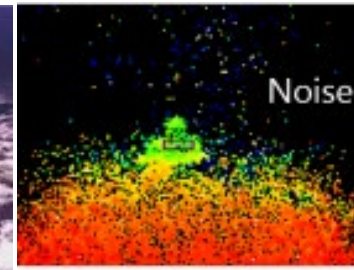
ロボットによる環境認識

視覚情報:

- ・カメラ … 直射日光により精度が低下^[7]
- ・LiDAR … 最小検出距離があるため、ロボット-地表面間の距離を確保する必要

触覚情報:

配置できるセンサ数が少なく情報の密度に課題



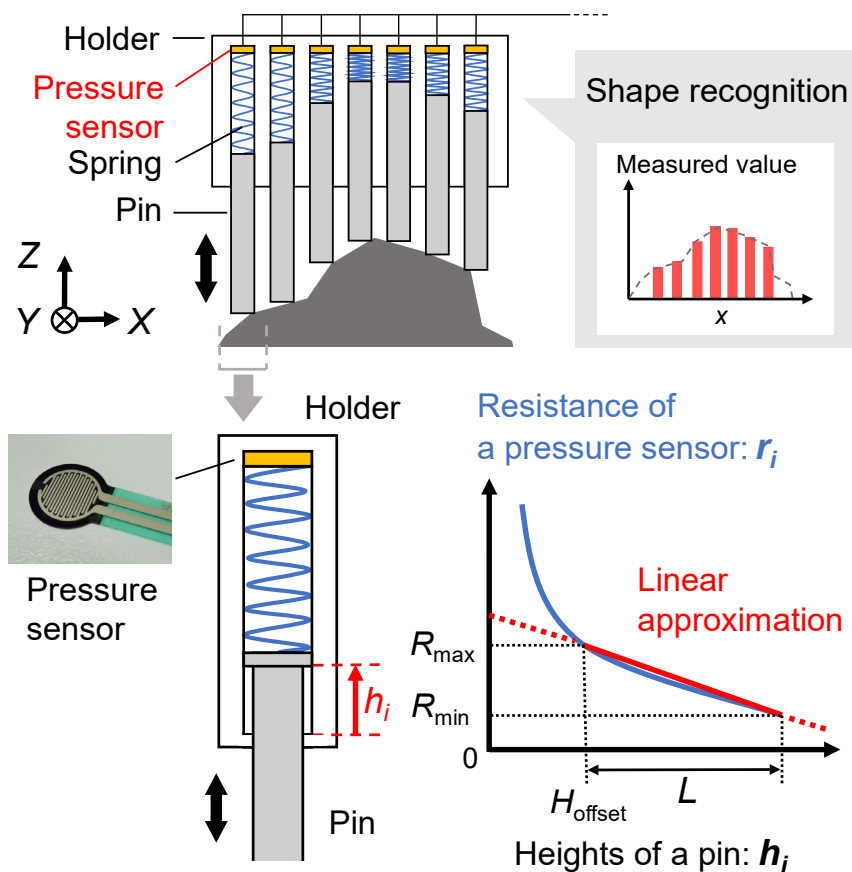
未知な自然環境で緻密な地形情報を得るための計測技術が必要

[7] K. Uno, et al., "Qualification of a Time-of-Flight Camera as a Hazard Detection and Avoidance Sensor for a Moon Exploration Microrover", 2018.

[8] D. Tanaka, et al., "Object Manifold Learning with Action Features for Active Tactile Object Recognition", 2014.

