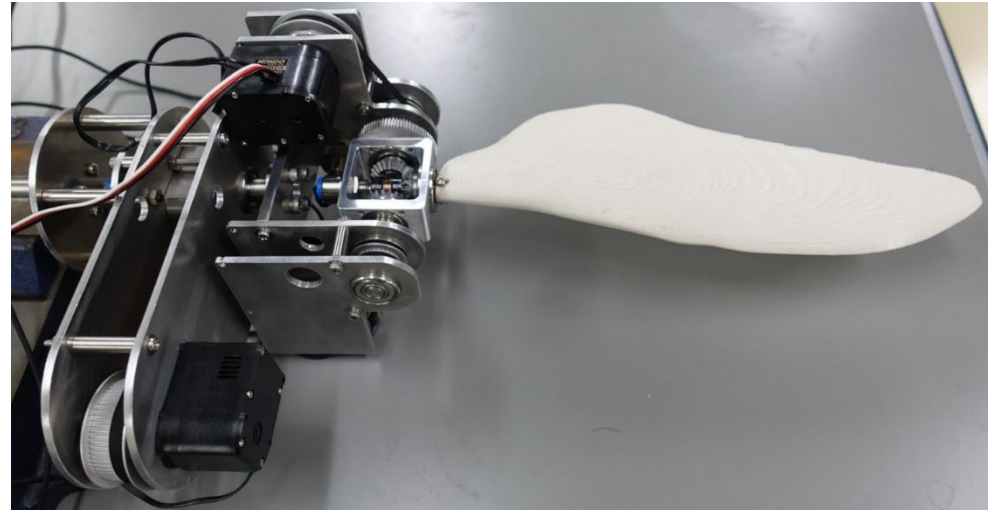
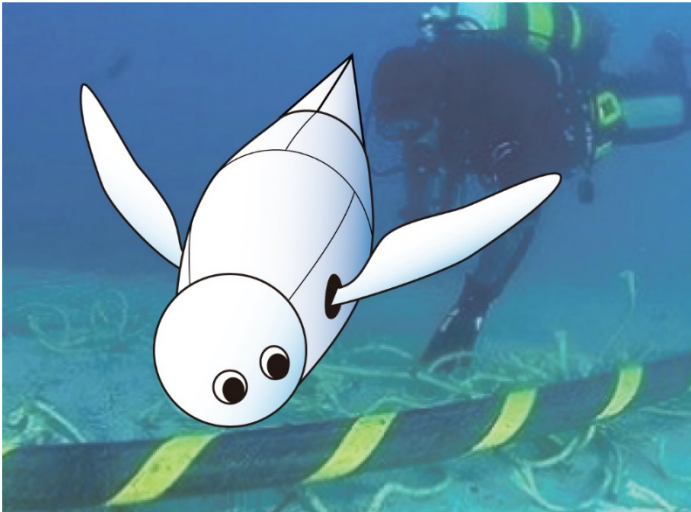


論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	ペンギンロボット - 小型で俊敏な水中ドローンを実現する電動羽ばたき翼運動機構
著者	田中博人
出典	JST 東京工業大学 新技術説明会2019
発行日	2019, 11

# ペンギンロボット

## 小型で俊敏な水中ドローンを実現する 電動羽ばたき翼運動機構



**田中 博人**

東京工業大学 工学院 機械系 准教授

E-mail: [tanaka.h.cb@m.titech.ac.jp](mailto:tanaka.h.cb@m.titech.ac.jp)

URL: <http://www.tanakah.mech.e.titech.ac.jp/index.html>

2019年11月19日

# 本日の内容

1. 現在の水中ドローン
2. ペンギン型水中ドローンのコンセプト
3. 開発した羽ばたき翼運動機構の仕組み
4. 回流水槽での推力発生実験
5. 今後の取り組みと参照情報

# 水中ドローンのニーズ

## 水中作業の例

- 港湾や船舶の点検
- ダムなど貯水施設の点検
- 海洋環境調査
- 海難救助

	利点	欠点
潜水士	<ul style="list-style-type: none"><li>• 細やかな作業</li><li>• 臨機応変</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>安全リスク</b></li><li>• 人件費</li></ul>
ドローン	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>危険な場所でも安全に運用</b></li><li>• 用途に応じたセンサー</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 大型で鈍重</li></ul>

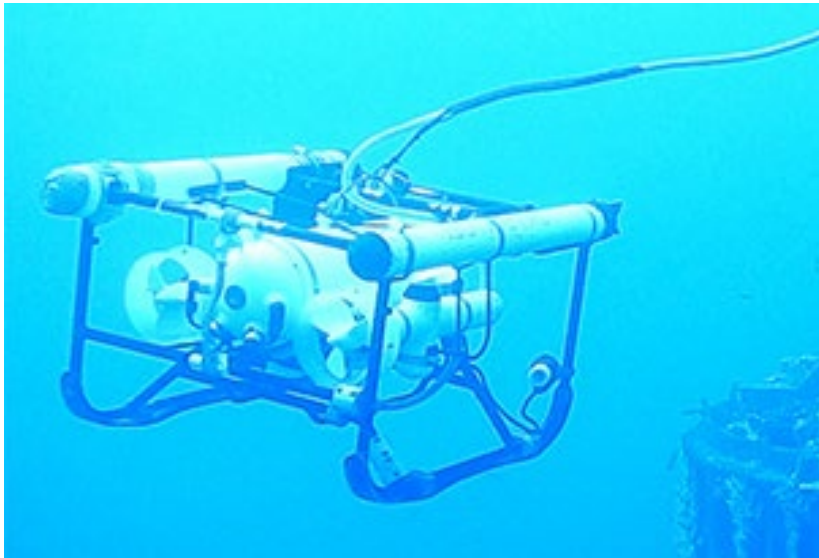
# 典型的な水中ドローン

**ROV** (Remotely-operated vehicle)

遠隔操作型潜水機

**AUV** (Autonomous underwater vehicle)

自律型潜水機



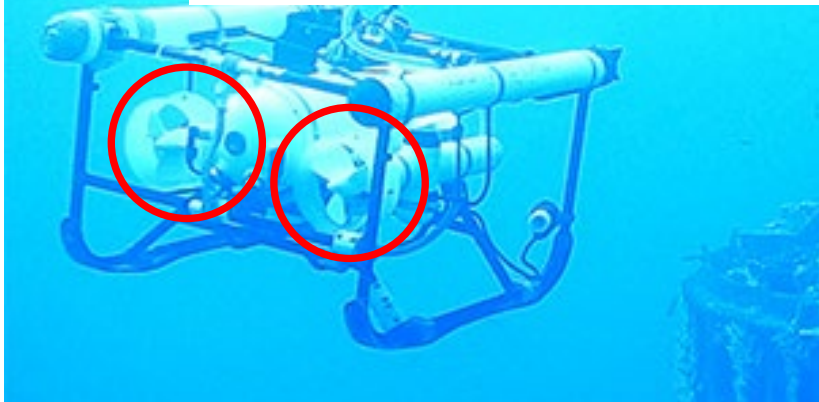
ROVの例 (ROV-IV,  
(株) 東京久栄)

AUVの例 (Bluefin-9, General  
Dynamics Mission Systems, Inc.)

