

研究背景

小型飛行体(MAV : Micro Air Vehicle)の開発

鳥が持つ優れた性能

- 急旋回, 急上昇, 急降下を可能とする高い機動性を持つ.
- 飛び立つ時, 着地時に長い滑走路を必要としない.
- 強風や突風などの外乱に強い.



研究背景

小型飛行体(MAV : Micro Air Vehicle)の開発

火星調査

- ・ 岩だらけの厳しい地形でも探査が可能
- ・ 低レイノルズ数の環境下において、大きな揚力を発生させる。

防犯目的

- ・ 自然に溶け込んで危険や異常がないか見回る
- ・ 犯罪者に気付かれずに追跡することも容易

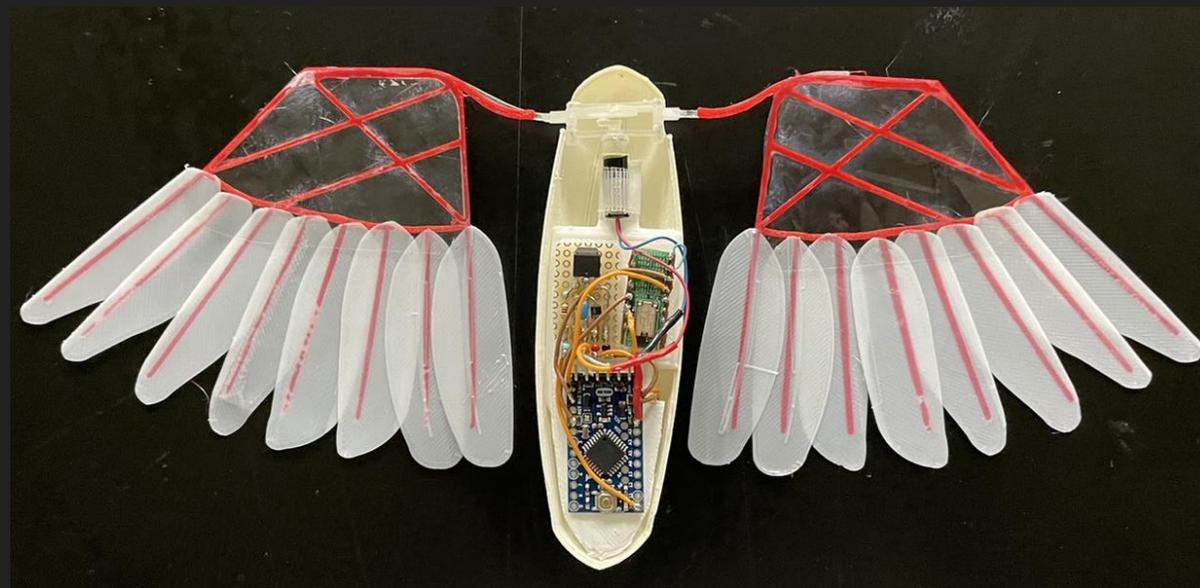
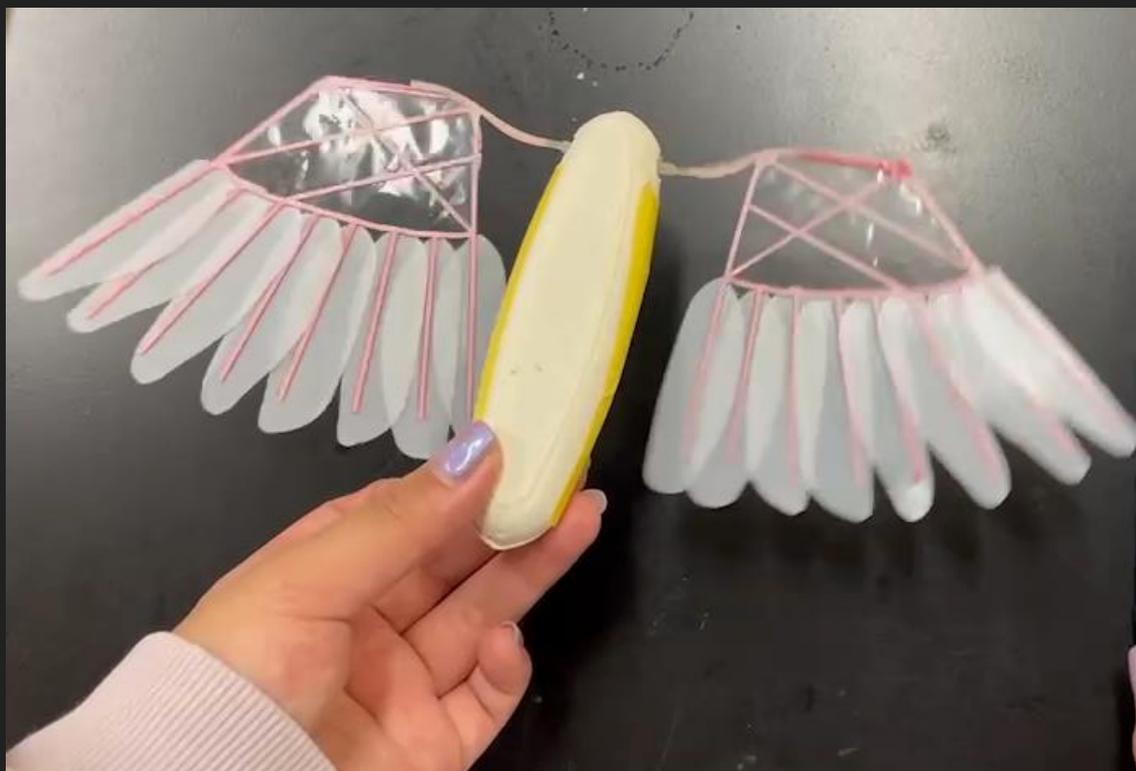
災害時地域の状況把握

- ・ 人間が入れない高所、危険地域での探査が可能
- ・ 外乱の多い地域でも安定した飛行性能

研究目的

- 羽ばたき時に，初列風切羽が開閉する構造を取り入れた主翼の設計・製作を実施する。
- センサ制御を含む羽ばたき駆動システムを設計し，安定した羽ばたき運動を実現させる。
- 製作した小鳥型飛行ロボットの飛行試験を行い，高度な飛行形態の実現を目指す。