今回開発した新技術

ピン配列型把持機構による形状の計測^[9]



- すべてのピン上部に感圧センサと押しばねを配置
- 各ピンの変位を、センサの抵抗値から下式によって求める
(抵抗値を線形近似)

$$h_i = \frac{r_i - R_{\max}}{R_{\min} - R_{\max}} + L + H_{\text{offset}}$$

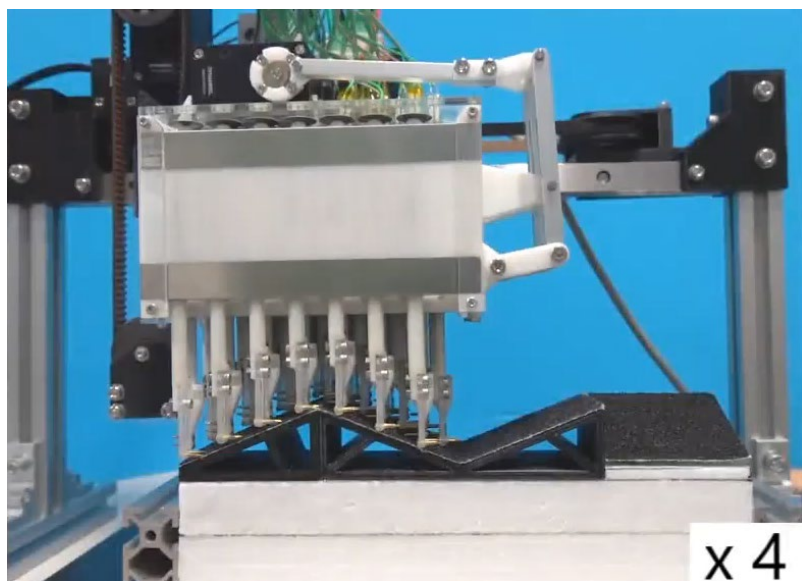


グリッパの地表面への押付けにより、緻密な形状情報が取得可能

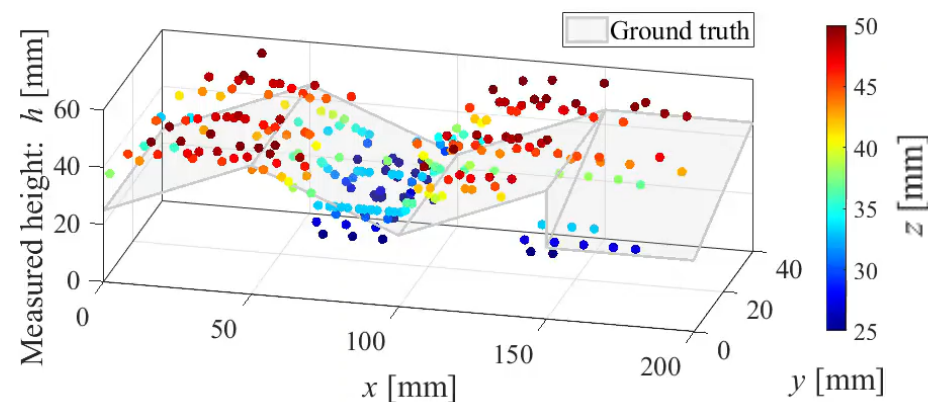
[9] T. Kato, K. Uno, K. Yoshida, "A Pin-Array Structure for Gripping and Shape Recognition of Convex and Concave Terrain Profiles", 2022.

