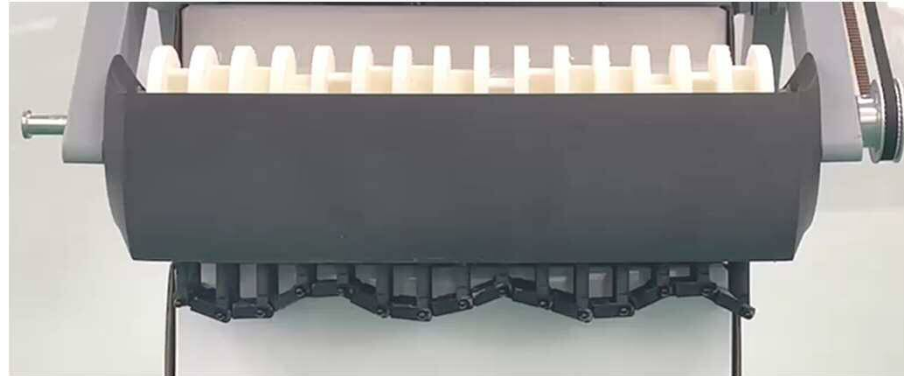
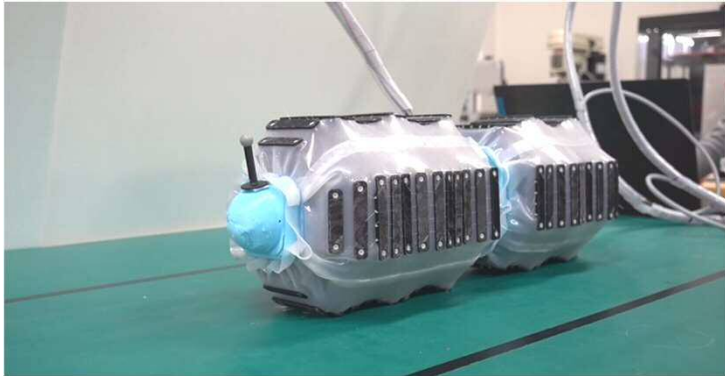
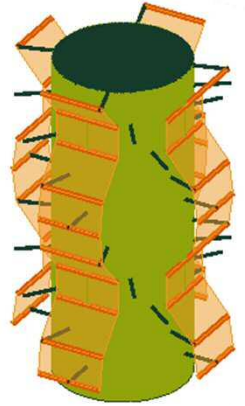


2023年12月5日

# 螺旋翼を用いた 軸方向マルチ面波動伝播装置

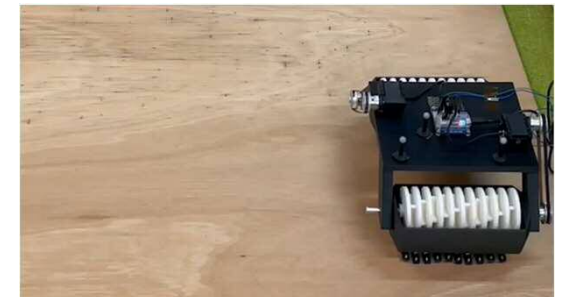


九州工業大学

大学院工学研究院

機械知能工学研究系

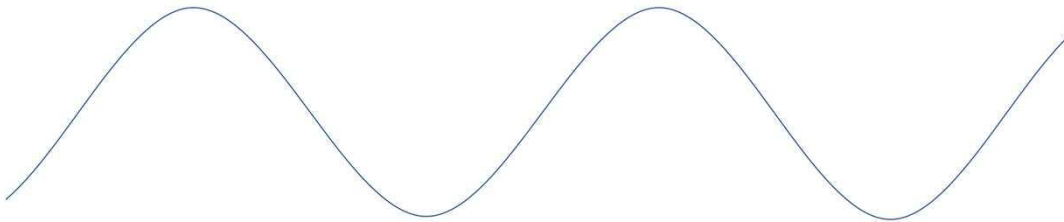
教授 永岡 健司



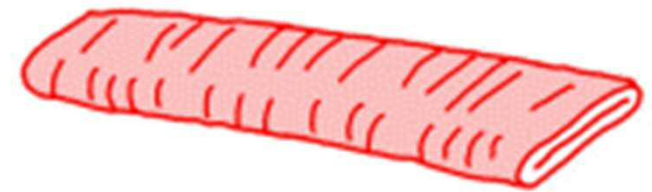
# 背景

## 波動の利活用

- 振動が周囲へ伝播する現象
- 生物の機能にも広く応用  
例) 生物の消化器官, ミミズの体節



波動伝播





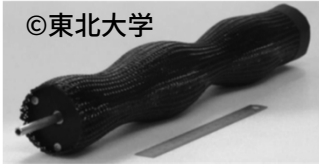


腸管の蠕動運動

©基礎医学教育研究会

波動伝播の機構を具現化して工学的に応用

# 従来技術

## 先行技術の例：回転運動を波動に変換する機構

	SAW [1]	軸方向波動ホイール機構 [2]	多重螺旋回転装置 [3]	粒状体搬送機構 [4]
	 <p>©Ben Gurion Univ. real time</p>	 <p>©東北大学 Radial Direction Movement</p>	 <p>©東北大学</p>	 <p>©九州工業大学</p>
要点	1) 蔓巻状の回転部品 2) 1)を覆う多リンク部品 ⇒ 1平面波動 	1) 蔓巻状の回転部品(×6) 2) 1)を覆う多リンク部品 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 6平面波動による空間波動	1) 蔓巻状の回転部品(×6) 2) 1)を覆うメッシュチューブ 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 6円形面波動による空間波動	1) 蔓巻状の回転部品(×2) 2) 1)を覆う多リンク部品 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 2平面波動による空間波動
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動部を密閉可能</li> <li>リンクによる波形状保持</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動部を密閉可能</li> <li>リンクによる波形状保持</li> <li>全方位の波動生成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動部を密閉可能</li> <li>リンクによる波形状保持</li> <li>全方位の波動生成</li> <li>弦巻状の回転部品の高強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動部を密閉可能</li> <li>リンクによる波形状保持</li> <li>全方位の波動生成</li> </ul>
技術的難点	<ul style="list-style-type: none"> <li>1面みの波動伝播</li> <li>波動外部に駆動源</li> <li>蔓巻状の回転部品の低強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動外部の歯車機構</li> <li>波動外部に駆動源</li> <li>蔓巻状の回転部品の低強度</li> <li>SAWが基本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動外部の歯車機構</li> <li>波動外部に駆動源</li> <li>平面波動は生成不可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動外部の歯車機構</li> <li>波動外部に駆動源</li> <li>蔓巻状の回転部品の低強度</li> <li>SAWが基本</li> </ul>

[1] Zarrouk et al.: Bioinspiration & Biomimetics, 2016.