# スクリーン推進型の課題

- 利点**
- 広々とした静かな水中での効率の良さ
  - 運動制御のしやすさ（単純）
- 欠点**
- 運動性の悪さ（複雑な動きはできない）
  - 巻き込み事故のリスク

## スクリーン（回転翼）による推進



ROVの例（ROV-IV,  
（株）東京久栄）

AUVの例（Bluefin-9, General  
Dynamics Mission Systems, Inc.）

# 本日の内容

1. 現在の水中ドローン
2. ペンギン型水中ドローンのコンセプト
3. 開発した羽ばたき翼運動機構の仕組み
4. 回流水槽での推力発生実験
5. 今後の取り組みと参照情報

# ペンギンの自在な遊泳

省エネ巡行

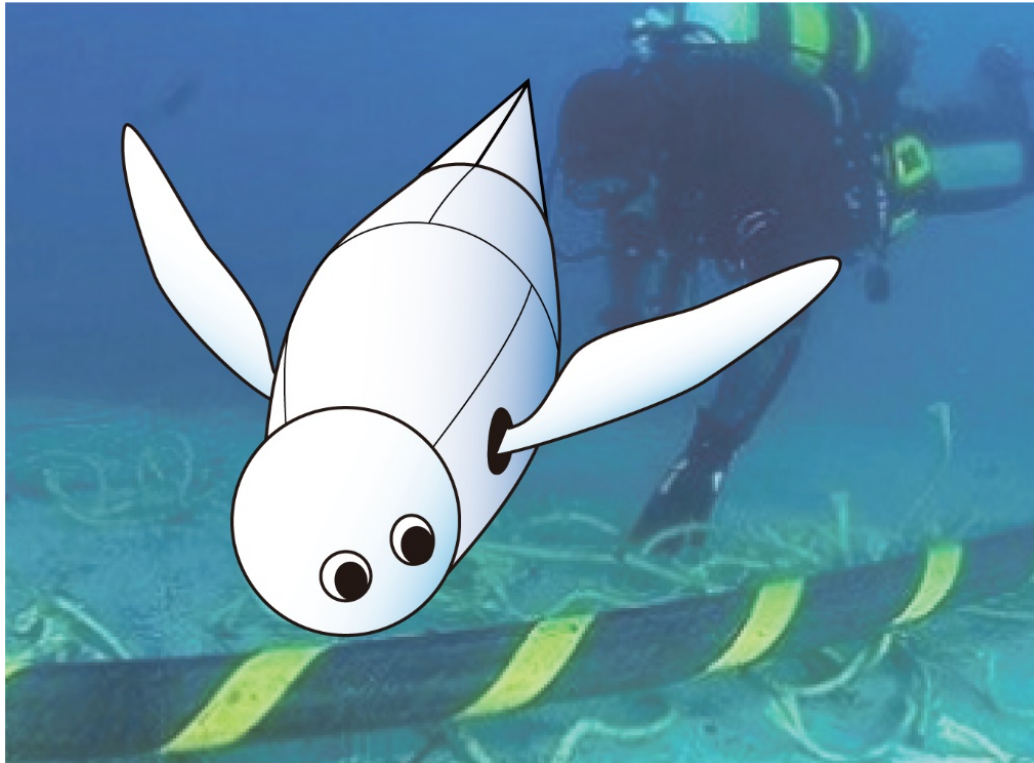
羽ばたき毎の急加速

羽ばたきによる急旋回

“滑空”による急旋回



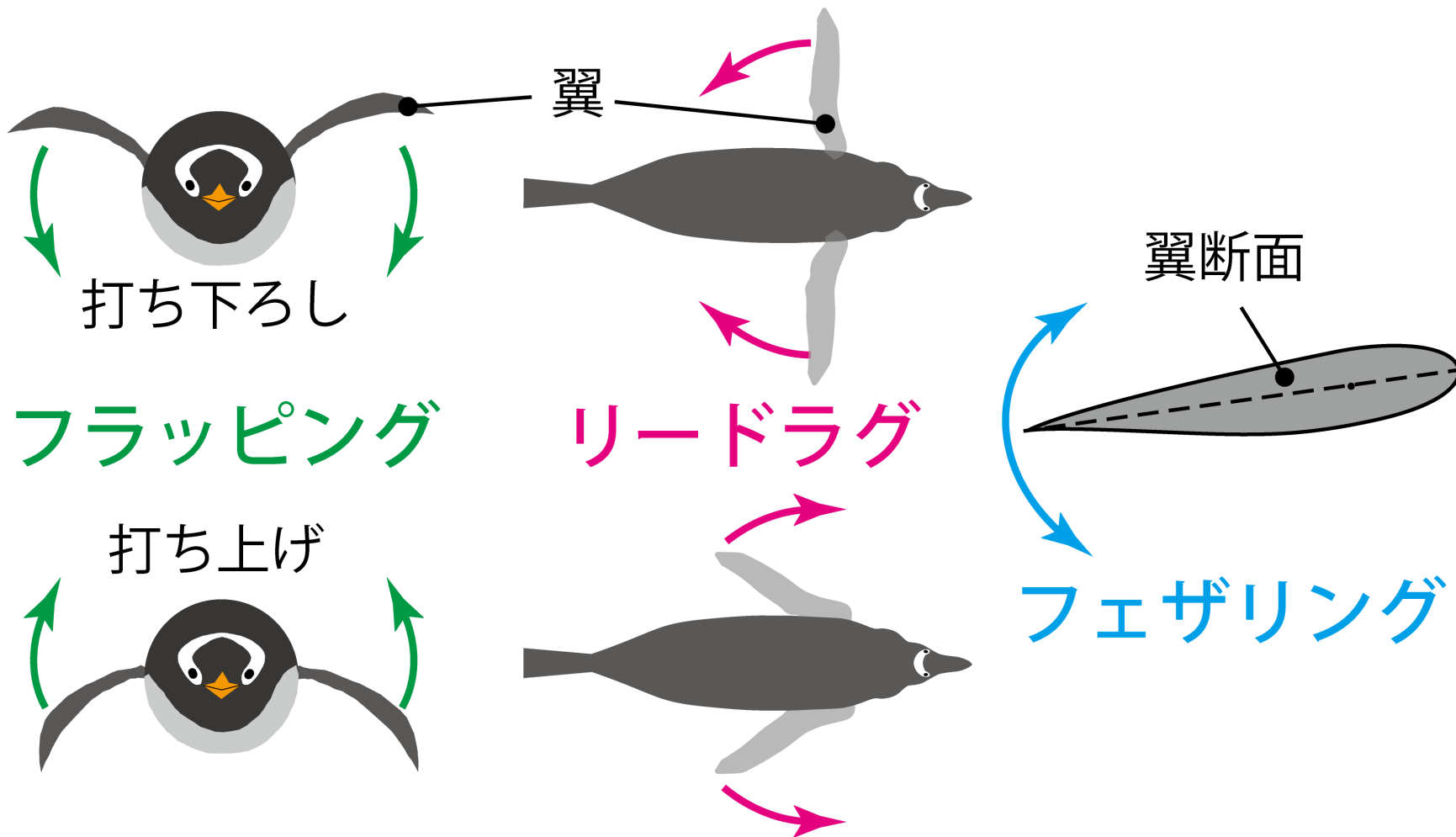