今回開発した新技術

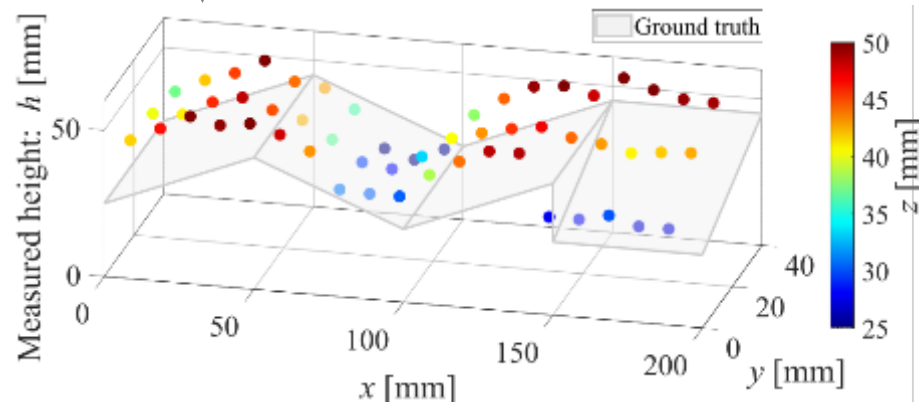
ピン配列型把持機構による形状の計測



- 凸形状, 凹形状を含む地形の3次元点群マップを取得
- 平均化処理により外れ値を除去
→ 異なるピンで何度も測定することでピンの個体差の影響を減らせる

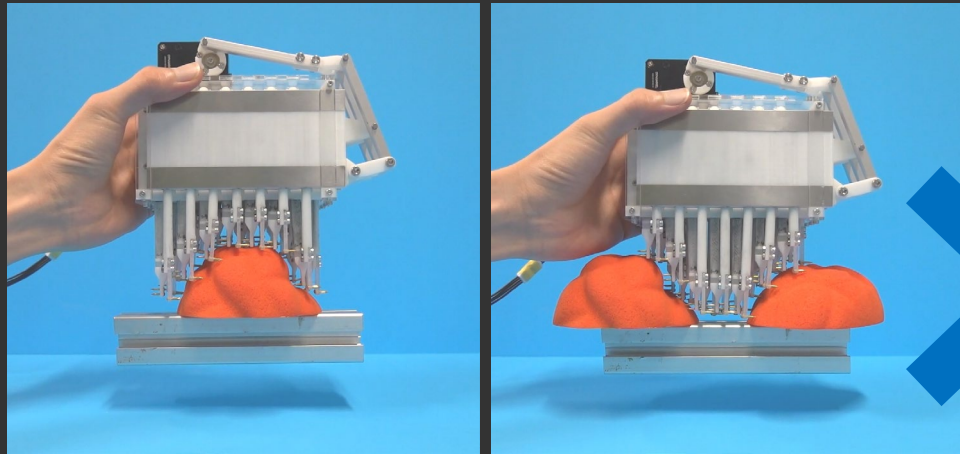


X-Y平面の格子で分割, 平均化

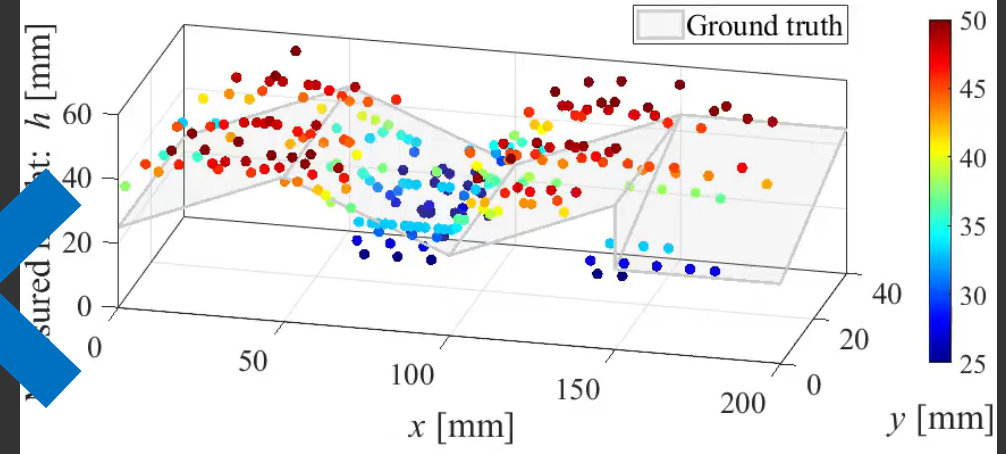