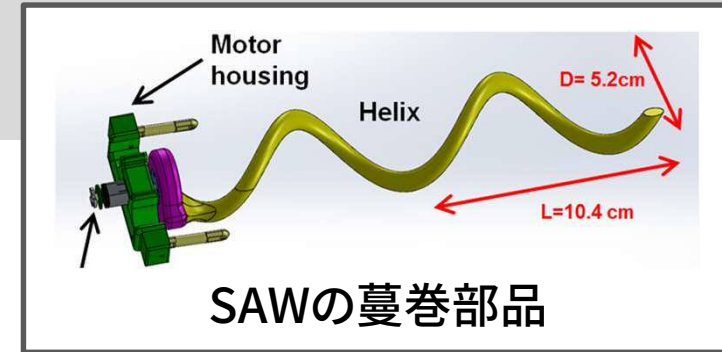
[2] 西村 他: ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2018.

[3] Watanabe et al.: IEEE Robotics and Automation Letters, 2020.

[4] 赤星, 永岡: ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2020.

# 従来技術における課題

1. 蔓巻状の螺旋回転部品は耐久性に劣る
2. マルチ面波動の生成には、波動伝播機構を外周に複数配置して、ギア機構で連動が必要なため、機構本体が大型化する
3. 螺旋回転部品の外部に歯車やモータを配置する必要がある

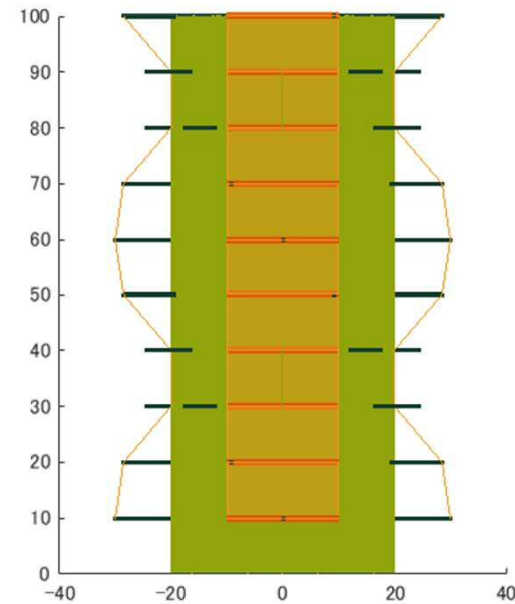
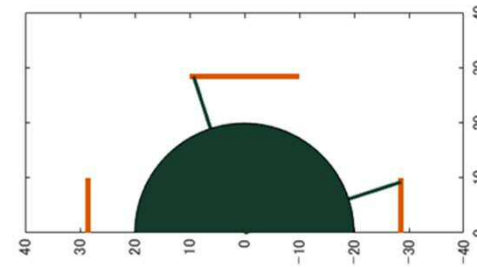
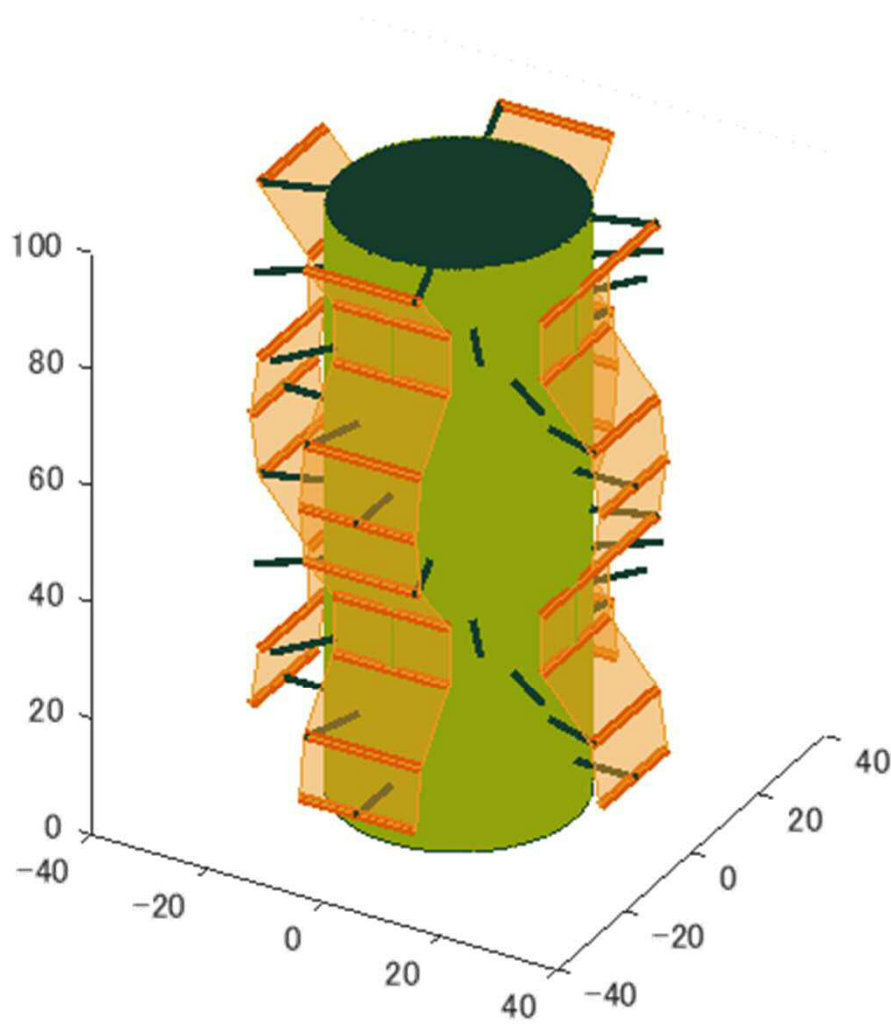