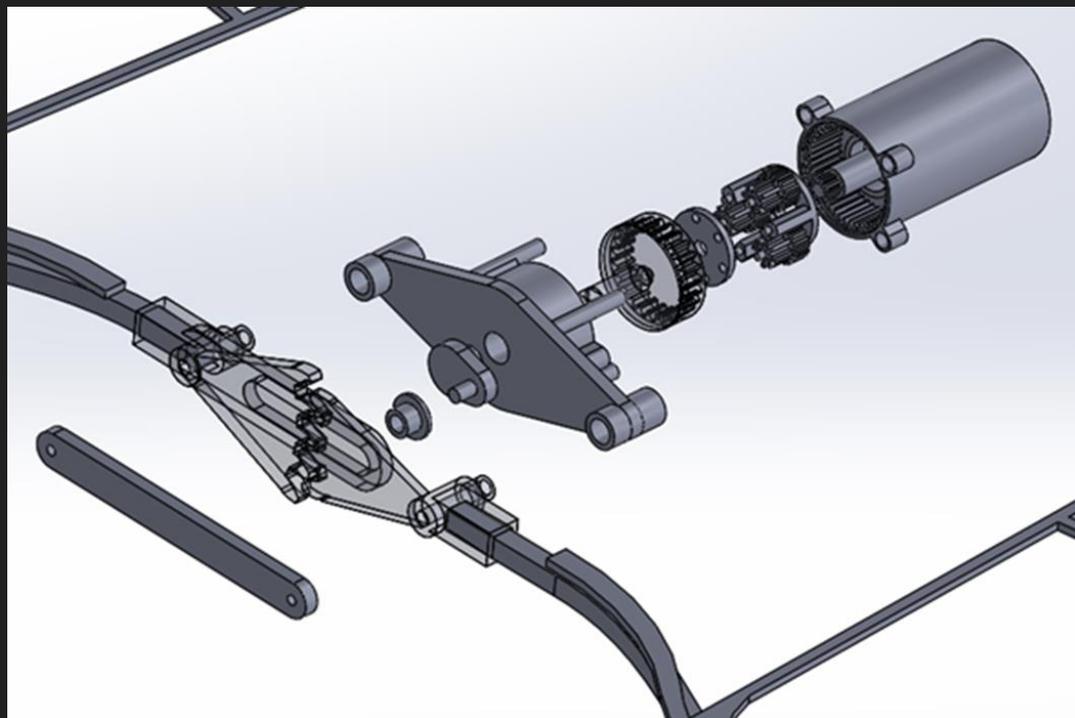
製作中の小鳥型飛行ロボット



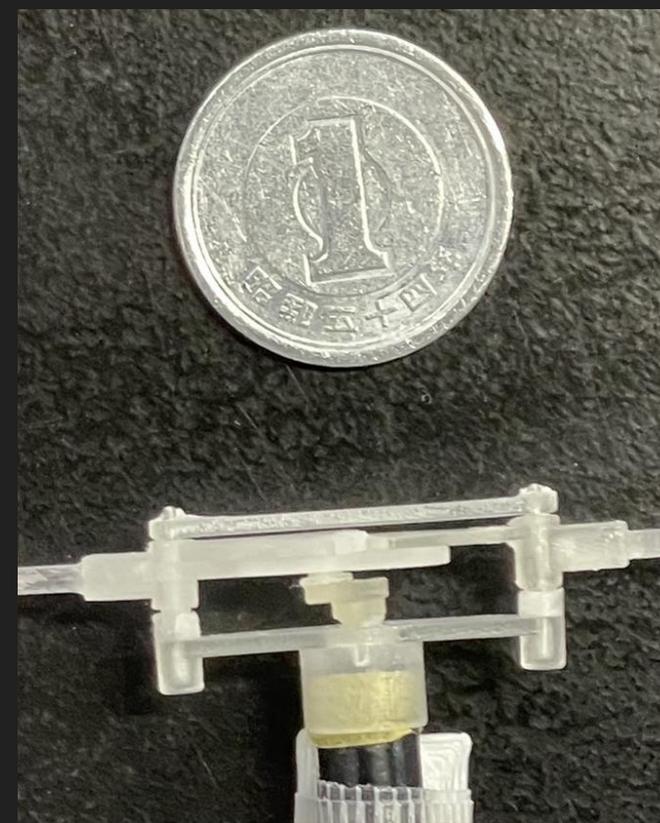
小鳥型飛行ロボットの製作項目

1. 羽ばたき機構

羽ばたき機構

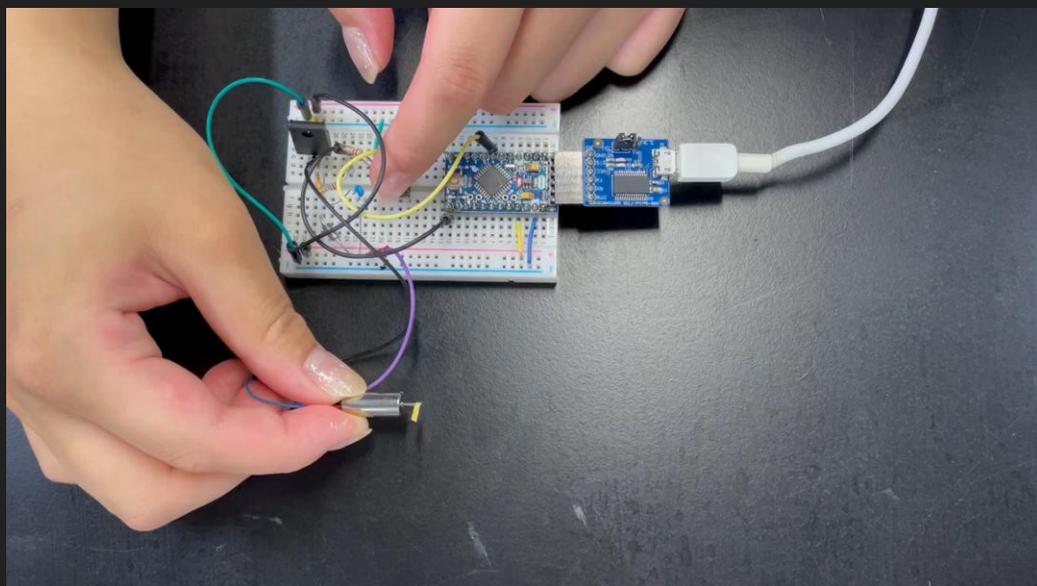


(a) 羽ばたき機構メカニズム



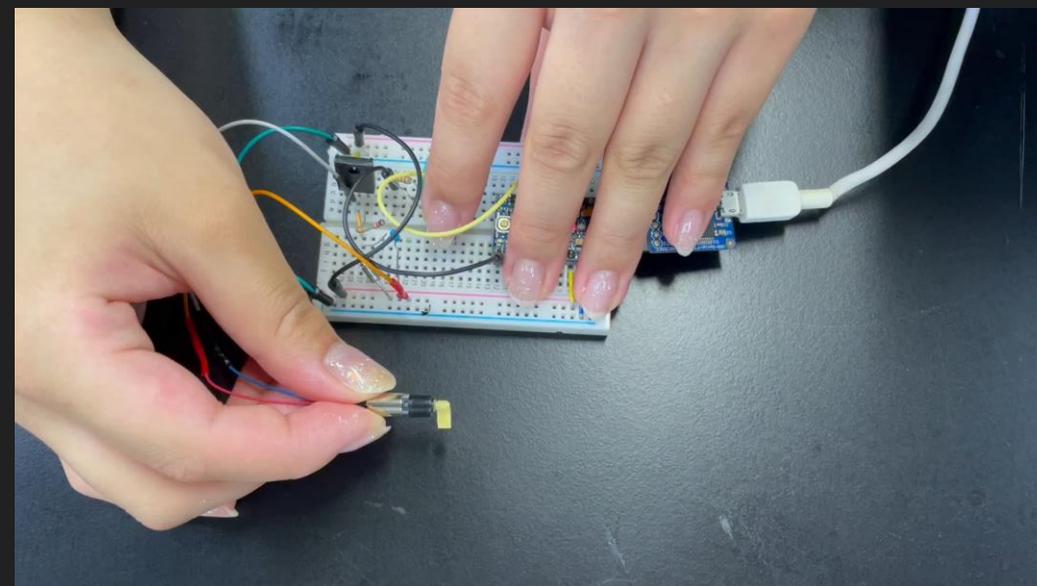
(b) 羽ばたき機構外観

羽ばたき機構



(a) 旧モータ動作状態

旧モータ(ギアなし) : 1.50 g
新モータ(ギア付き) : 1.23 g



(b) 新モータ動作状態

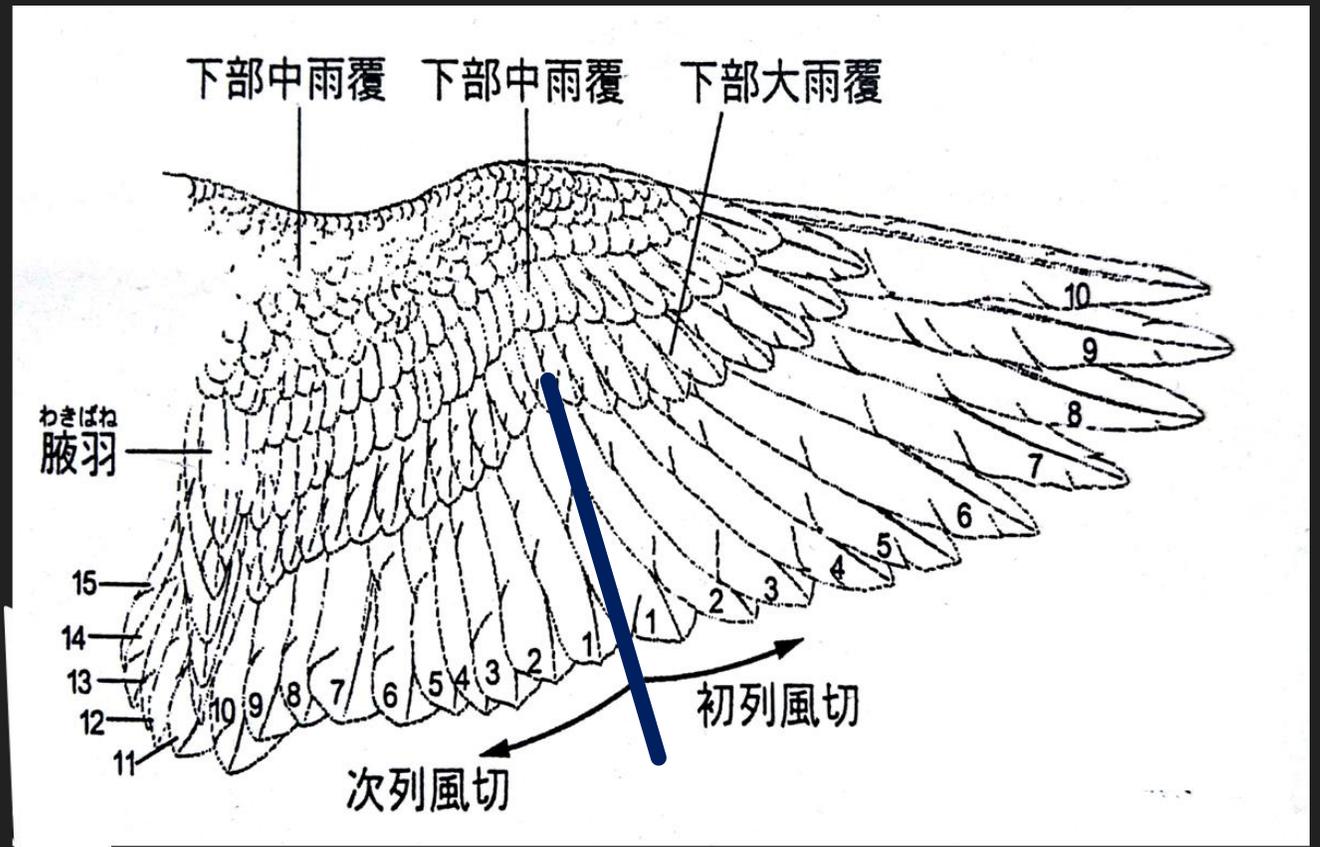
動作の安定
軽量化



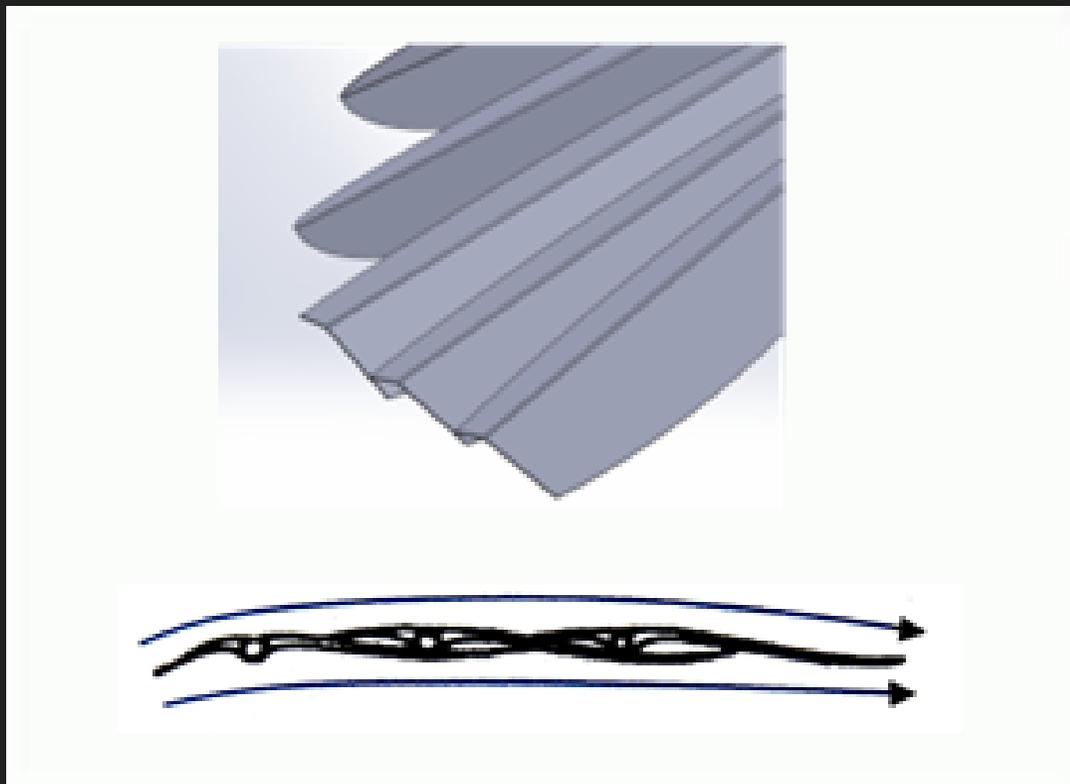