$$\bar{e} = 7.67 \text{ mm}$$

従来技術との比較



未知の凹凸地形の把持を実現



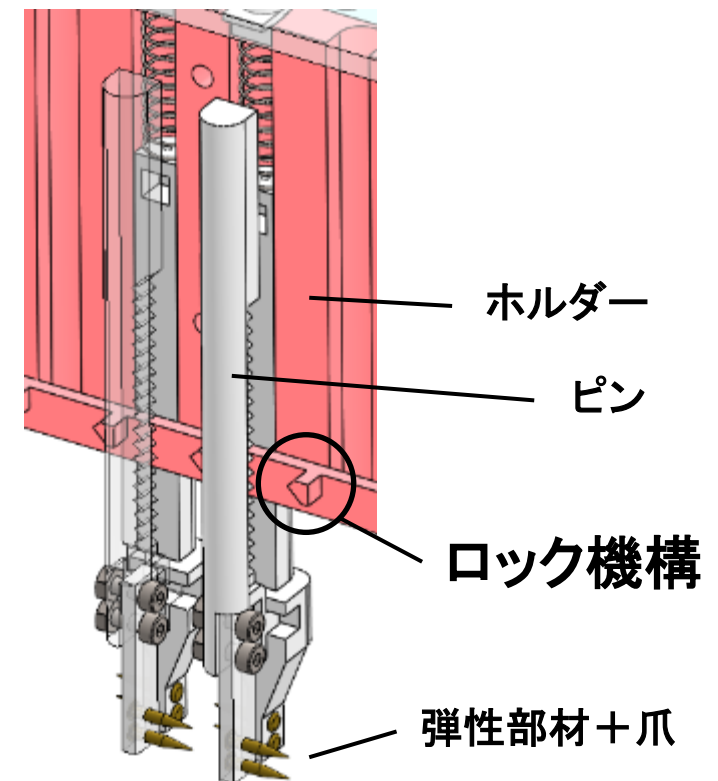
接触から地形形状を計測

- 従来のグリッパは、事前に**地形のセンシング**などが必須なうえ、形状によっては **把持力が弱い** or **把持できなかった**
- 本技術では**どのような形状（未知も含む）**の対象物に対しても形状に沿った接触が可能である
- 接触後、複数のピン先を動作させ対象物を**強固に把持**できると同時に**形状の計測**も可能である