**自在な遊泳は、自在な翼運動から**



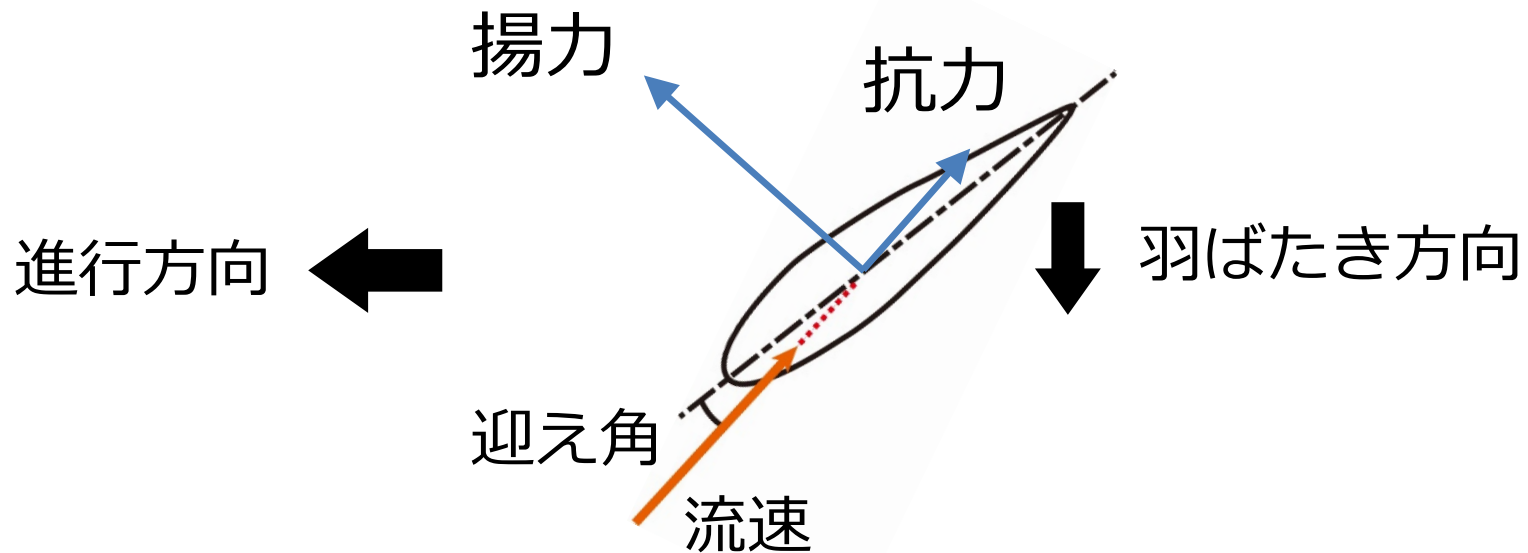
## スクリュー推進型に対する利点

- 自在な翼運動による運動性
- 安全性（巻き込まない。接触時に切らない）
- 翼をたたんで流線形に変形（省エネ形態）

# 3自由度の羽ばたき翼運動



# 翼が発生する揚力と抗力



揚力は流速の2乗および迎え角に比例

翼運動を制御

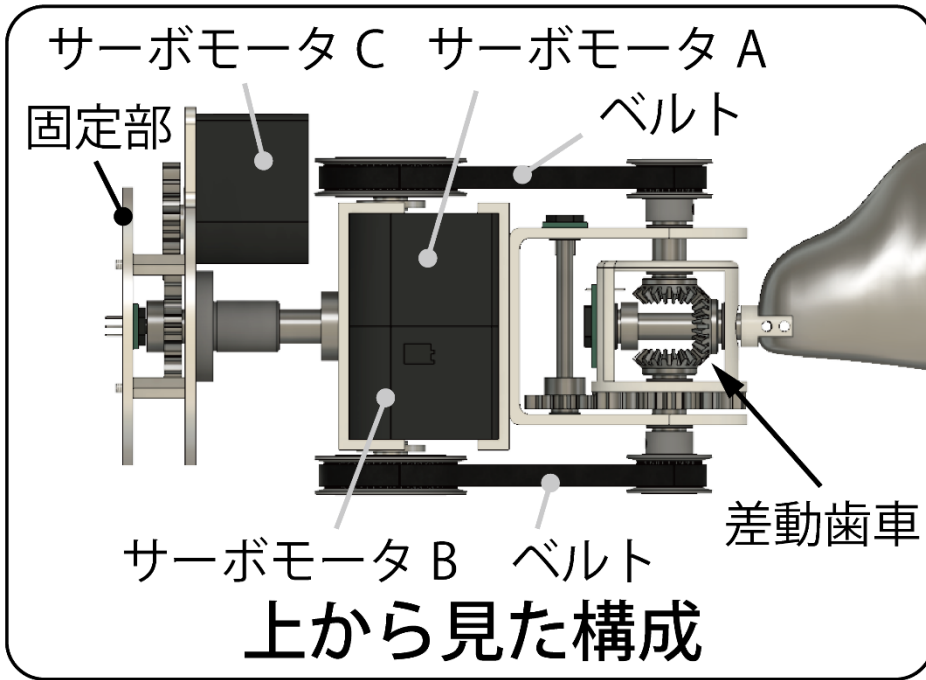
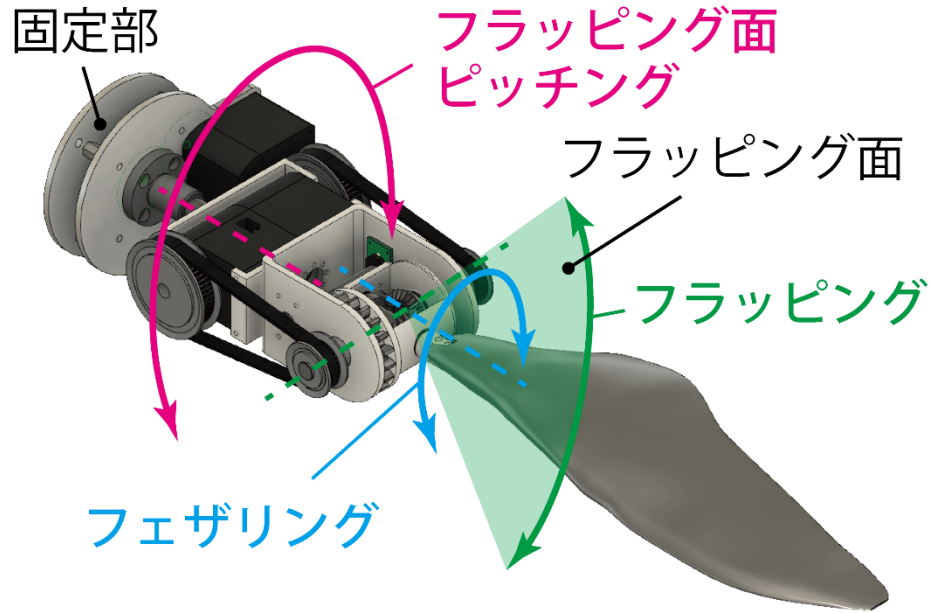
→ 流速と迎え角を制御

→ 流体力を制御

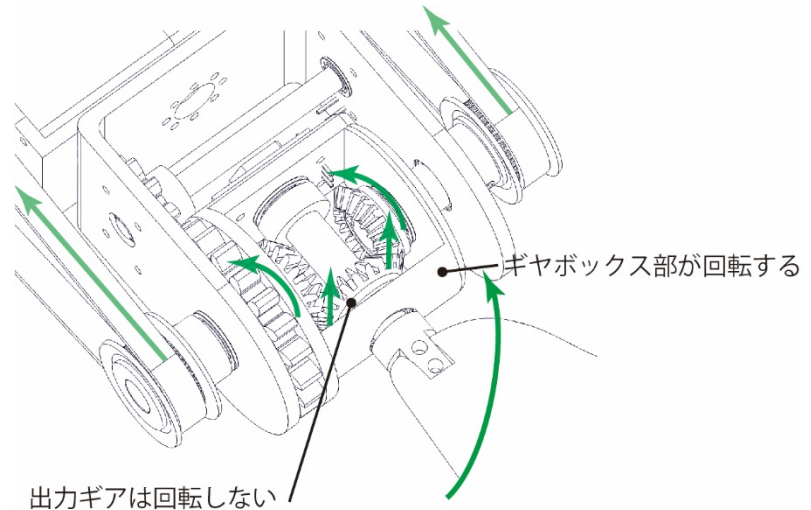
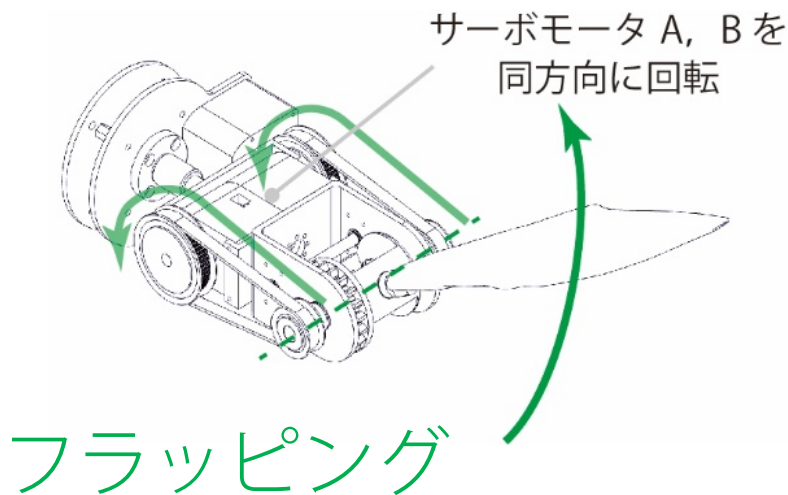
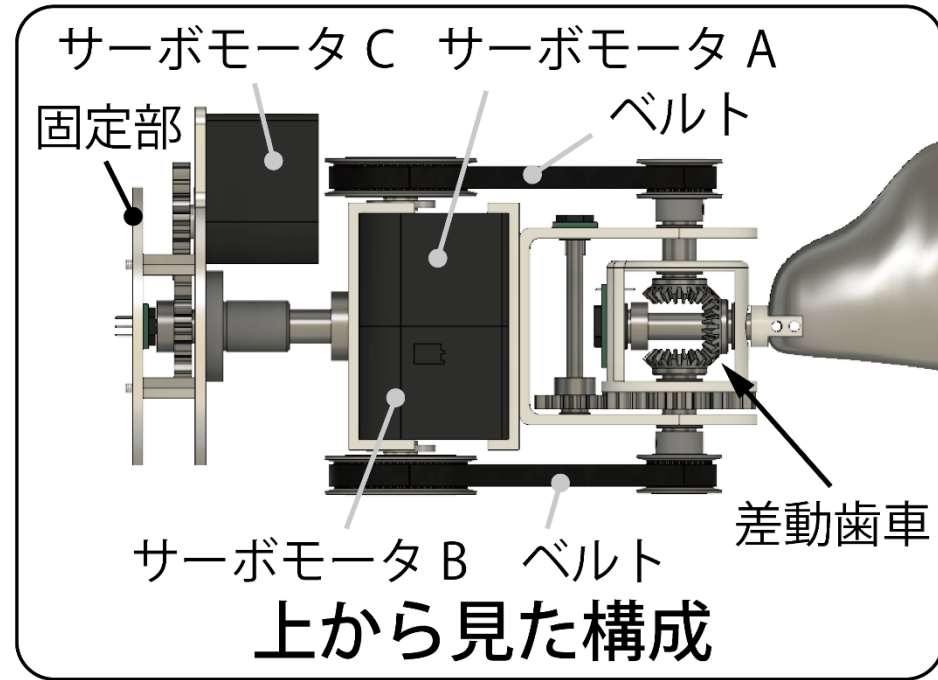
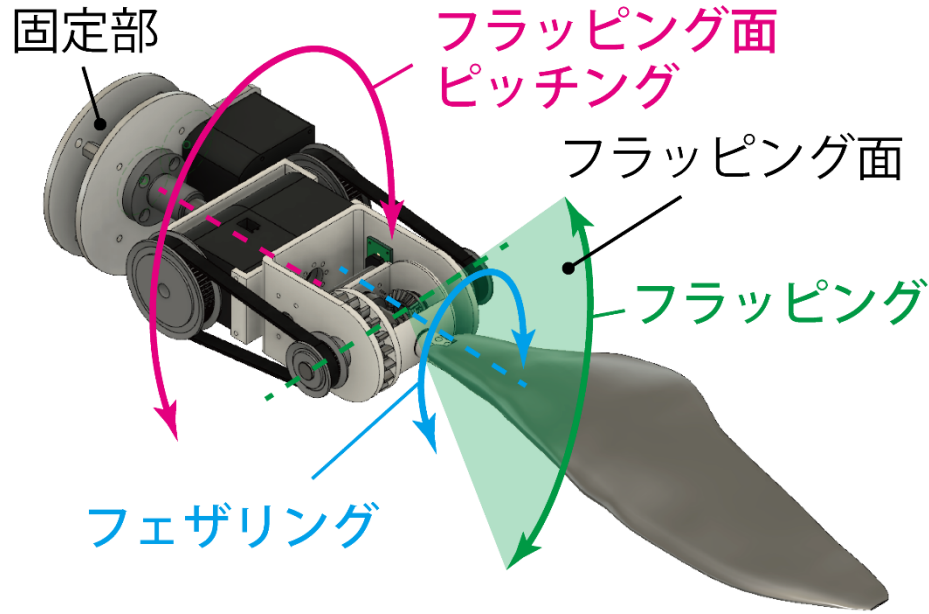
# 本日の内容