小鳥型飛行ロボットの製作項目

2. 羽ばたき翼

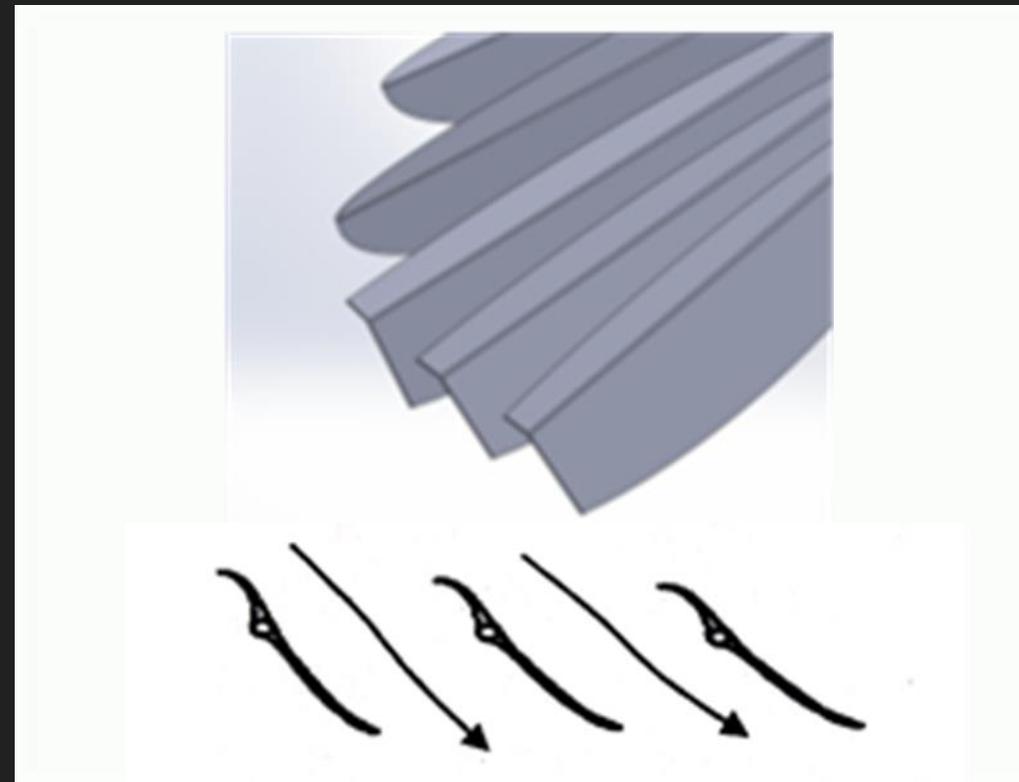
鳥の翼構造 について



鳥の翼構造について



(a) 振り下ろし時



(b) 振り上げ時

羽ばたき翼



翼面積A : $1.57 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

質量 : 4.6g(両翼)

使用した素材 :

TPU

PETG

OPPフィルム

羽ばたき翼



初列風切羽



次列風切羽

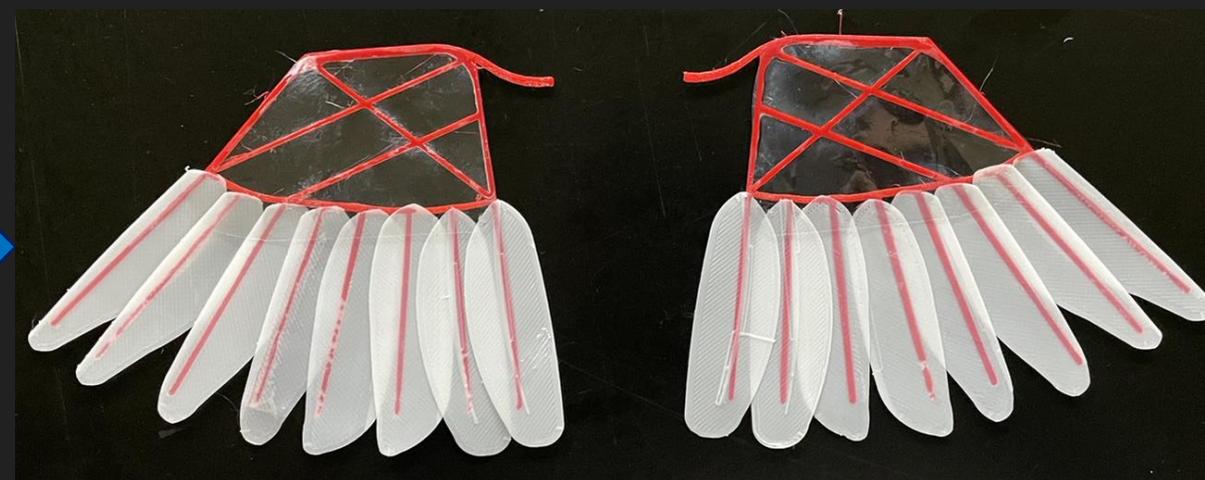
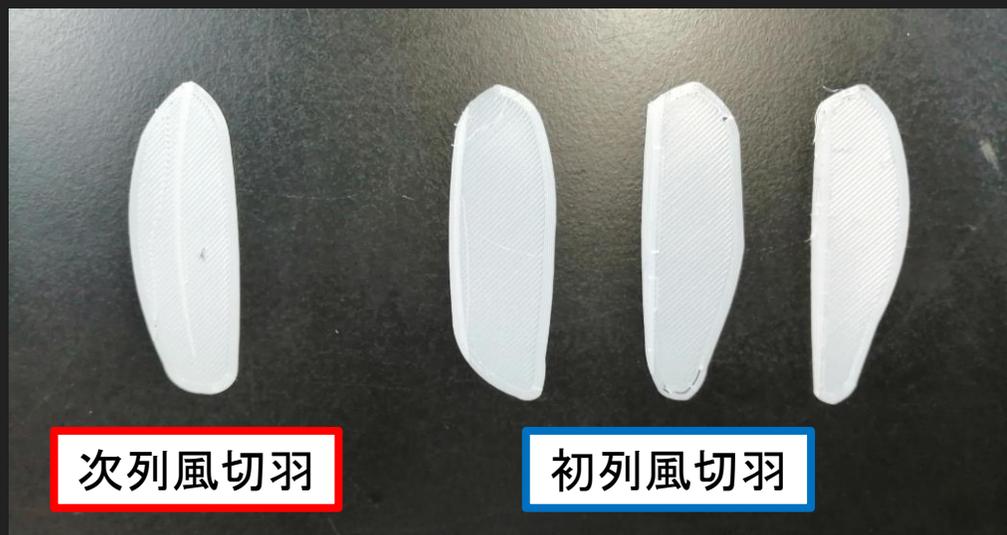
正羽

材質：TPU
(Thermoplastic Polyurethane)