## 本技術

回転モータを内蔵した単一の螺旋翼を用いて、  
回転軸方向への波動伝播メカニズム

# 新技術の概要

## 螺旋翼を用いた軸方向マルチ面波動

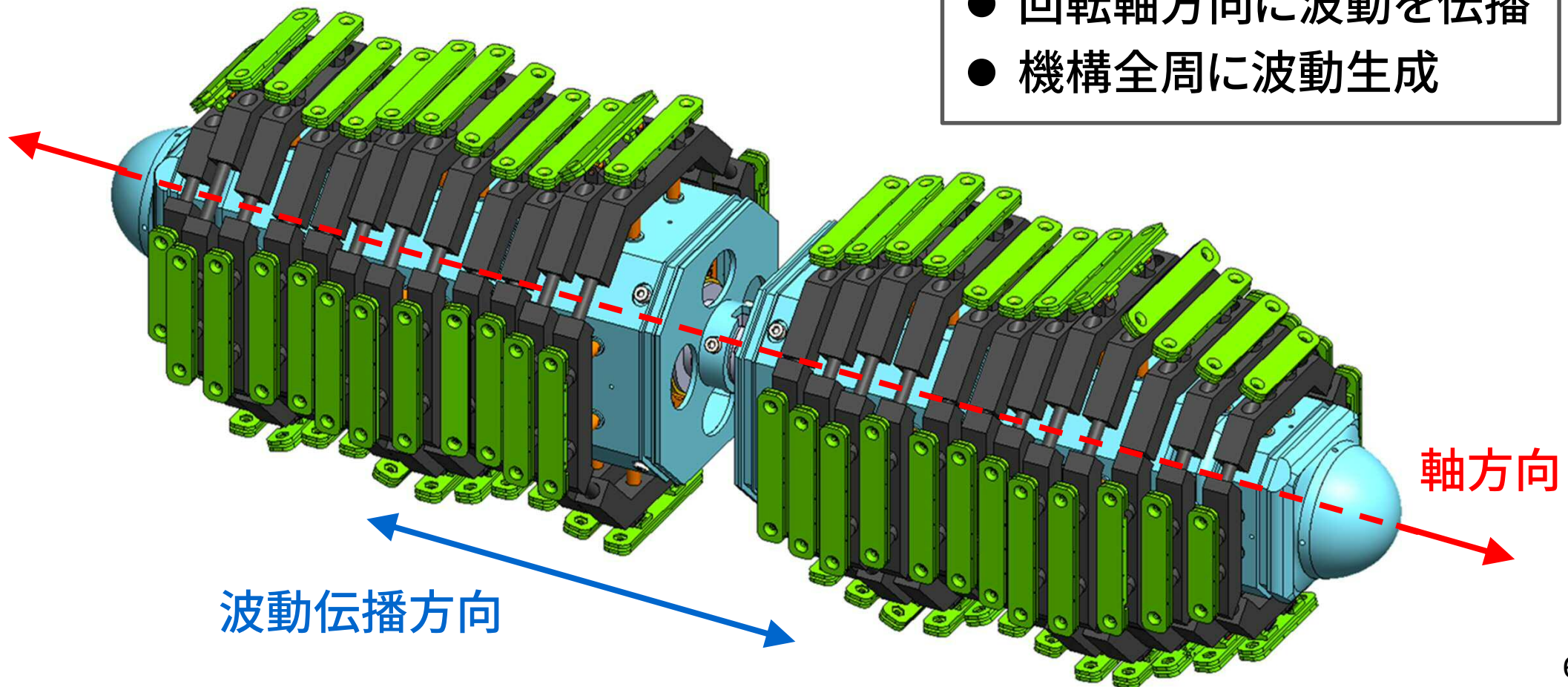




# 新技術の概要

## 螺旋翼を用いた軸方向マルチ面波動

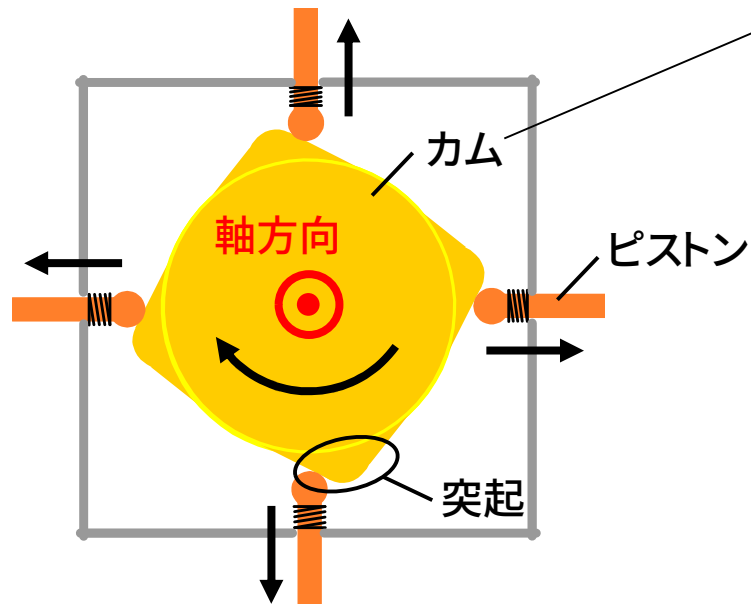
### 前後2ユニットモデル



# 新技術による波動伝播メカニズム

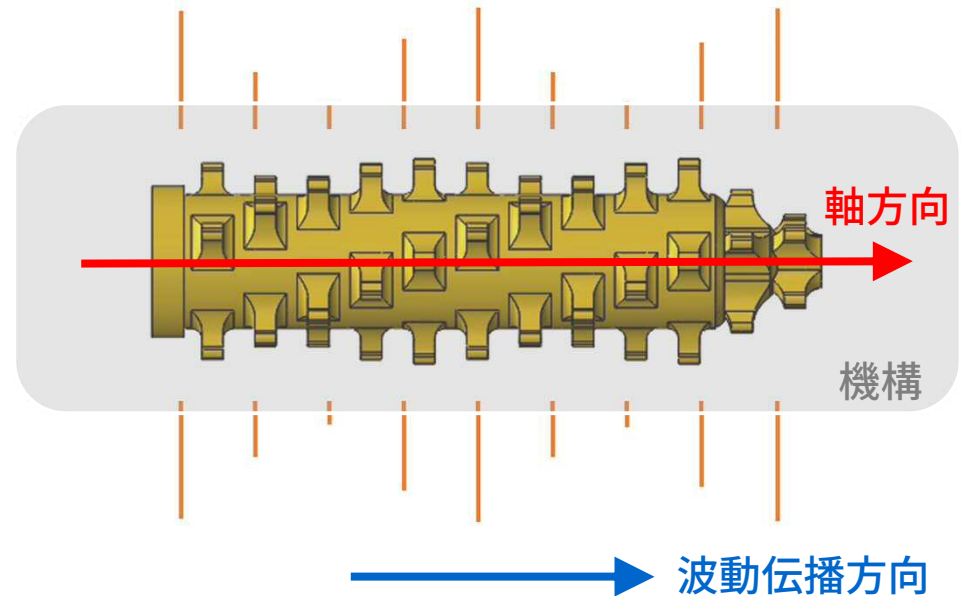
## マルチ面波動を生成する機械メカニズム

カムでモータ回転をピストンの摺動に変換  