1. 現在の水中ドローン
2. ペンギン型水中ドローンのコンセプト
3. 開発した羽ばたき翼運動機構の仕組み
4. 回流水槽での推力発生実験
5. 今後の取り組みと参照情報

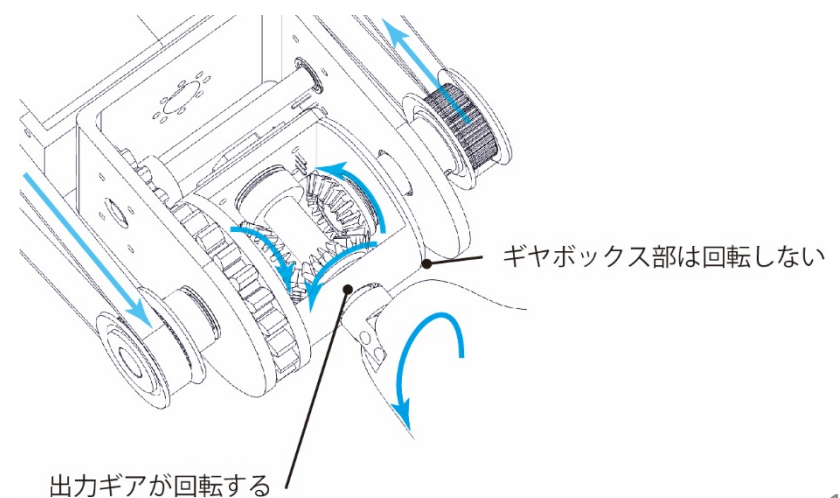
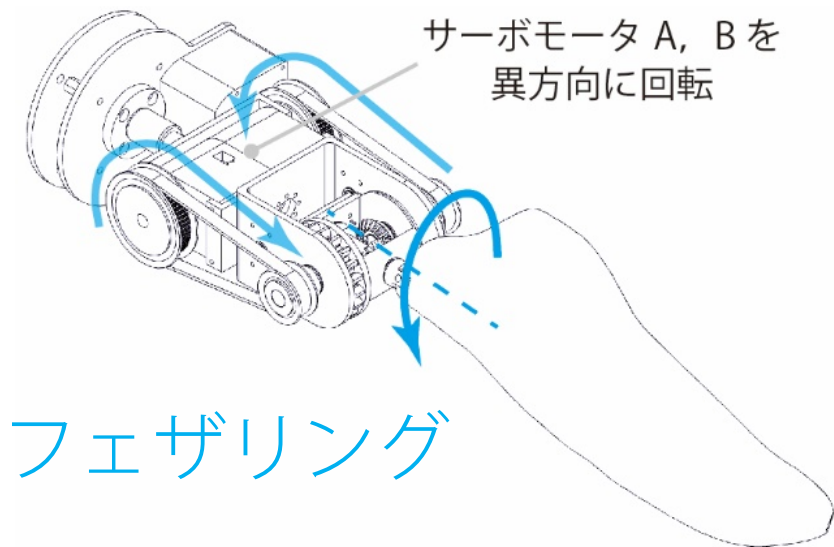
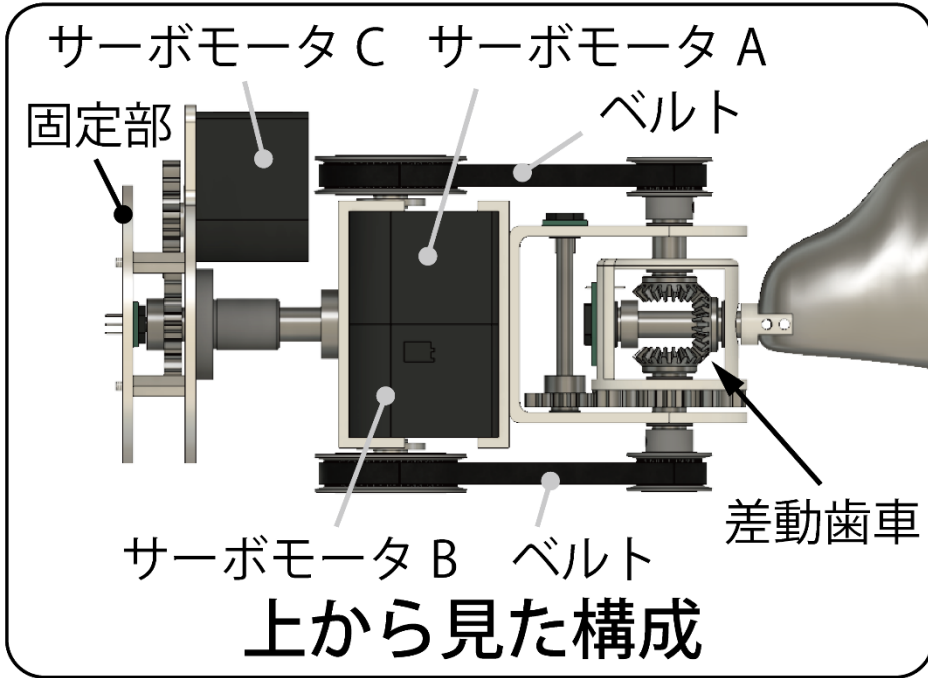
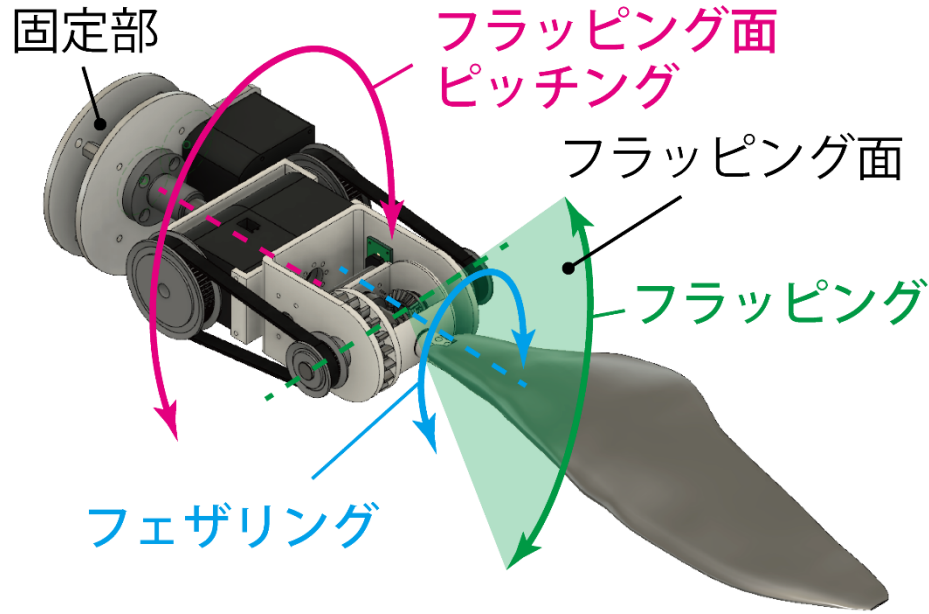
# 3 自由度羽ばたき機構