厚み：0.15mm

実際の鳥の正羽を3DCAD上で
トレース
→3Dプリンタ (Ender3pro) で製作

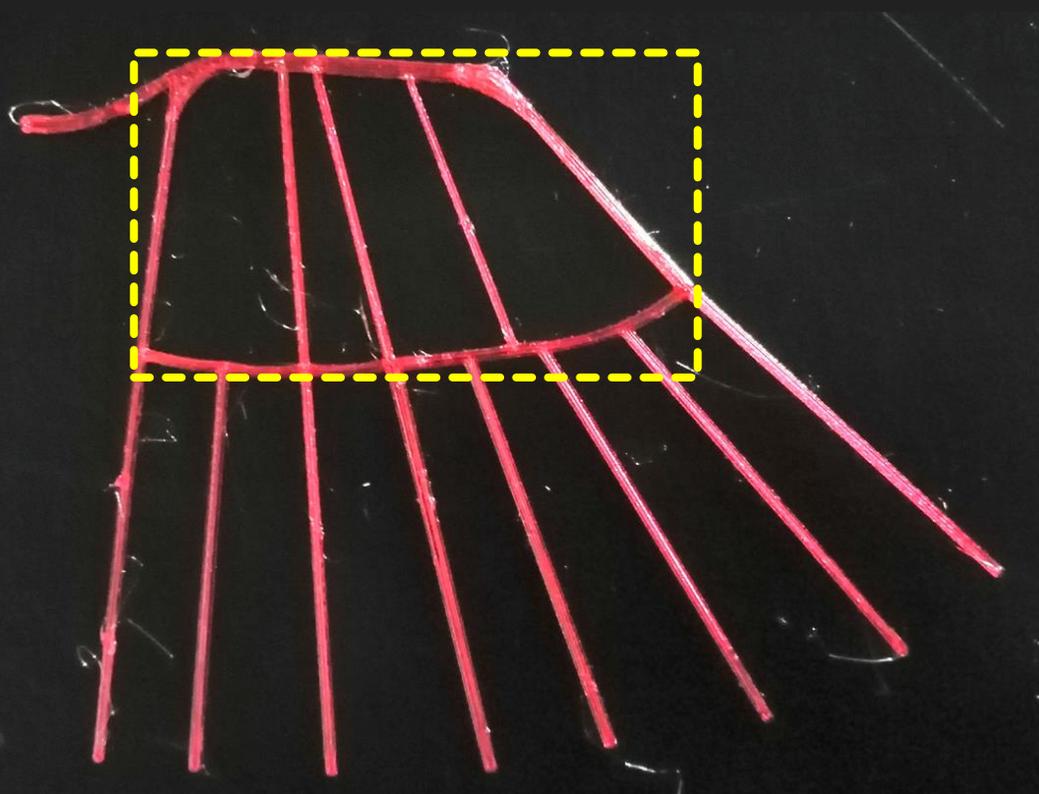
羽ばたき翼



初列風切羽

先端に向けて翼弦長が細くなる先細形状に変更 + 厚さの工夫

羽ばたき翼



上腕及び羽軸部分

材質：PETG

(Poly Ethylene Terephthalate,
Glycol modified)

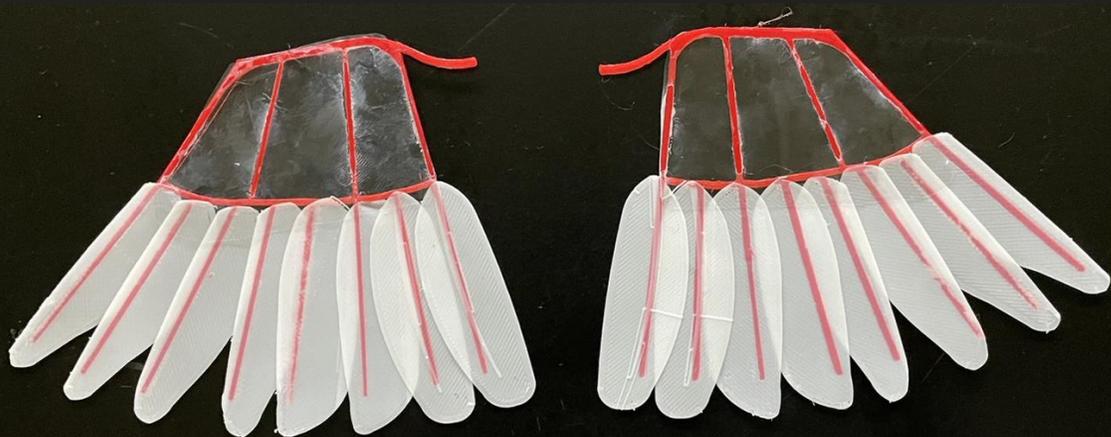
初列風切羽6枚

次列風切羽2枚

3Dプリンタ (Ender3pro) で製作

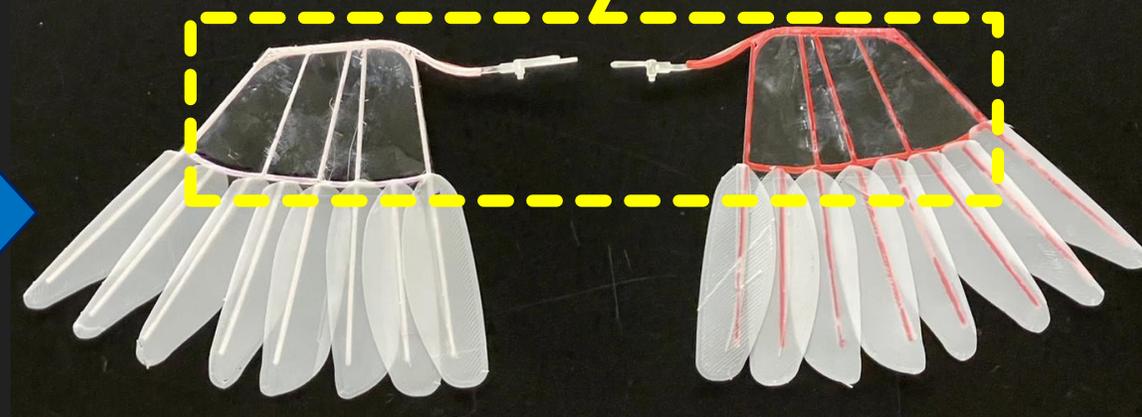
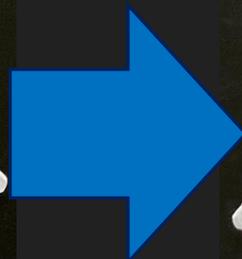
羽ばたき翼

軽量化&高い剛性を得るための工夫



PETGのみ

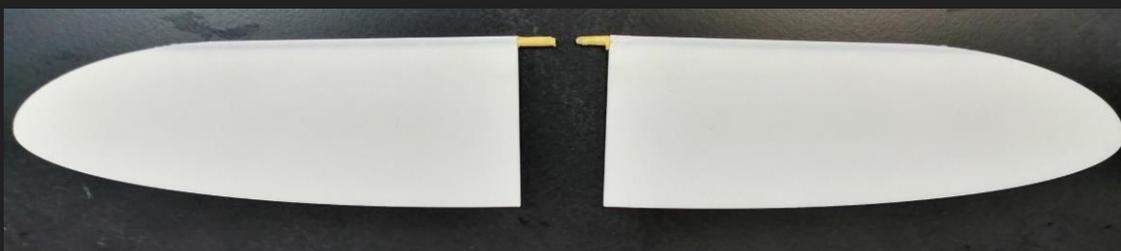
剛性が無く、羽ばたき運動に追従できない
たわみが大きい



PLA+PETGの2色印刷

たわみが小さく、
翼根元部の剛性あり

製作した羽ばたき翼の空力特性

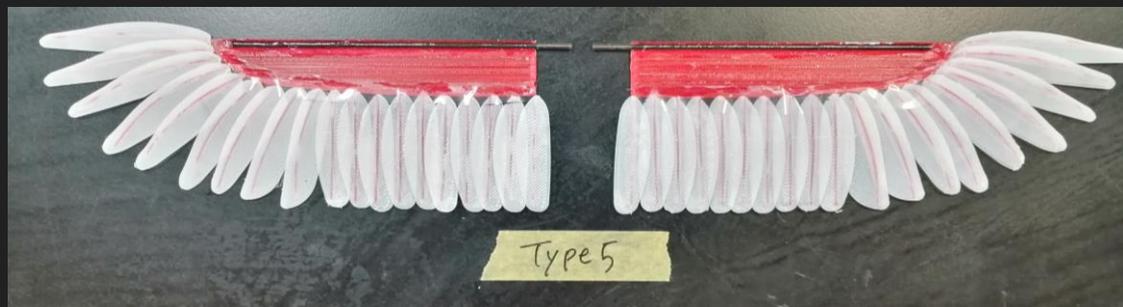


(a) 翼弦方向テーパ33%楕円翼

楕円翼

翼弦方向テーパ33%

翼面積A : $1.8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$



(b) 鳥型翼(Type5)

鳥型翼(Type5)