➡ 軸方向・機構全周に波動を伝播



### カム(螺旋翼)

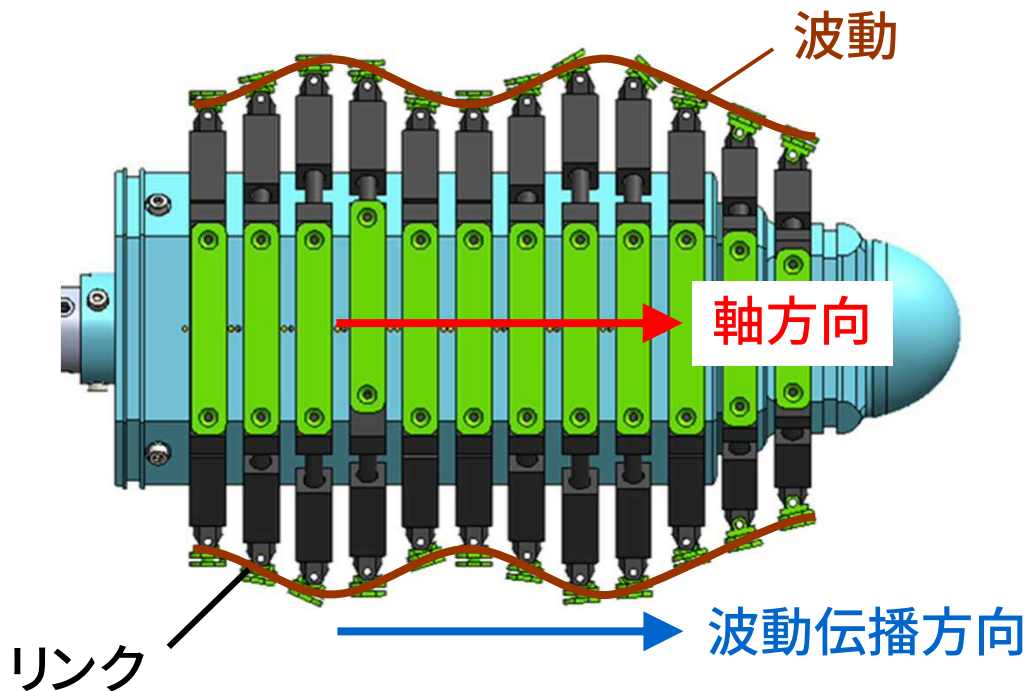
螺旋階段状に突起(翼)を取り付けた部品



高強度な単一螺旋翼で軸方向にマルチ面波動を生成可能

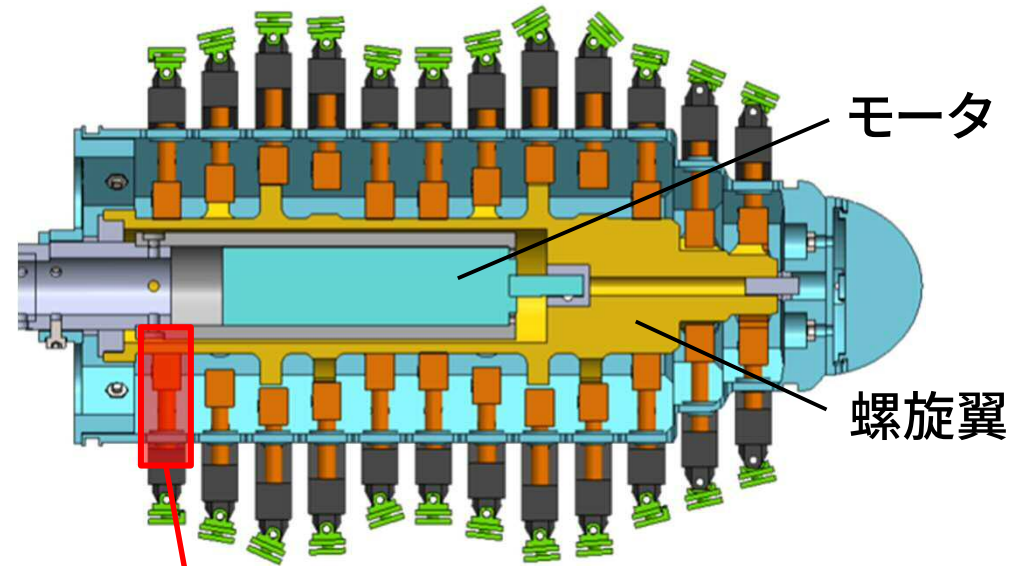
# 波動伝播機構の設計・開発(1)

## 波動伝播ユニットの構造

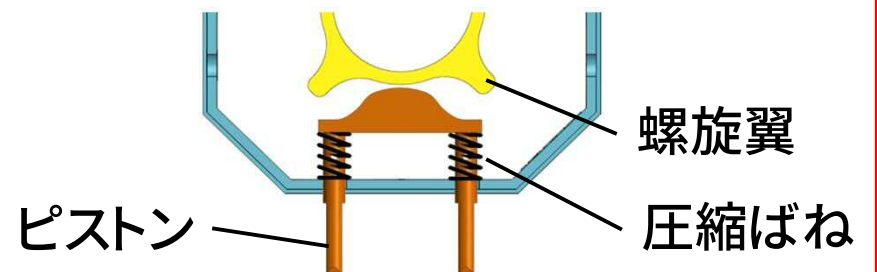


- ピストンとリンクを受動回転関節で接続
- 1ユニット内に単一の螺旋翼
- モータを螺旋階段翼に内蔵

(断面図)