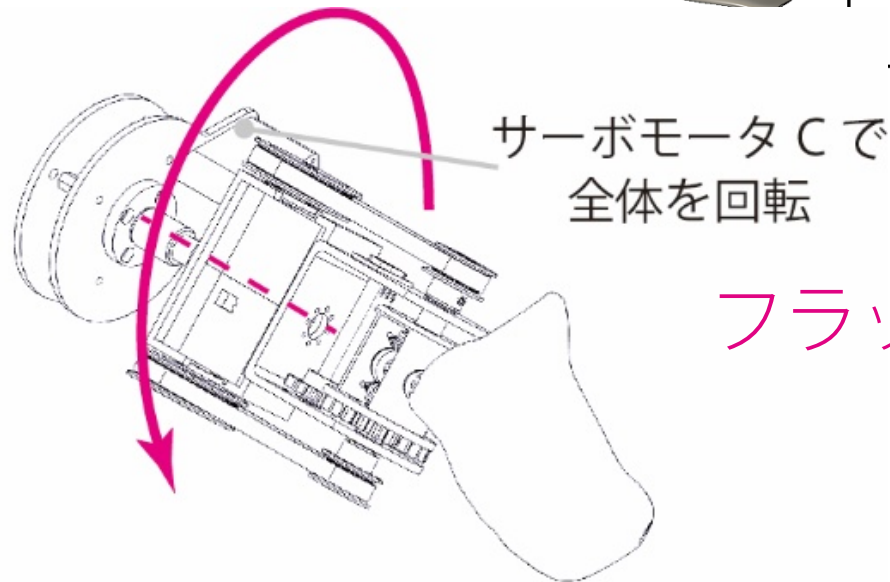
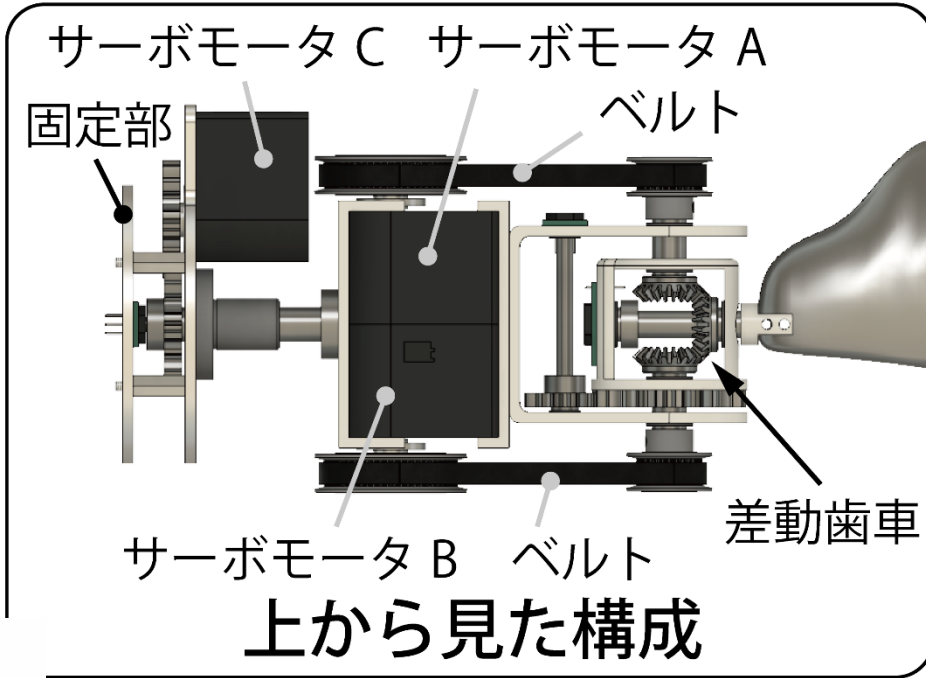
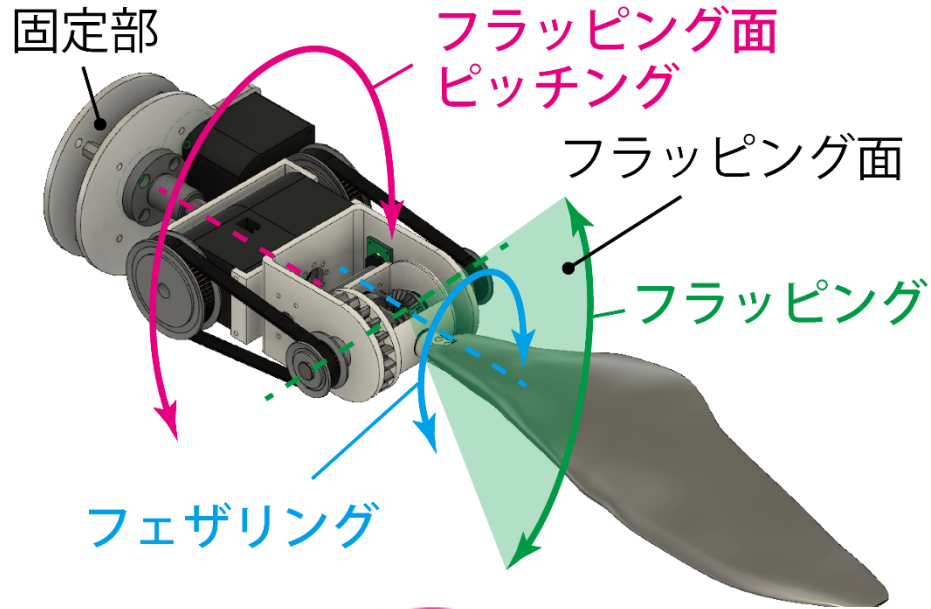
# 3 自由度羽ばたき機構