翼面積A : $1.96 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

初列風切羽 : 9枚 次列風切羽 : 10枚

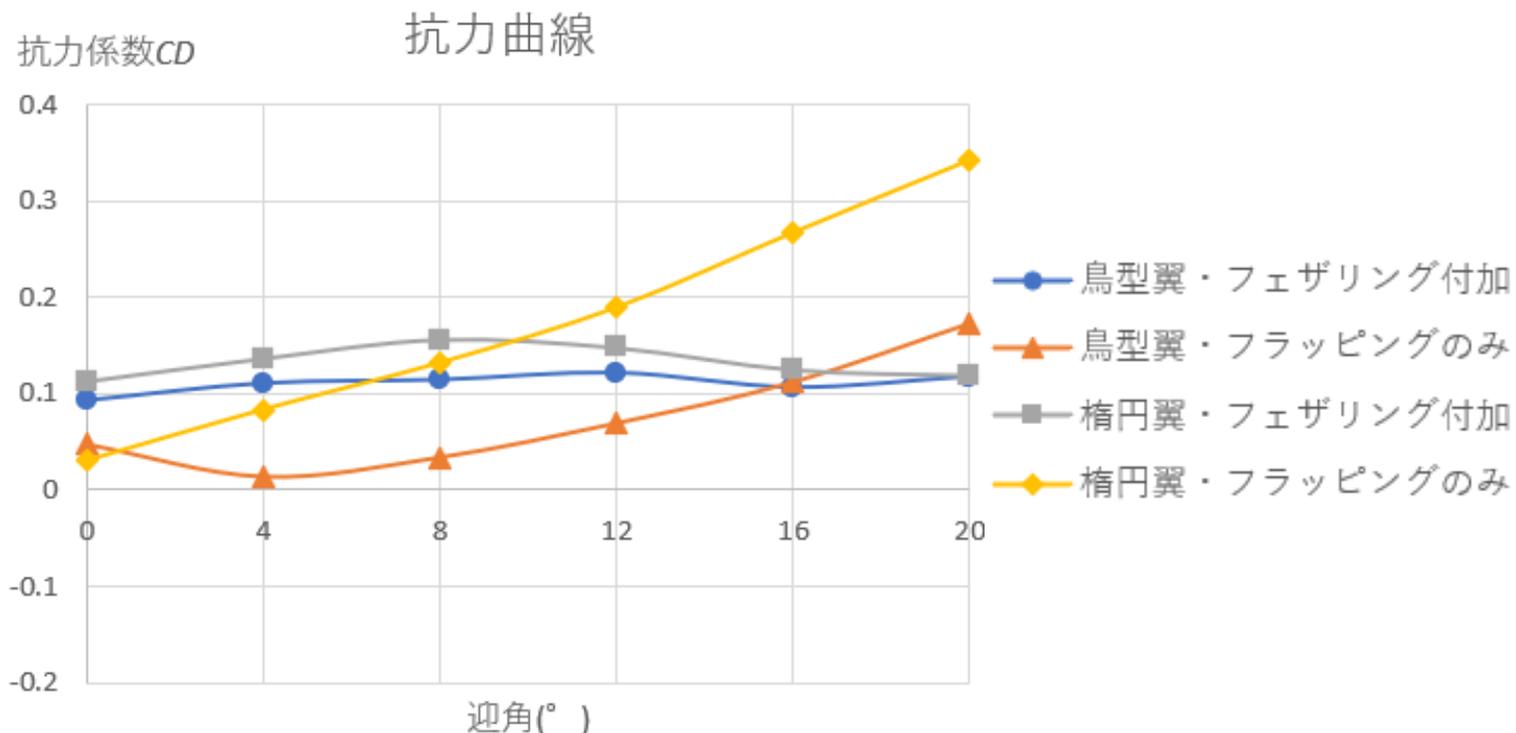
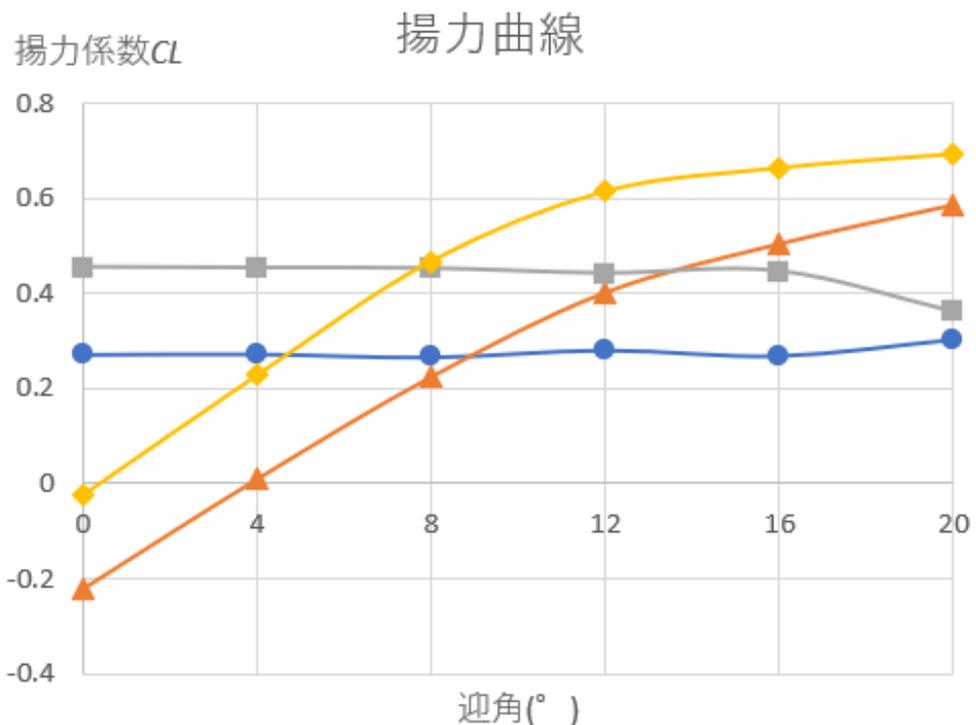
参考にした正羽 : アオバト

製作した羽ばたき翼の空力特性

空気力測定条件

一様流速 U	7 m/s
迎角 α	$0^\circ \sim 20^\circ$ (4° 毎)
羽ばたき周波数 f	3 Hz
羽ばたき振幅 FA	20°
サンプリング周波数	1 kHz
サンプリング時間	20 s

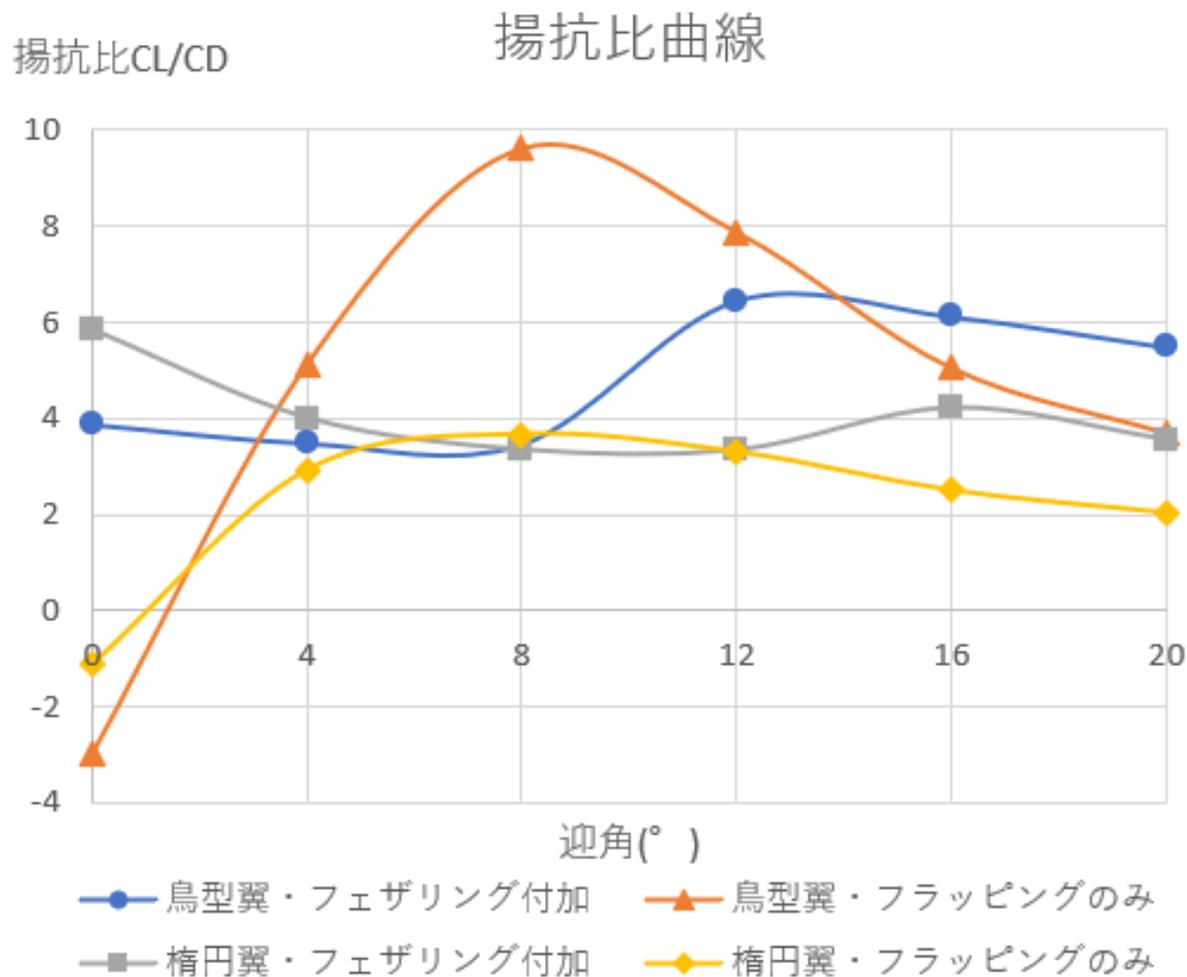
製作した羽ばたき翼の空力特性



揚力曲線より
楕円翼が有利(領域全体)

抗力曲線より
鳥型翼が有利(領域全体)