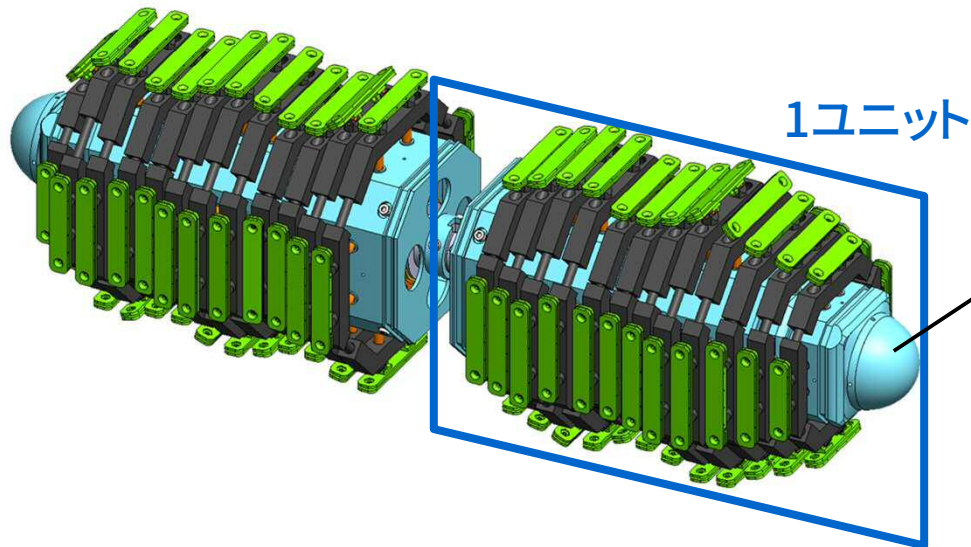
ピストンの摺動メカニズム



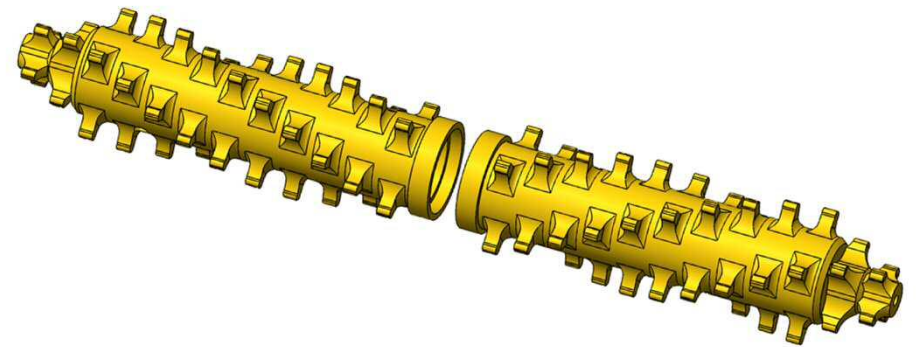


# 波動伝播機構の設計・開発(2)

## 前後2ユニット化



### 螺旋翼の螺旋巻き付き方向



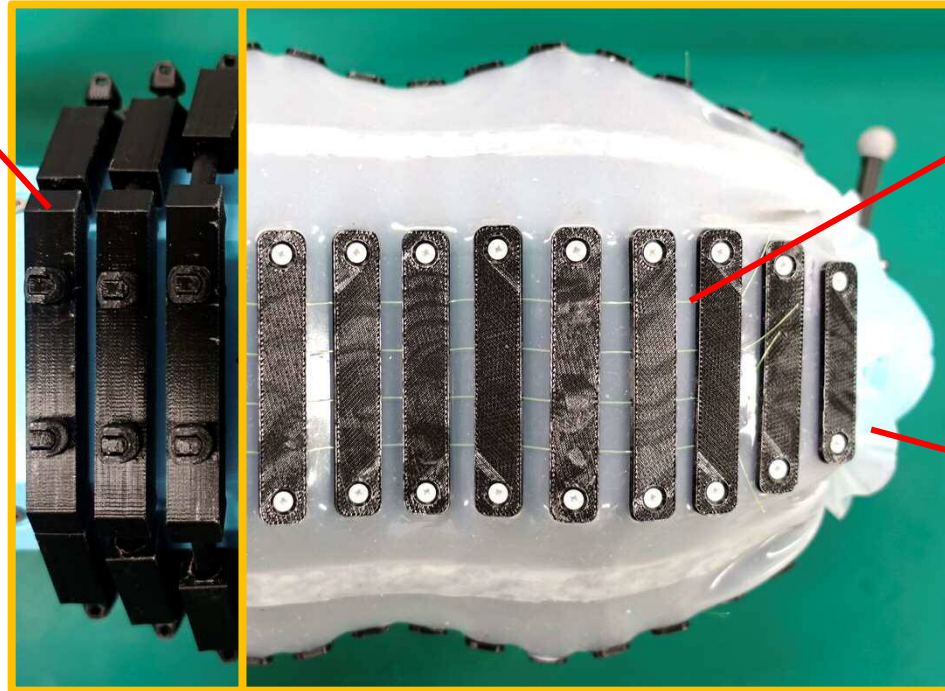
波動の伝播方向を同一方向にするため、  
各ユニット内の螺旋翼は逆巻きに設計

2ユニットを前後対称に接続して  
各ユニットのモータを逆回転することで、  
モータの反トルクを相殺

# 波動伝播機構の設計・開発(3)

## 環状ガイド機構 / 非伸縮性糸 / シリコンカバー

環状ガイド機構  
ピストンの摺動をガイド



非伸縮性糸  
リンク回転を補助

シリコンカバー  
機構全体を被覆  
リンク回転を補助

(写真左側はシリコンを捲った状態)

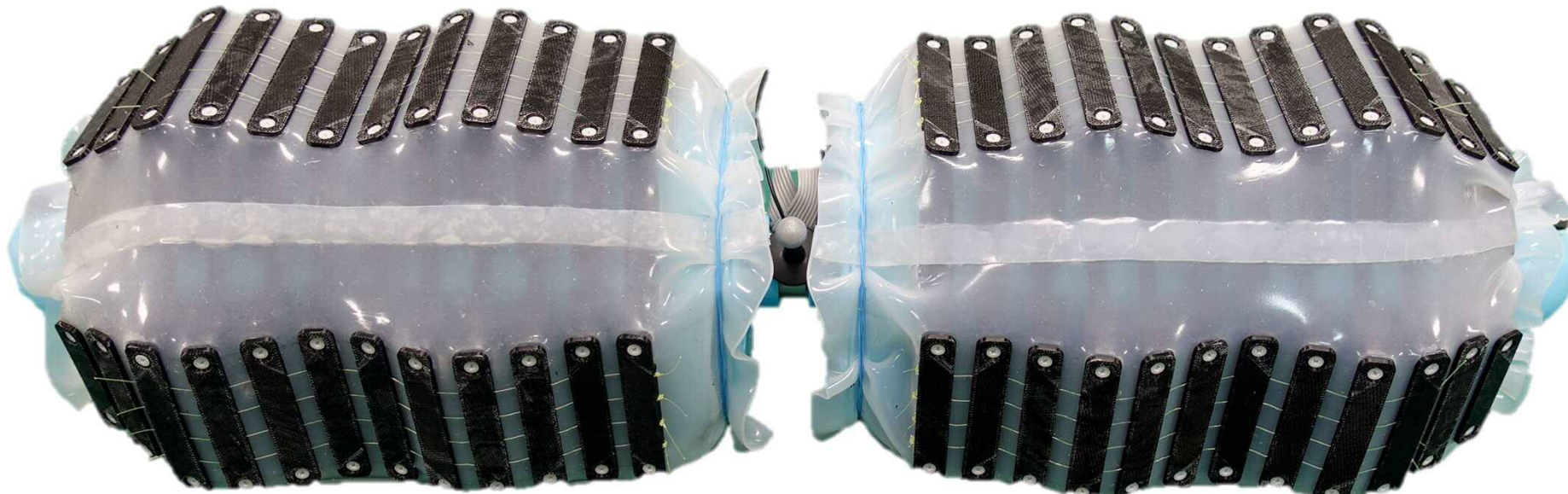
# 波動伝播機構の設計・開発(4)