# 3 自由度羽ばたき機構

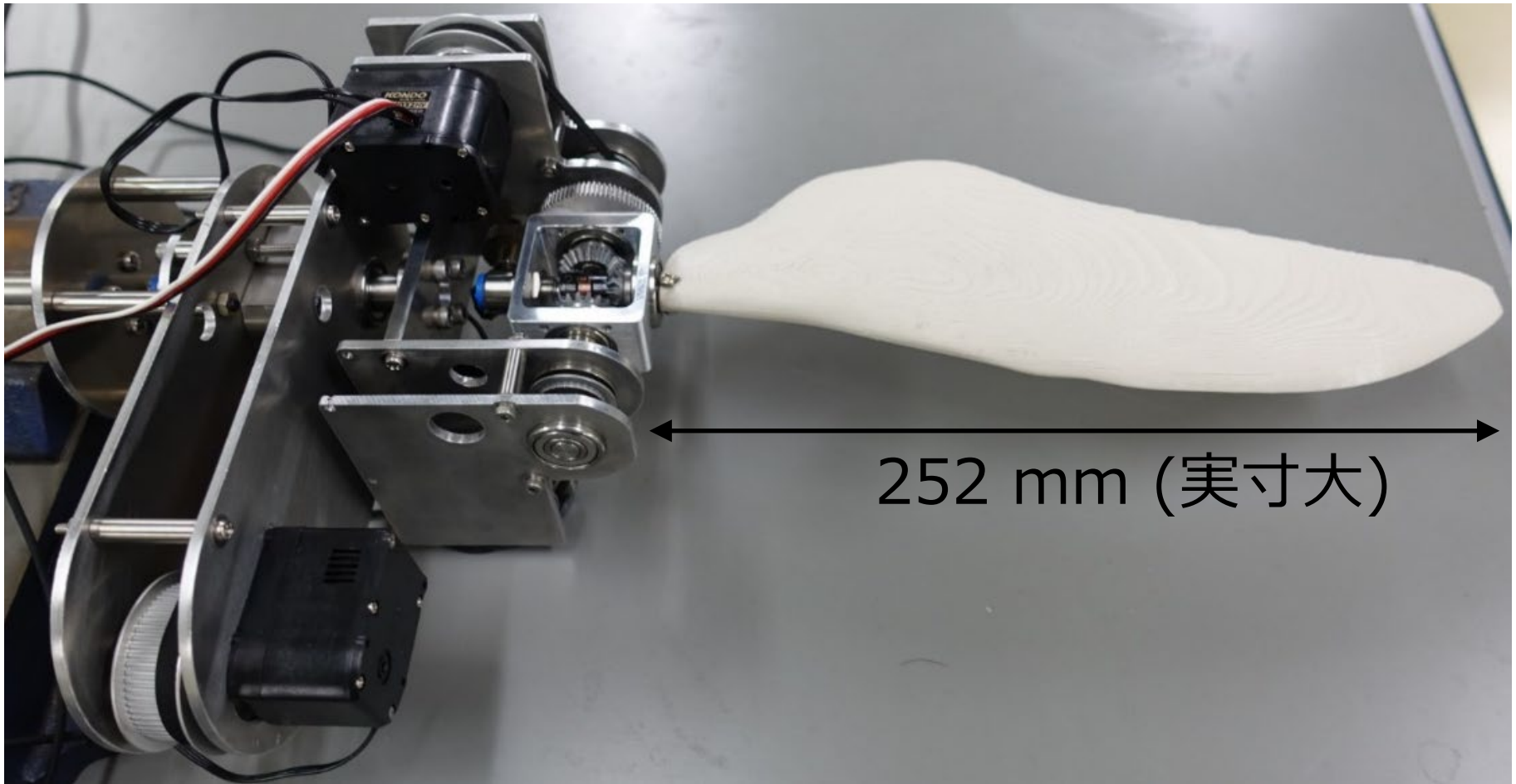


# 3 自由度羽ばたき機構



フラッピング面ピッチング

# 試作機



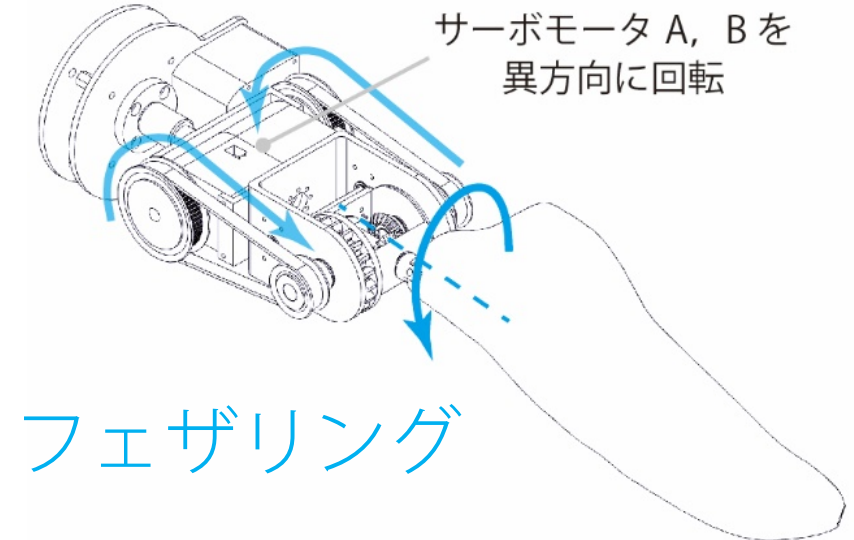
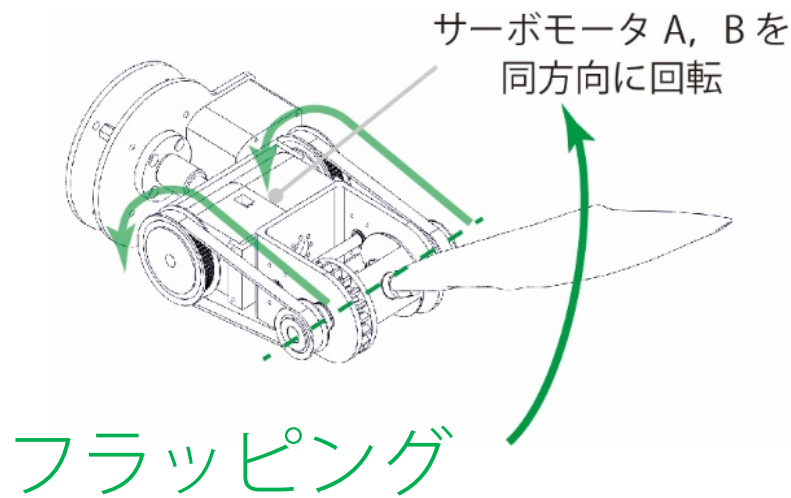
サーボモータ Kondo KRS-4032HV:

61 g, Max. 1.94 N m, Max. 125 rpm

全重量 : 1.48 kg

# 特徴

- 最もトルクが必要なフラッピングを2つのモータが協調して実現
- 最も翼周り流れ制御に重要なフェザリングを、2つのモータが協調して実現

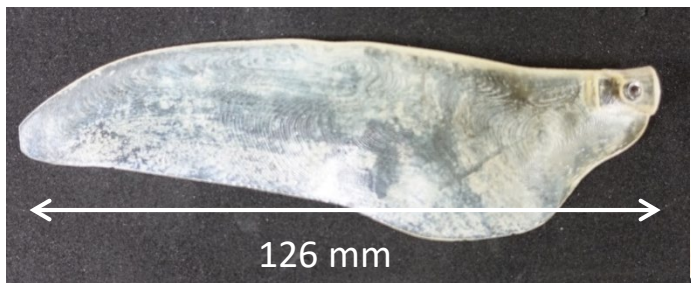


# 本日の内容

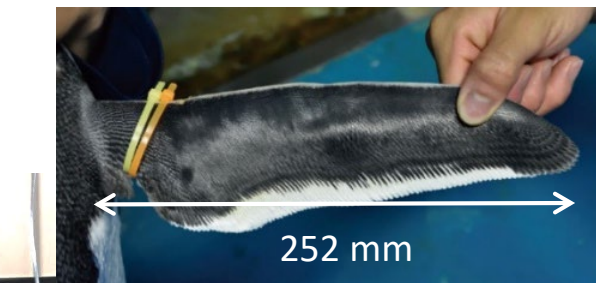
1. 現在の水中ドローン
2. ペンギン型水中ドローンのコンセプト
3. 開発した羽ばたき翼運動機構の仕組み
4. 回流水槽での推力発生実験<sup>[1]</sup>
5. 今後の取り組みと参照情報

[1] 片桐翔, 栢菅宏規, 田中博人, “ペンギン規範型羽ばたき推進機構の翼運動による推力の制御,” in ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 広島, June 5-8 2019, 1P1-F08.