製作した羽ばたき翼の空力特性



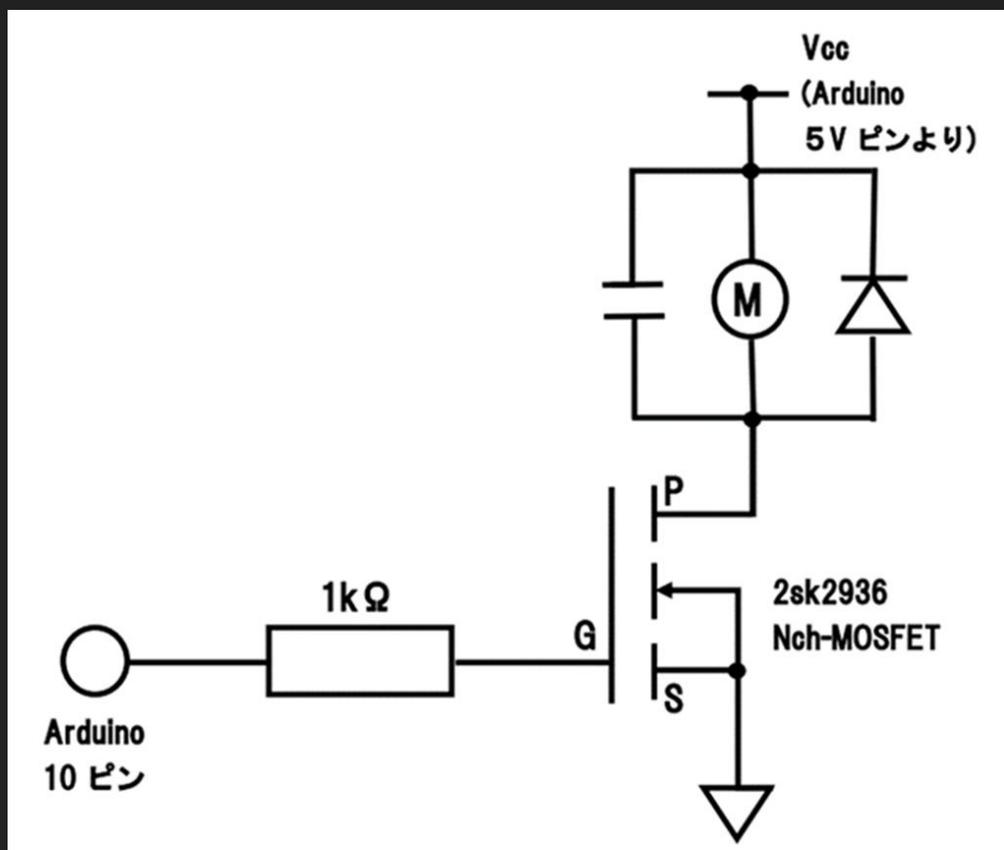
中～高迎角領域では
鳥型翼が有利

鳥型翼は**抗力を軽減**している
可能性あり
→今後、再現性を確認

小鳥型飛行ロボットの製作項目

3. 回路とプログラム

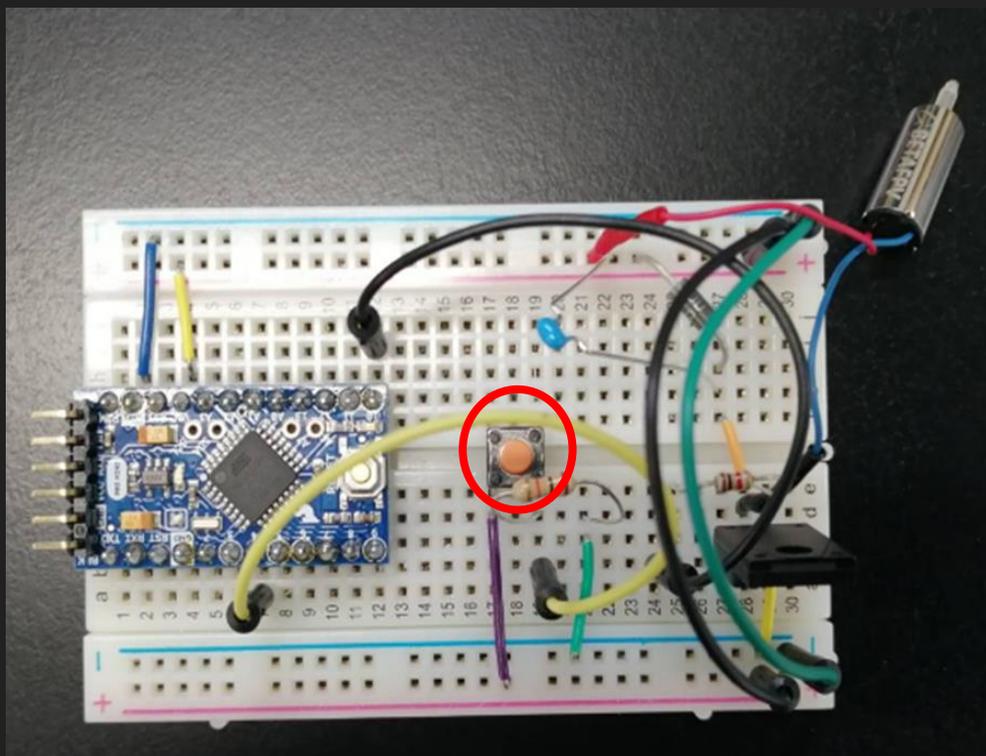
回路



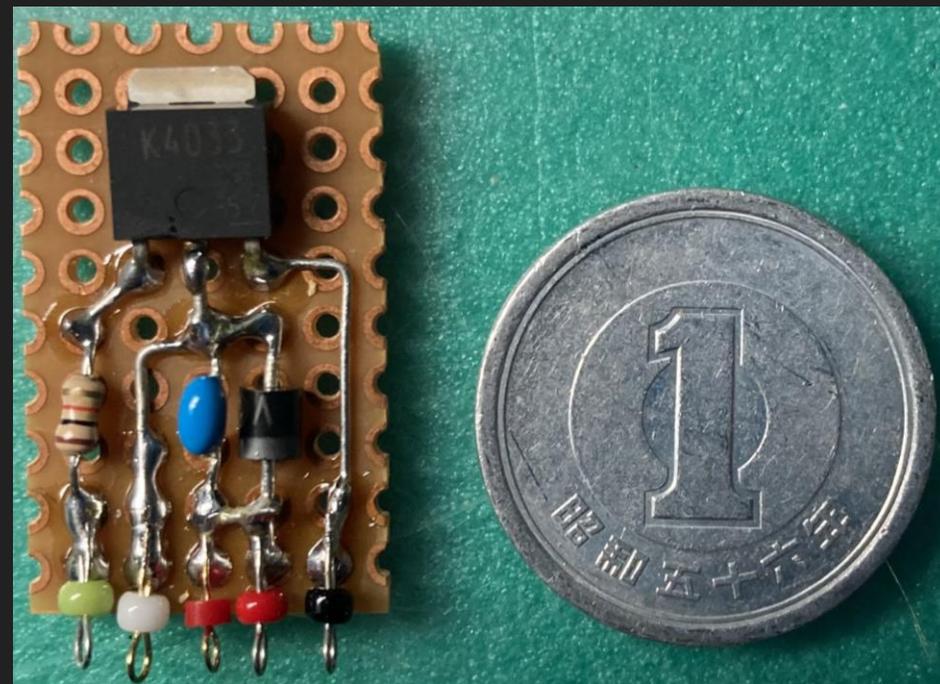
モータドライバ

モータに印加する電圧の大きさを
変更するリニア制御ではなく、
FETのスイッチング特性を用いた
PWM制御方式

回路

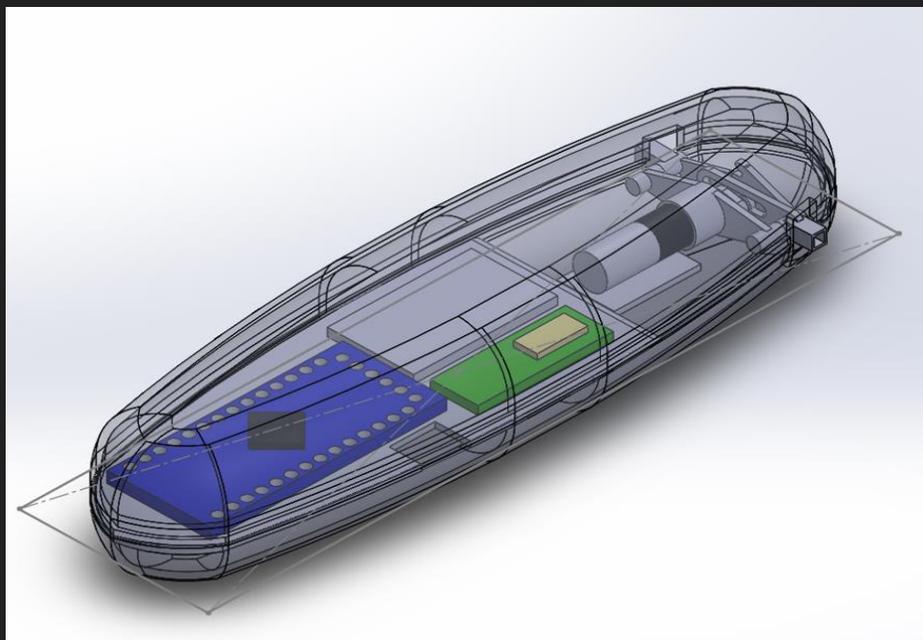