## 試作機

全体質量: 2.8 kg



波動周期  $T = 0.75$  秒  
(1.3Hz)



最大直径  
155mm

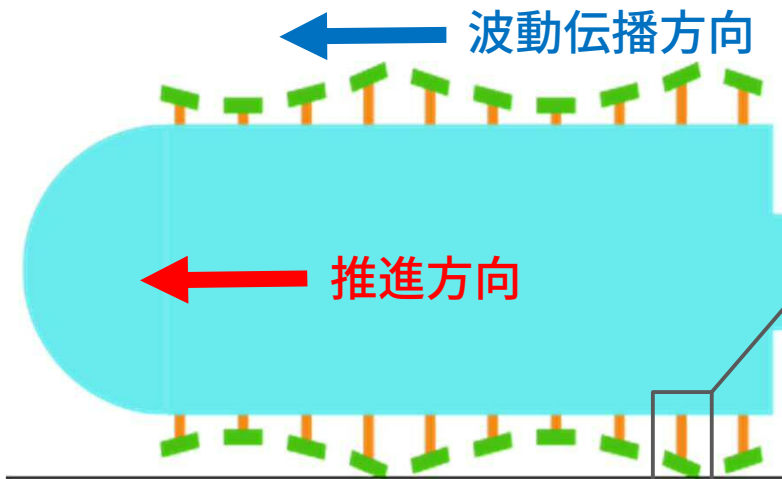
全長 515mm



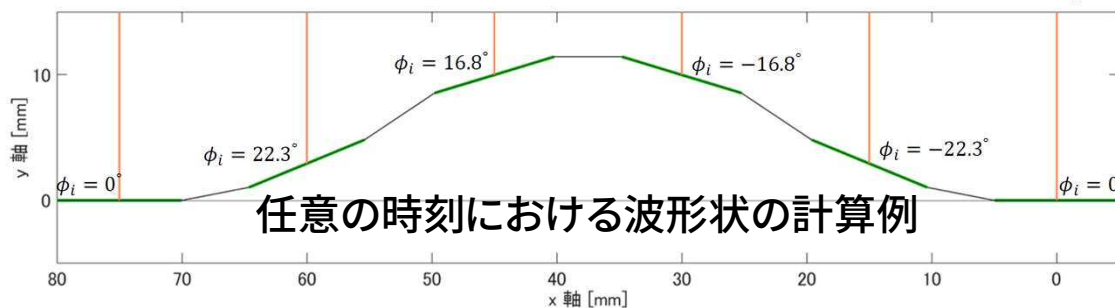
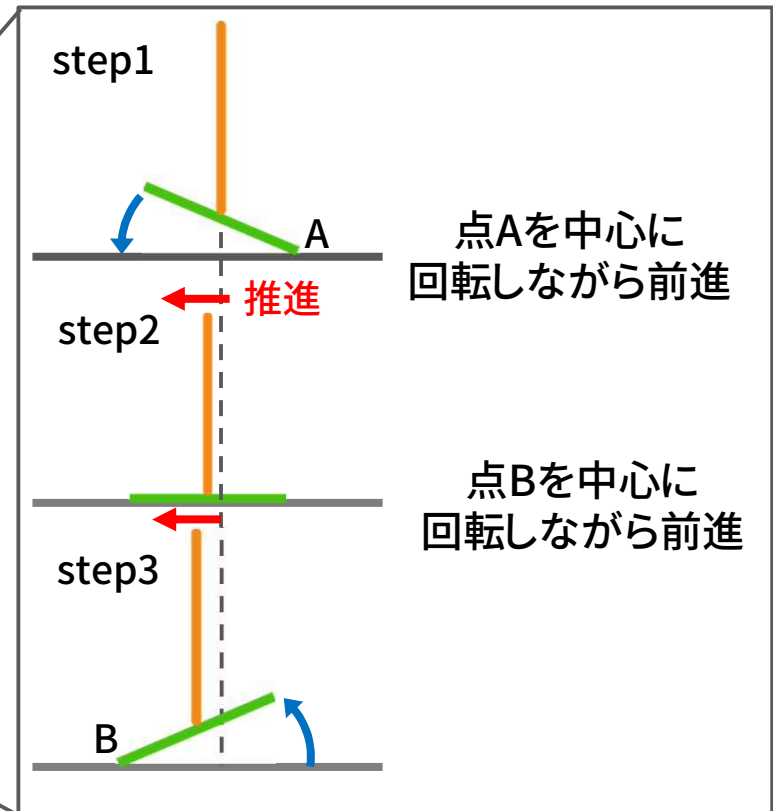
# 波動伝播による推進原理