# 回流水槽での力計測実験



126 mm

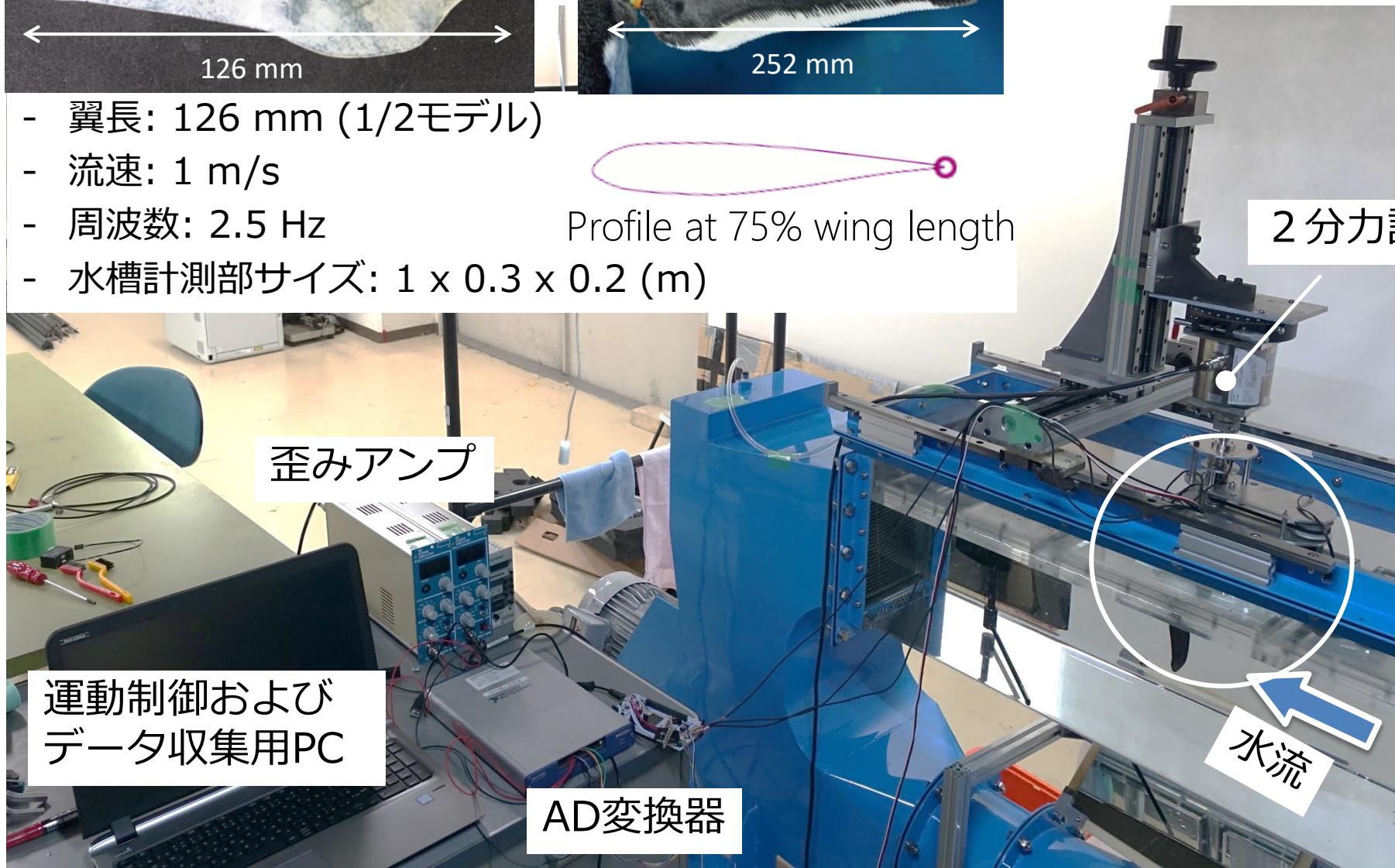


252 mm

- 翼長: 126 mm (1/2モデル)
- 流速: 1 m/s
- 周波数: 2.5 Hz
- 水槽計測部サイズ: 1 x 0.3 x 0.2 (m)



Profile at 75% wing length



歪みアンプ

運動制御および  
データ収集用PC

AD変換器

2分力計

水流

# フェザリングによる推力増大

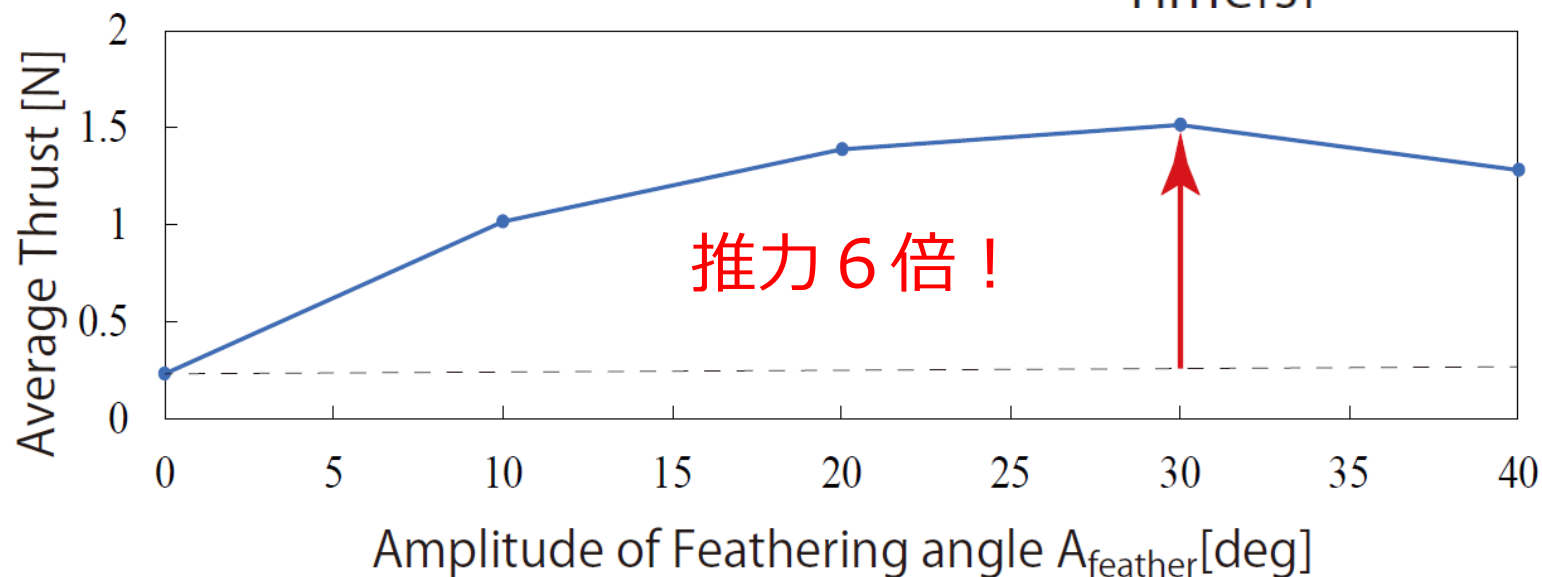
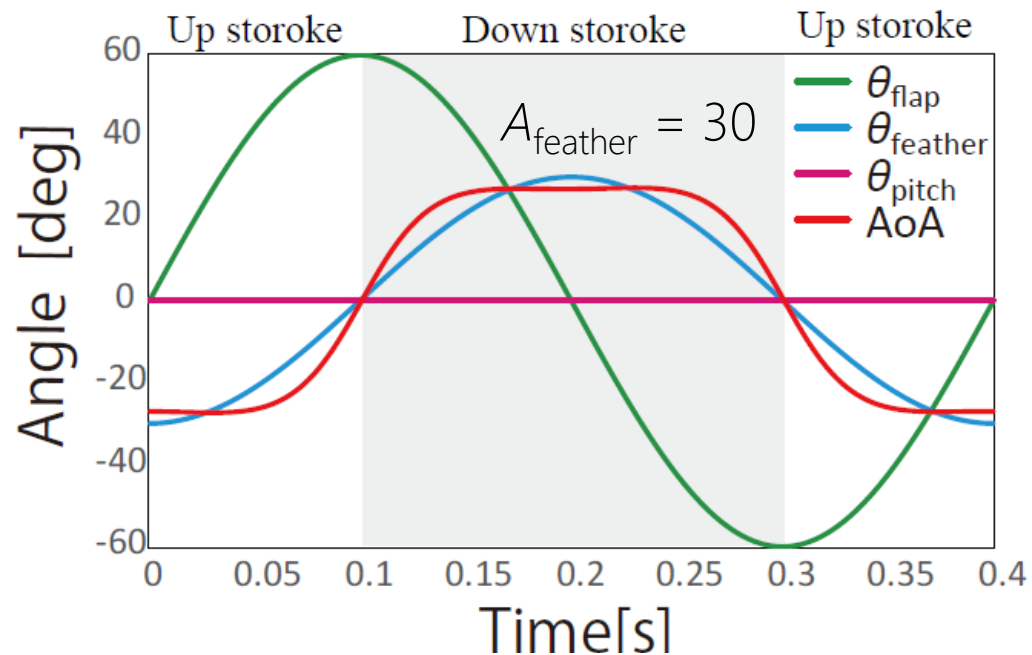
## 翼運動