小型化

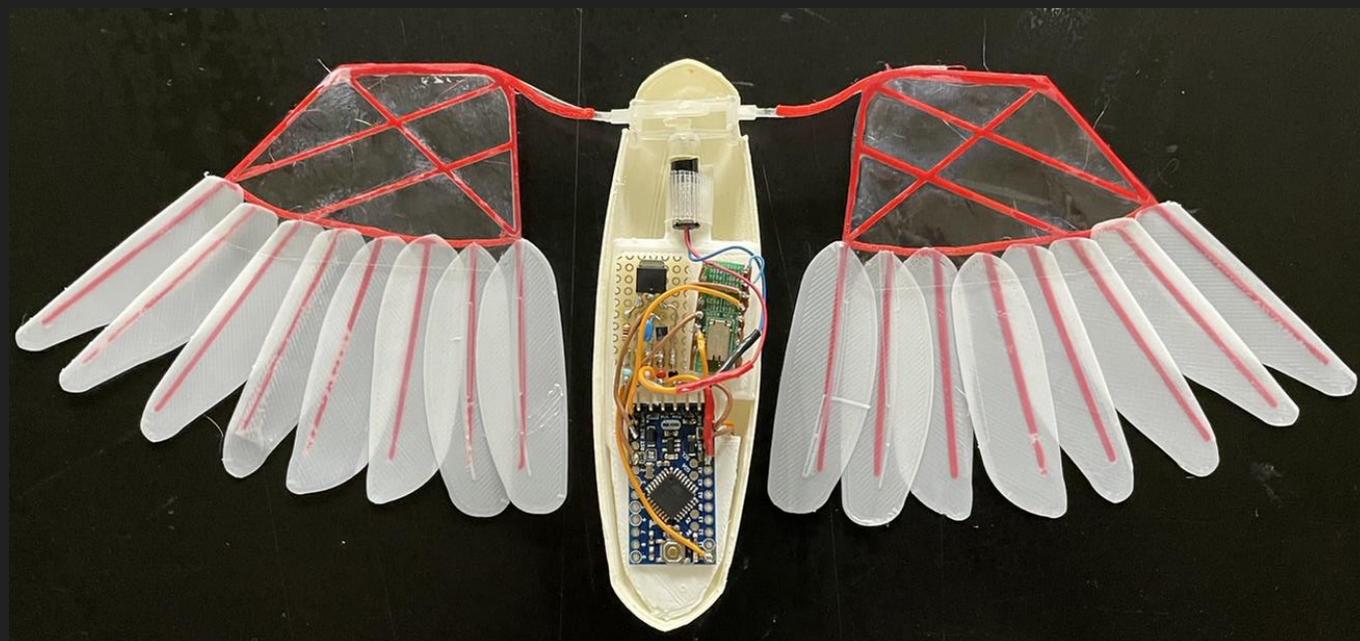


縦25mm × 横15mm
基盤の厚み1.5mm

小鳥型飛行ロボット

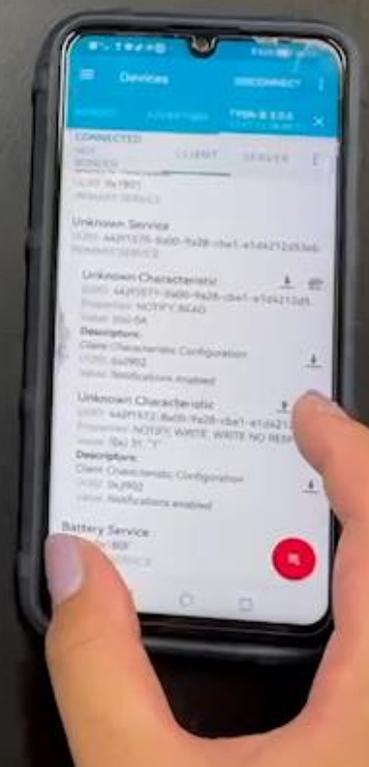


胴体にはLWPLAを使用
→7.0gの軽量化に成功



全体の重量：20.2g
大きさ：124×290mm

小鳥型飛行ロボットの動作



スマートフォンからの
信号で羽ばたき周波数
変更

‘0’→停止(0/255)

‘1’→低速(100/255)

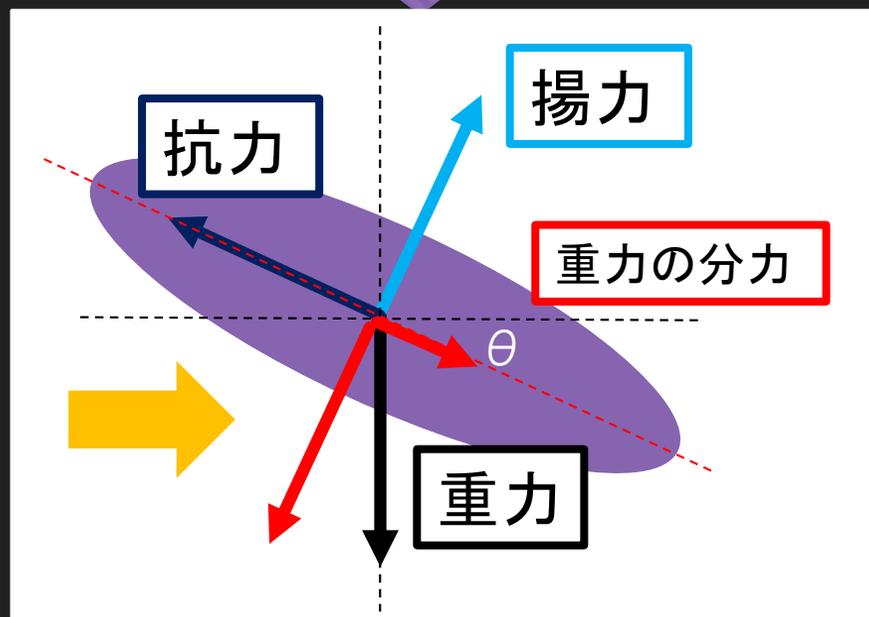
‘2’→中速(175/255)

‘3’→高速(255/255)