新技術の特徴

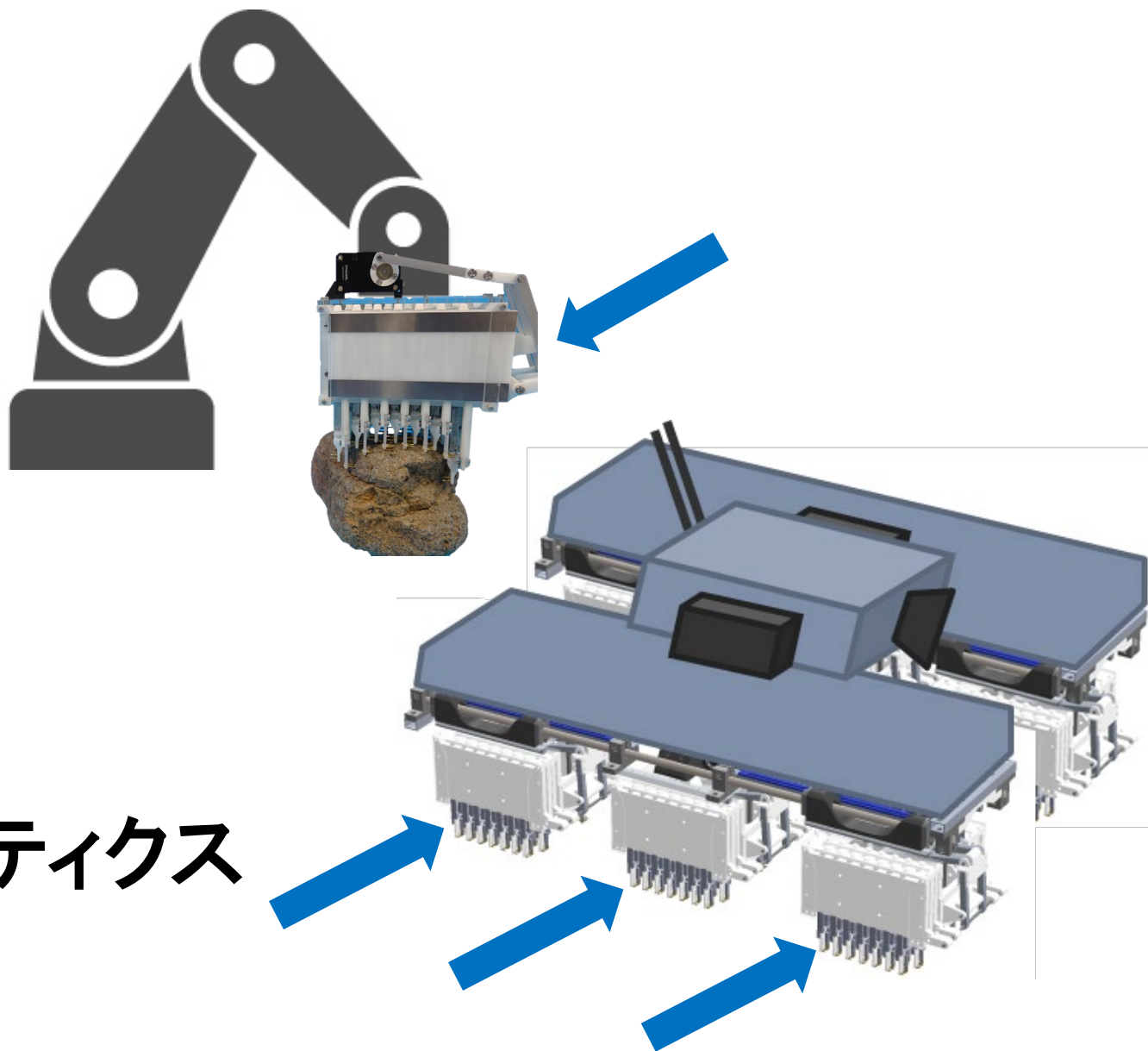
- 対象物が凸形状でも凹形状でもどちらも同じ動作原理でピン配列を動作させて接触把持するため、必要な**アクチュエータ数は1つ**だけである
- ピン配列を水平方向に動作させた際にピンの動きがロックされ、より安定した把持を実現する
- 対象物に接触させた時のピンの移動量を計測することで、対象物の3次元形状計測も可能である
- ピン先にゴム製素材を用いるなどすることで、**柔らかい不定形状も把持可能**と考えられる