## 推進モデル

- 摩擦のある水平面上での推進モデリング
- 水平面と機構との間に滑りはないと仮定



### 水平面に接触するリンク





# 本技術の実証

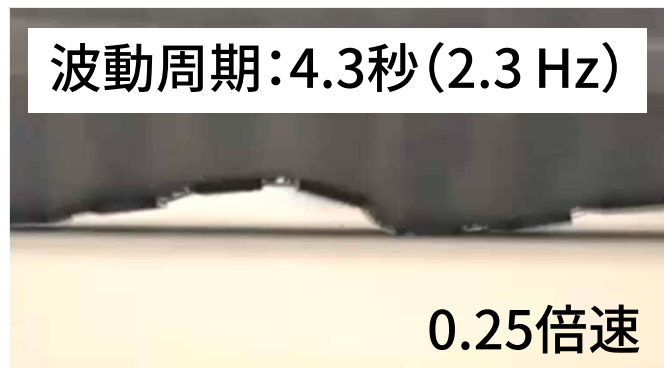
## 平面での走行性能評価

結果①: 水平面上を走行できることを実証



1周期あたりの  
平均推進距離は  
5.1 mm

結果②: リンクの回転によって推進が実現できていることを検証

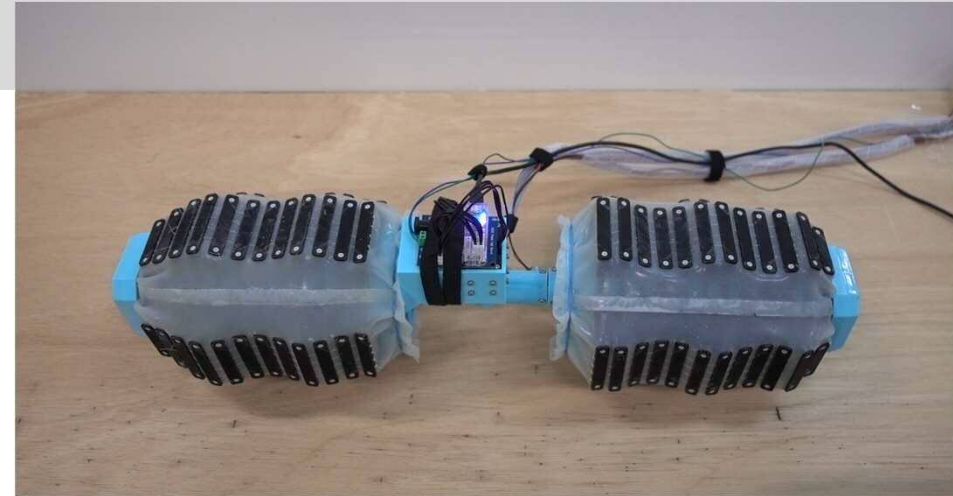
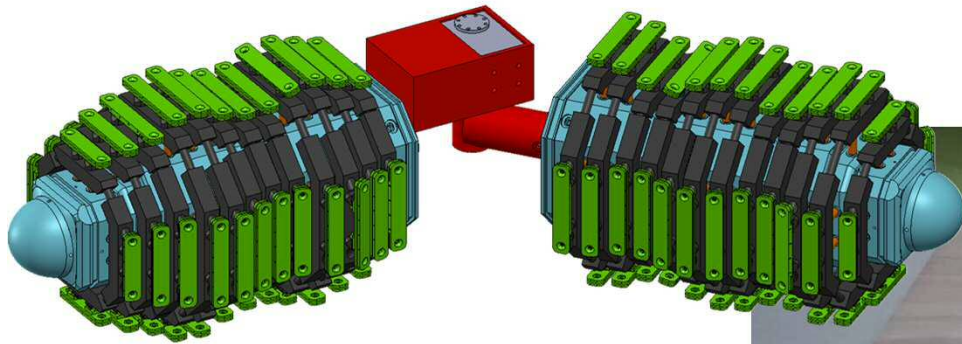


推進モデルとの実験値は  
概ね整合性があることを確認

# 本技術の応用(1)

## ステアリング機構の追加

ステアリング用モータ



蛇行推進を実証

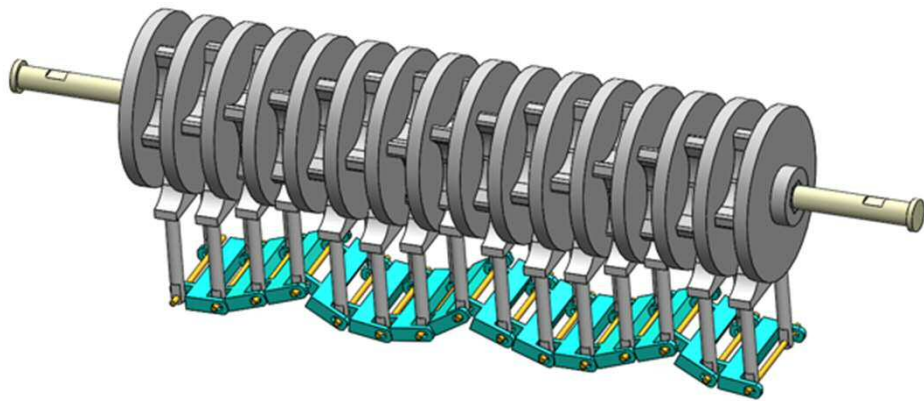


32倍速

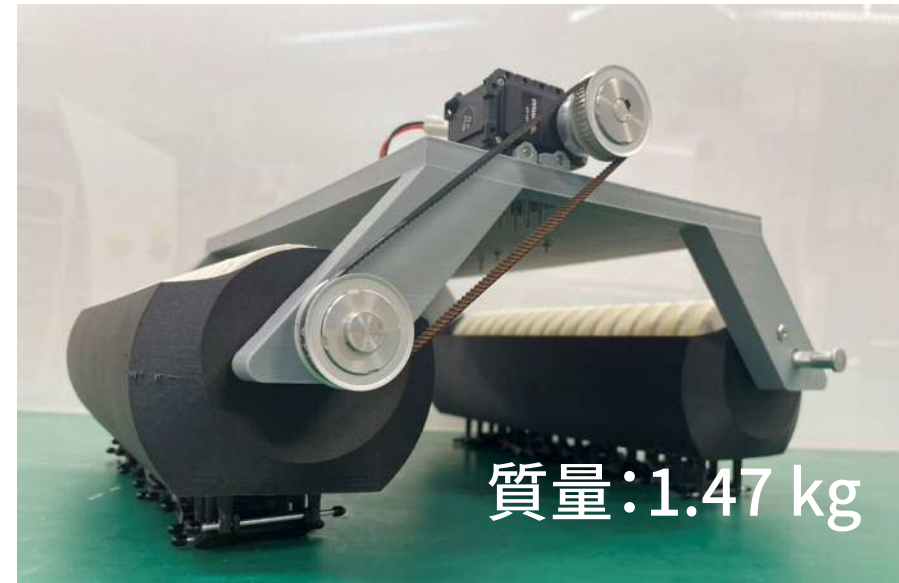
# 本技術の応用(2)

車両型への応用  
(+シリアルリンクへの拡張)