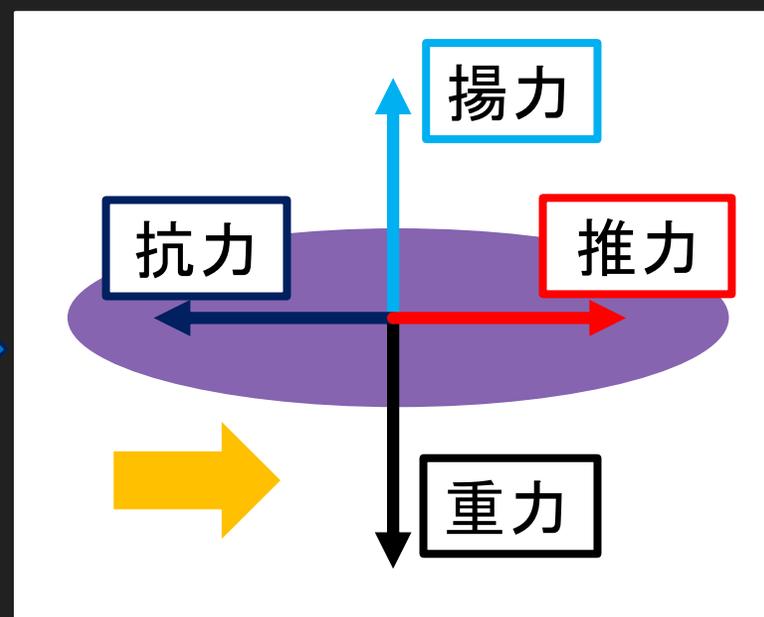
小鳥型飛行ロボットの製作項目

4. 自律飛行制御

自律飛行制御



(a) 無動力飛行（滑空）



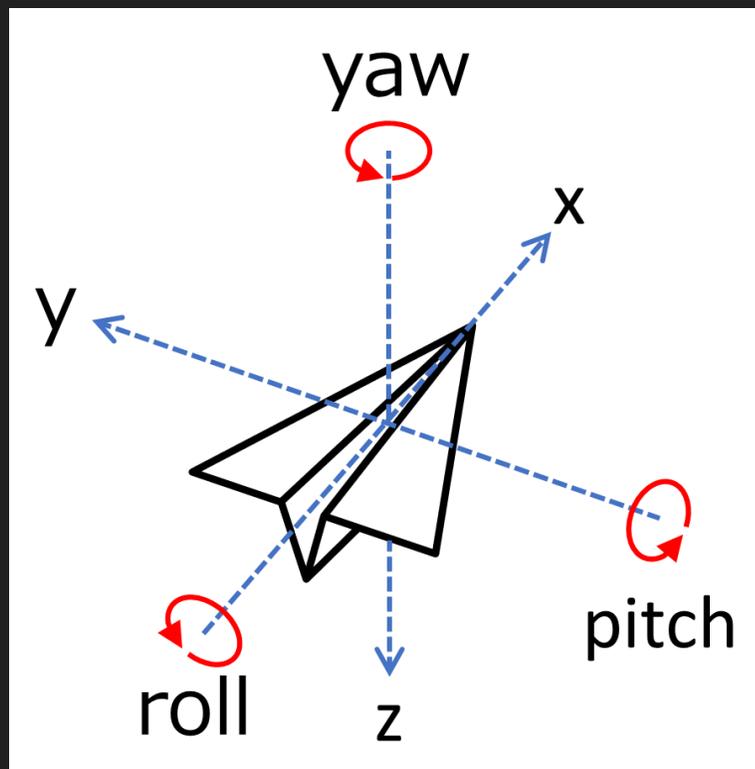
(b) 動力飛行（フラッピング）

滑空からフラッピングへの切り替えを自動で行う
→機体角度, 高度(気圧)データが必須

機体角度



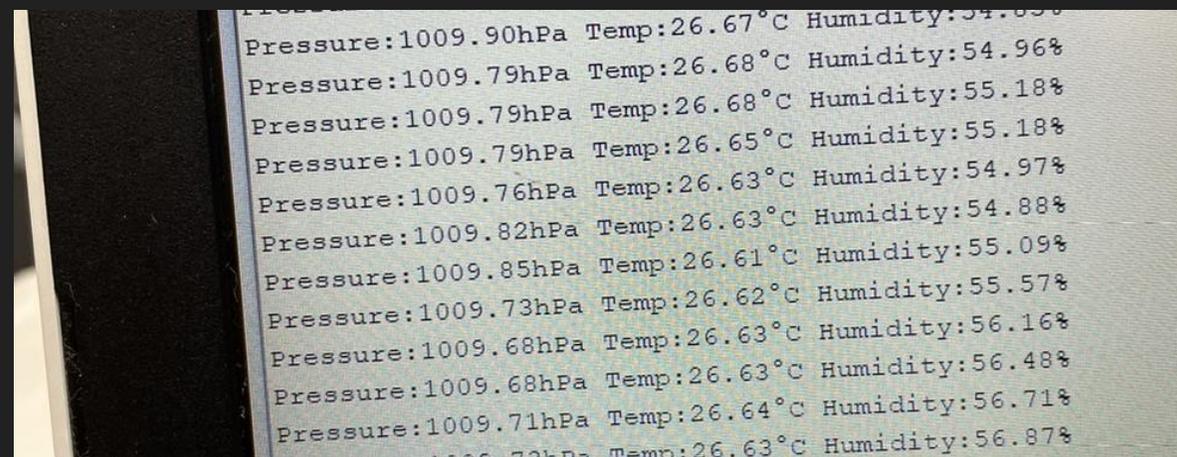
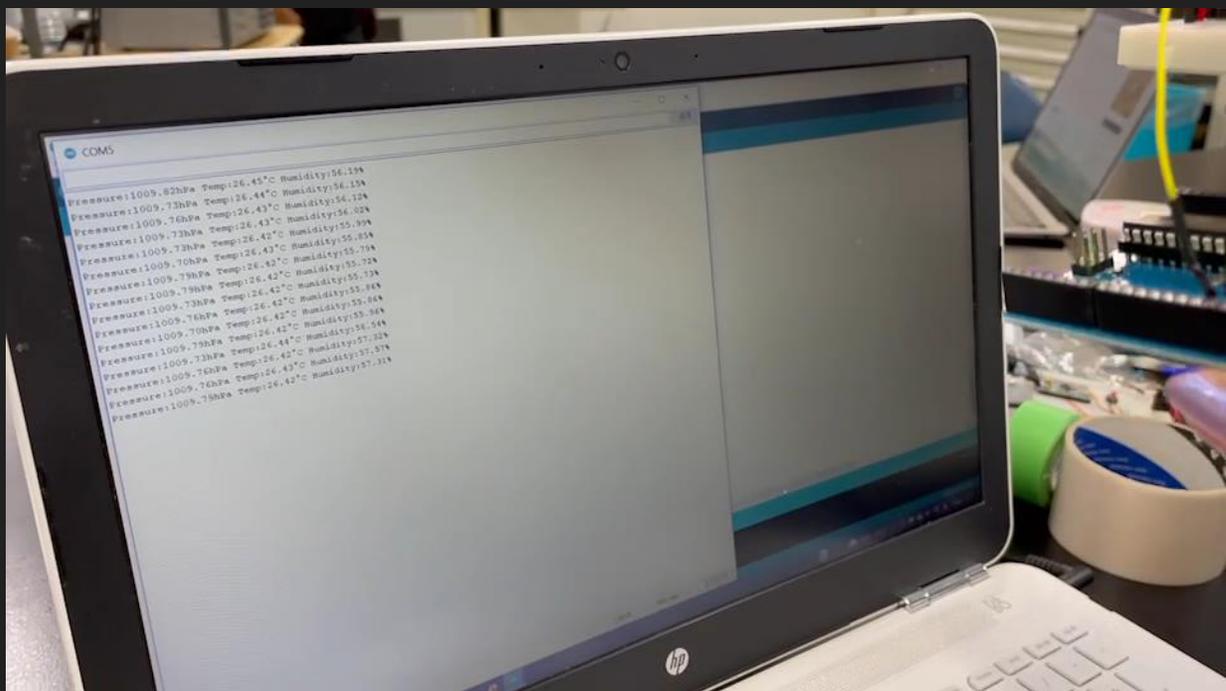
9軸センサモジュール：
BMX055



pitch角に着目

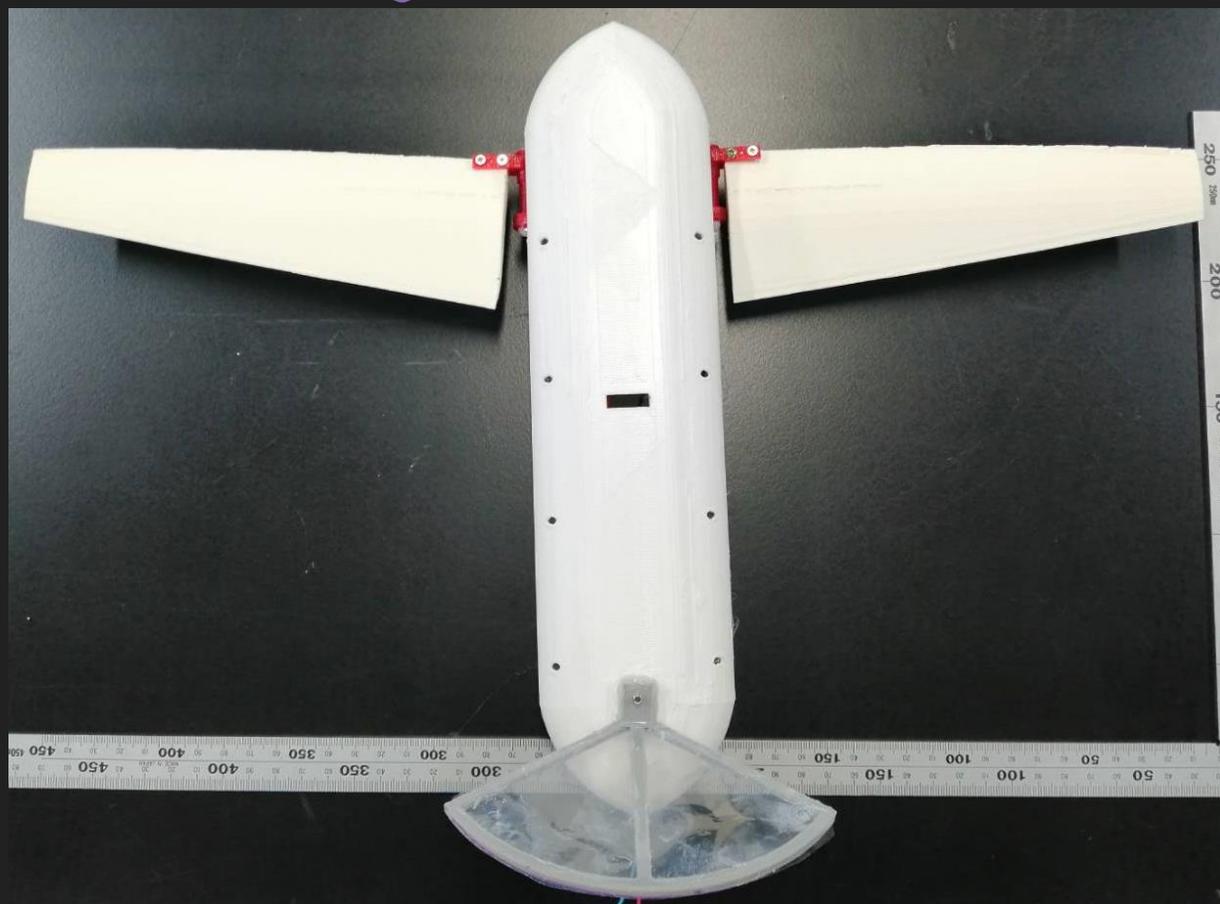
機体の進行方向に
直交する向きを軸
とした傾き角を検出
→動力飛行と滑空の
切り替えに使用

高度(気圧)測定



高度による気圧の変化を確認

実験用機体



全幅 : 450mm

全長 : 300mm

重量 : 260g (胴体込み)

材質 : PETG(機構),
PLA(胴体),
LWPLA(翼)

3Dプリンタにより製作

機体の動き



吊るした状態

まとめ

- ・ 鳥の翼を模倣した鳥型翼の開発を行い、空力特性を調査した
再現性は確認できていないが、鳥型翼の抗力軽減に関する可能性が示された
- ・ 小鳥型飛行ロボット用の鳥型翼、羽ばたき機構、駆動システムの開発を行い、本格的な飛行実験間近の状況。
- ・ 自律飛行制御の検討・センサの選定を行い、実験用羽ばたき模型の設計・製作を行った。

今後の課題

- ・再現性を確認するため、空気力測定を繰り返し行い、鳥型翼の優位性や正羽の開閉を確認する
- ・全体的な軽量化を実施し、飛行実験を行う
→尾翼の設計・製作を行う
- ・羽ばたき機構の改良により、安定した飛行を確立する
- ・自動でフラッピングと滑空を切り替え、墜落を防止する
自律飛行制御アルゴリズムを構築