- 7本×3列=21本のピンで構成
- 爪：真鍮
- 弾性部材：ポリカーボネート

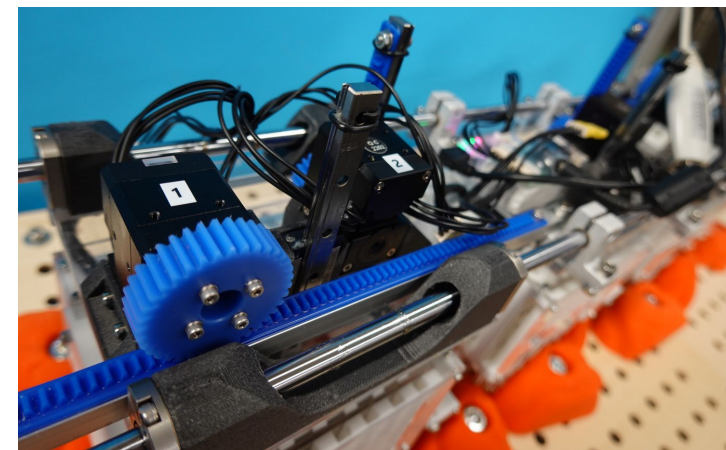
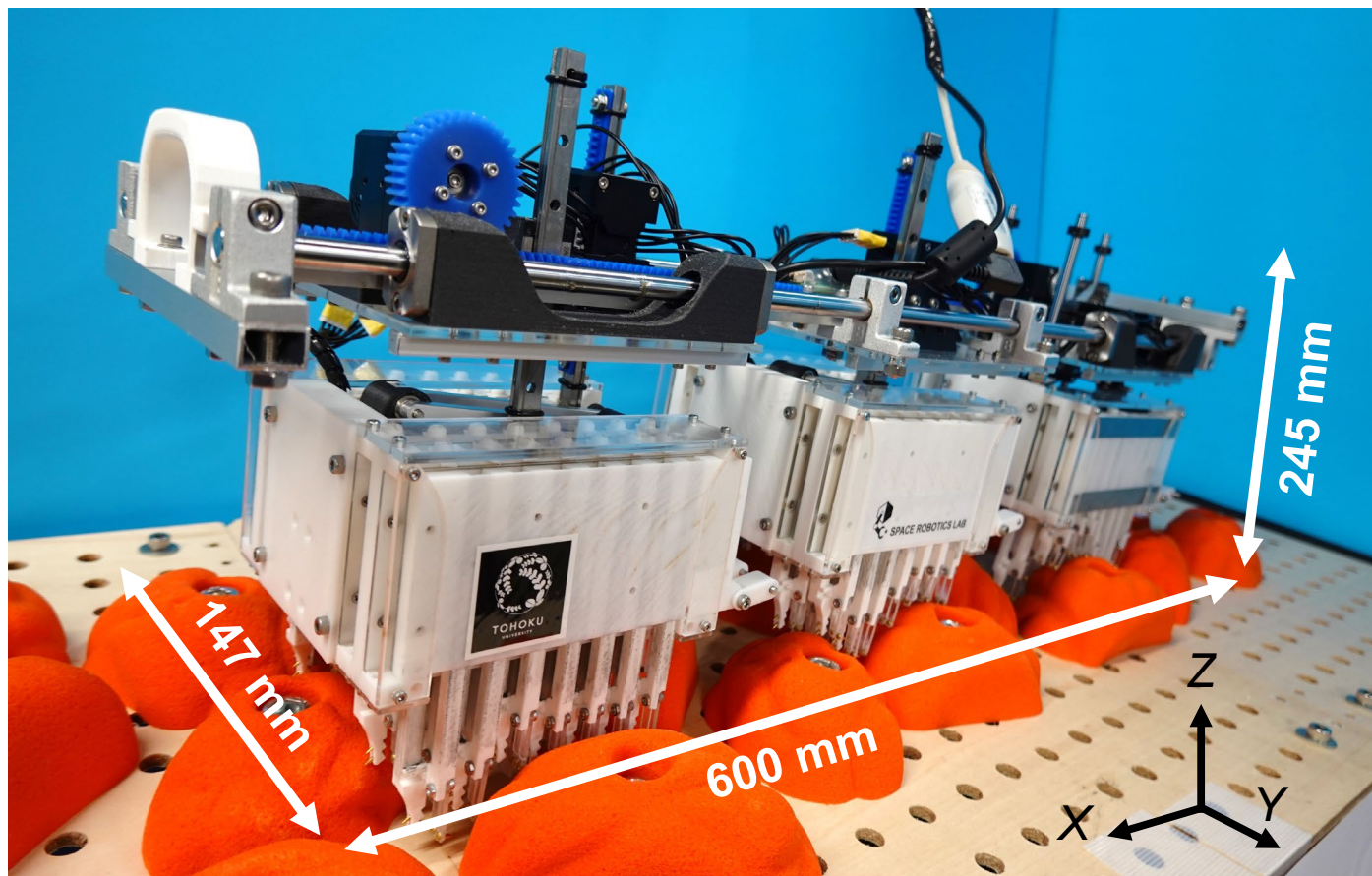