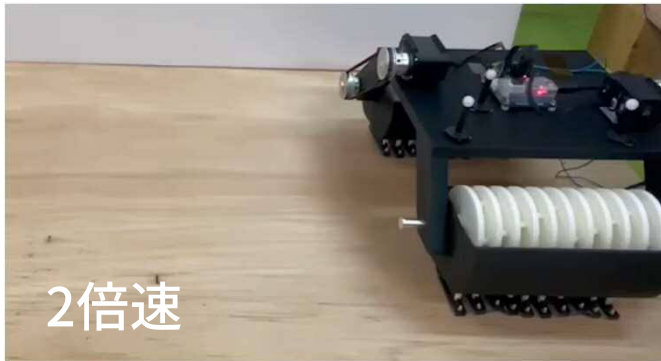
シリアルリンク機構による波形状の保持強化



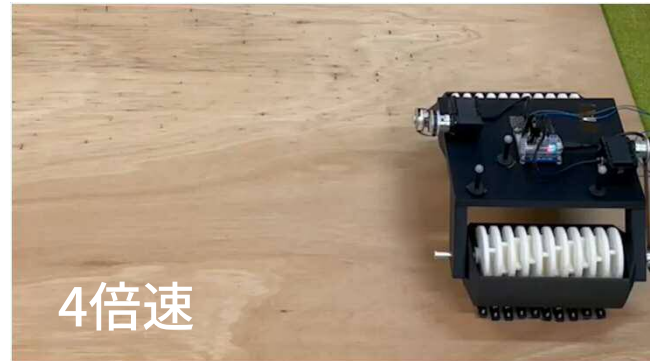
車両型に拡張可能



質量: 1.47 kg



2倍速



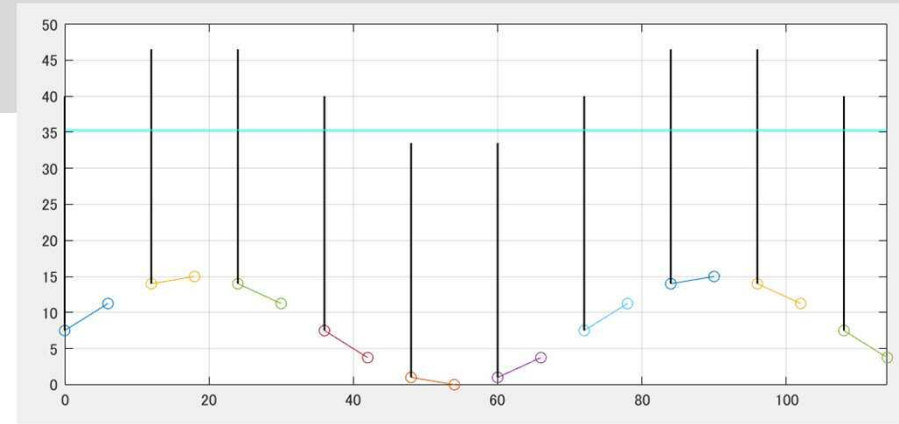
4倍速





# 本技術の応用(3)

配管内移動への応用  
(+シリアルリンクへの拡張)  
(+6面波動に拡張)



配管内移動も可能





# 従来技術との比較表

	SAW [1]	軸方向波動ホイール機構 [2]	多重螺旋回転装置 [3]	粒状体搬送機構 [4]	本技術
	 <p>real time ©Ben Gurion Univ.</p>	 <p>©東北大学 Radial Direction Movement</p>	 <p>©東北大学</p>	 <p>©九州工業大学</p>	 <p>©九州工業大学</p>
要点	1) 蔓巻状の回転部品 2) 1)を覆う多リンク部品 ⇒ 1平面波動	1) 蔓巻状の回転部品 (×6) 2) 1)を覆う多リンク部品 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 6平面波動	1) 蔓巻状の回転部品 (×6) 2) 1)を覆うメッシュチューブ 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 6円形面波動	1) 蔓巻状の回転部品 (×2) 2) 1)を覆う多リンク部品 3) 1)を連動する歯車機構 ⇒ 2平面波動	1) 螺旋回転翼 (×1) 2) 1)で押出す多リンク部品 3) 2)を覆うシリコンカバー ⇒ 4平面波動
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉構造</li> <li>リンク構造</li> <li>単一面波動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉構造</li> <li>リンク構造</li> <li>マルチ面波動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉構造</li> <li>リンク構造</li> <li>マルチ面波動</li> <li>蔓巻螺旋の高強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉構造</li> <li>リンク構造</li> <li>マルチ面波動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>密閉構造</li> <li>(・リンク構造)</li> <li>マルチ面波動</li> <li>内部駆動源</li> <li>高強度な単一螺旋翼</li> </ul>
技術的 難点	<ul style="list-style-type: none"> <li>1面波動</li> <li>外部駆動源</li> <li>蔓巻螺旋の低強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部歯車</li> <li>外部駆動源</li> <li>蔓巻螺旋の低強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部歯車</li> <li>外部駆動源</li> <li>非平面波動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波動外部の歯車機構</li> <li>波動外部に駆動源</li> <li>蔓巻部品の低強度</li> </ul>	

[1] Zarrouk et al.: Bioinspiration & Biomimetics, 2016.

[3] Watanabe et al.: IEEE Robotics and Automation Letters, 2020.

[2] 西村 他: ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2018.

[4] 赤星, 永岡: ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2020.

# 従来技術に対する有用性・優位性

## 搬送装置としての観点

### ベルトコンベヤ方式に対する有用性・優位性

#### 搬送部の密閉

- ベルトの目詰まりを回避
- 細かな粒状物体への配慮不要

#### 全方位での同方向への搬送面生成

- 1ユニットで複数の搬送ライン可
- 小型・軽量・省スペース化

#### 非露出摺動部の耐摩耗性

- ベルトの摩耗や擦り切れを回避

## 移動機構としての観点

### クローラ方式に対する有用性・優位性

#### 移動機構の密閉

- ベルトの目詰まりや脱輪を回避

#### 全方位での移動推進力生成

- 配管内などの三次元移動に応用可

#### 非露出摺動部による耐摩耗性

- クローラベルトの擦り切れを回避

#### 駆動源(モータ)を移動機構に内蔵

- 小型・軽量・省スペース化

粉塵・ダスト汚染を伴う劣悪環境でも動作

# 想定される用途のまとめ

- 本技術の密閉可能でコンパクトなマルチ面波動生成を生かすことで、農業，土工土木建築，除雪，災害救助などの現場で用いる搬送装置や車両用移動機構に適用することができる
- 粉塵・ダスト汚染を伴う劣悪環境での用途にも有用性が期待できる
- また，機械的なマルチ面波動に着目すると，ロボットハンド（物体ハンドリング）や掘削の用途への展開も可能と思われる

# 実用化に向けた課題

- 現在，本技術を多様な用途に展開すべく，屋外フィールド用移動体，砂地掘削，粒状体搬送への応用研究を推進中である
- 今後，砂などの自然地形での性能に関して実験によって明らかにしていく
- 実用化に向けて，繰り返し動作や過負荷状態に対する機構の信頼性を向上できるような機構的工夫に取り組む必要がある



# 企業の皆様方への期待

- 本技術の応用・用途の掘り起こし
- 掘削・搬送の技術および潜在的な需要を有する，企業との共同研究を希望
- 劣悪環境を想定した移動・搬送をご検討の企業には，本技術の導入が有効

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：波動伝播機構
- 出願番号：特願2021-200712
- 出願人：国立大学法人九州工業大学
- 発明者：永岡健司、赤星美彩子、舎川拓馬

# お問い合わせ先

国立大学法人 九州工業大学  
先端研究・社会連携本部  
産学イノベーションセンター  
荻原 康幸

TEL 093-884-3449

FAX 093-884-3531

e-mail [chizai@jimu.kyutech.ac.jp](mailto:chizai@jimu.kyutech.ac.jp)