$$\theta_{\text{flap}} = 60 \sin(2\pi \times 2.5 \times t)$$

$$\theta_{\text{feather}} = A_{\text{feather}} \sin(5\pi t - \pi/2)$$

$$A_{\text{feather}} = 0, 10, 20, 30, 40$$

$$\theta_{\text{pitch}} = 0$$



# ピッチングによる力方向変化

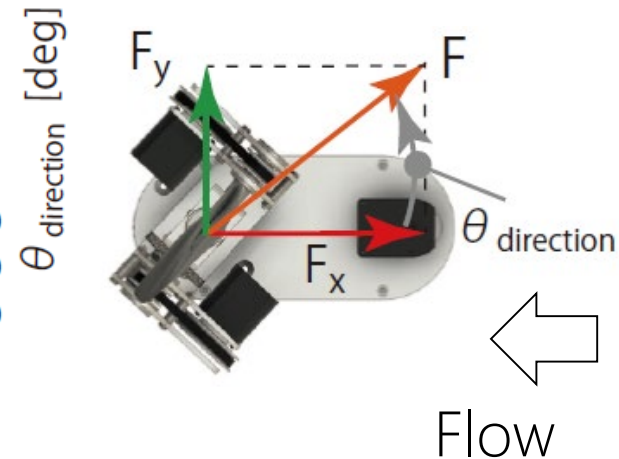
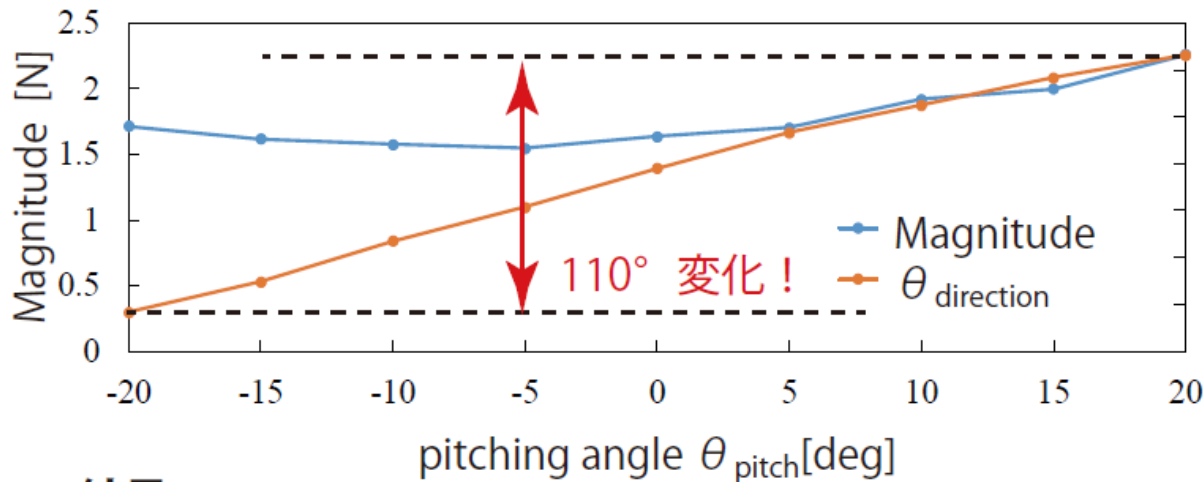
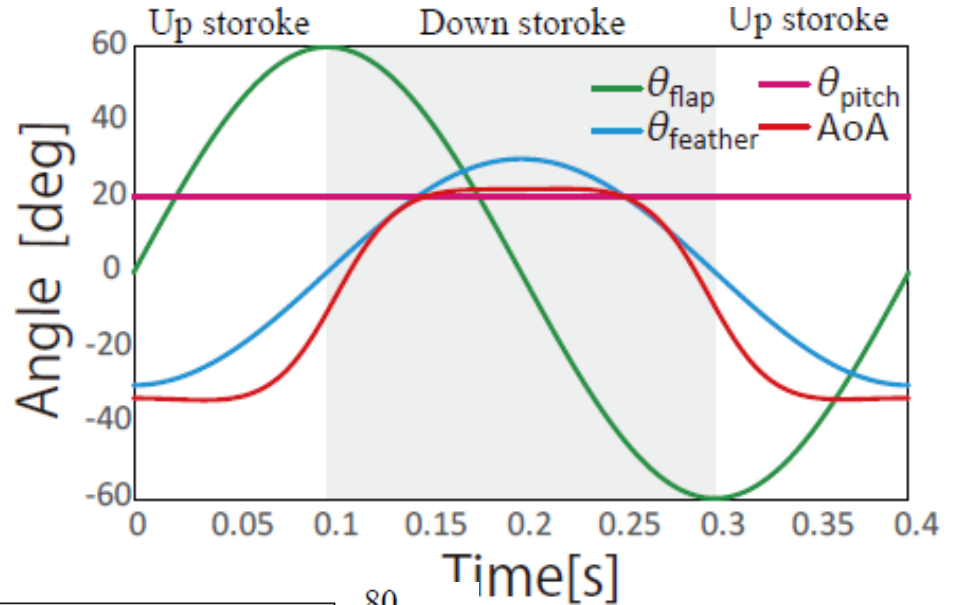
## 翼運動

$$\theta_{\text{flap}} = 60 \sin(2\pi \times 2.5 \times t)$$

$$\theta_{\text{feather}} = 30 \sin(2\pi \times 2.5 \times t - \pi/2)$$

$$\theta_{\text{pitch}} = C_{\text{pitch}}$$

$$C_{\text{pitch}} = -20, -10, 0, 10, 20$$



40° のピッチング角変化で、 **110° の力方向変化** を実現

# 本日の内容

1. 現在の水中ドローン
2. ペンギン型水中ドローンのコンセプト
3. 開発した羽ばたき翼運動機構の仕組み
4. 回流水槽での推力発生実験
5. 今後の取り組みと参照情報

# ROV・AUVに向けた課題

- 防水・耐水圧の密閉構造の試作
- 両翼を備えた遊泳実験機の試作
- 有線遠隔操縦の実現
- 完全自律制御の実現

## 企業への期待

- 防水・耐水圧構造の設計と製作
- 軽量・高トルク・高速なモータの設計と製作

- 水流中での3自由度羽ばたきによる非定常流体力発生メカニズムの解明
- 遊泳状態ごとの翼運動最適化
- ペンギンの遊泳メカニズムと能力の解明

- 発明の名称：羽ばたき動作機構及び羽ばたき動作機構の使用方法、並びに、羽ばたき機構を用いた推進装置
- 出願番号：特願2018-184512
- 出願人：東京工業大学
- 発明者：田中博人、栢菅宏規

# 本技術の産学連携の経歴

2017年10月～2018年3月 共同研究  
株式会社富士通総研、有限会社安久工機  
「ペンギンの翼運動を模擬できる  
電動機構に関する研究」

2018年10月26日 講演および出展  
第98回東京工業大学技術交流セミナー  
「生物の羽ばたき飛翔と遊泳の  
ソフトロボット応用」  
@第8回おおた研究・開発フェア  
(大田区産業プラザPiO)

# お問い合わせ先

東京工業大学  
研究・産学連携本部

Tel : 03 – 5734 – 2445

Fax : 03 – 5734 – 2482

E-mail : [sangaku@sangaku.titech.ac.jp](mailto:sangaku@sangaku.titech.ac.jp)