想定される用途

- 搬送システム
- 産業用機械
- 土木建設機械
- 農業用機械
- 不整地移動ロボティクス



想定される用途(一例)



- 全体の質量: 4.6 kg
- 電源は外部から供給
- アクチュエータは
サーボモータ Dynamixel
XM430-W350-Rを使用

複数の把持ユニットによる移動ロボットシステムを開発^[10]

[10] 加藤匠哉, 宇野健太郎, 吉田和哉, “複数のピン配列把持モジュールによる崖登りロボットの開発”, 2023.

想定される用途(一例)



実用化に向けた課題

- ✓ 現在、プロトタイプ開発は完了しており、基本的な動作原理は実証済み
- 今後は、ピン配列密度やサイズ等を改良して、より強靱で安定した把持力が得られるモジュールに改良開発をおこなってゆく
 - (※現状は0.5kgの物体を持上可能であることを確認)
- 実用化に向けて、ピンの沈込量をより正確に計測することで、接触相手の形状計測の精度を<1mmまで向上できるように技術を確認したい
 - (※現状は平均誤差7~8mm)

企業さまへの期待

- 量産化・高品質化を目指した本技術の改良開発を共に取り組みたい
 - 現状は3Dプリントによるプラスチックなどを用いた試作品段階
 - 金属加工品等を用いることで、ピン配列の高密度化ができれば、把持力や動作精度の向上が期待できる
 - ピンの沈込量の計測精度の向上は安価な感圧センサではない他の手法でピンの移動量を個別に計測することで改善できると考えられるが製造コストとのトレードオフあり
- 実現場への応用を目指した共同研究をしたい

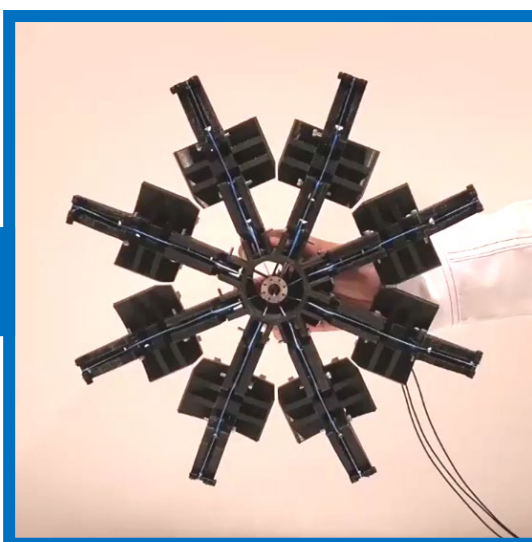
搬送システム, **産業用機械**, **不整地移動ロボティクス**, **土木建設機械**, **農業用機械**などで有効なグリップを探索されている企業さまには、本技術の導入が有効と思われる

その他の技術(速報)

車輪-グリッパ間変形可能機構



グリッパモードで
岩石地帯を把持



変形可能



車輪モードで砂地走行

グリッパモードと車輪モードを**変形可能**な新モジュールを開発

本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 把持機構
出願番号 : PCT/JP2022/021947
出願人 : 東北大学
発明者 : 加藤匠哉, 宇野健太郎

発明の名称 : エンドエフェクタ及びロボット
出願番号 : 特願2023-102850
出願人 : 東北大学
発明者 : 宇田 昌弘, 澤 健太, 加藤 匠哉,
宇野 健太郎

お問い合わせ先

東北大学
産学連携機構 ワンストップ窓口

問い合わせフォーム

<https://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/aboutus/form>

TEL 022-795 - 5275

FAX 022-795 - 5286