



# Telexistence Cybernetics Crow の 視覚系と剥製翼飛行系の試作

松田美勇史<sup>1)</sup>, 末田航<sup>2)</sup>, 塚原直樹<sup>3)</sup>, 内田洋彰<sup>4)</sup>, 栗本育三郎<sup>5)</sup>

- 1) 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 11-1, 0514myuji.pop@gmail.com)  
 2) シンガポール国立大学 SSI (Heng Mui Keng Terrace, 119613 Singapore, idmks@nus.edu.sg)  
 3) 株式会社 CrowLab (〒320-0806 栃木県宇都宮市中央 3 丁目 1 番 4 号, tsukahara@crowlab.co.jp)  
 4) 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 11-1, uchida@maple.m.kisarazu.ac.jp )  
 5) 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 11-1, kurimoto@j.kisarazu.ac.jp)

**概要:** これまで我々はカラスとのコミュニケーションを図る Cybernetics Crow の開発実装を行ってきた。今回、Telexistence Cybernetics Crow 実現のための視覚系を持つ空中制御可能な剥製翼グライダーと地上からテレグジスタンス可能な HMD とヘッドトラッカーを用いた視覚系を設計実装する。本プロトタイプの結果を評価し、飛行可能な Telexistence Cybernetics Crow の開発仕様の抽出を実施する。

**キーワード:** テレグジスタンス, カラス, ドローン

## 1. まえがき

近年、カラスによる被害が増加しており、例として以下の様な被害が挙げられる。

ゴミ収集場を荒らされる、人への攻撃、鳴き声がうるさい、農作物が食べられる、糞害等が挙げられる。

現状の被害対策の例として、カラスを模した人形やカラスの死骸、カラスが嫌う目玉模様をした風船を吊るすなどの道具類が挙げられるが、一時的な効果で終わっている。

カラスに対する被害対策を難しくしている理由は、カラスはとても賢く単なる騙しは見抜かれてしまう、捕獲が難しい、毎日餌を必要とするため餌場への執着が強い、行動範囲が広い、カラスの感覚は人間と近く人に被害のない対策を講じることが難しいなどが挙げられる。

以上の理由から、現状の対策では根本的な問題の解決をすることが難しい。そこで、持続的かつ効果的な対応策として、カラスとコミュニケーションを取ることで被害を減らす取り組みが行われている<sup>[1]</sup>。門口らは、「Cybernetics Crow」という音声と首や尾翼の動きによってカラスとコミュニケーションをとるカラスロボットを開発した<sup>[2]</sup>。このロボットは、カラスに近い見た目と動きをしており、結果としてカラスと最低限のコミュニケーションを取ることに成功した。最終的に、カラスとロボットの直接的会話によってカラスの行動を人為的にコント

ロールできるようにする、第 1 段階としては、地上と空中のカラスロボット同士の擬似会話によってカラスをおびき寄せ、対話のきっかけを作る方法を検討する。Fig.1 に「Cybernetics Crow」の図を示す。Fig.2 に「Cybernetics Crow 剥製翼飛行系」のプロトタイプを示す。



Fig.1 「Cybernetics Crow」



Fig.2 「Cybernetics Crow 剥製翼飛行系」プロトタイプ

また、門口、末田、塚原、栗本らによって Cybernetics Crow のテレグジスタンス操作システムが提案されている<sup>[3]</sup>。そこで今回、「Cybernetics Crow」を用いたカラスとのコミュニケーション手段の幅を広げるために、飛行可能なカラスロボットの開発を目指す。飛行可能なカラスロボットを開発するために、剥製翼を主翼としたグライダーの最適な設計および制御方法を検討する。

## 2. 研究の方法と過程

### 2.1 研究の方針

既存のドローンでは、見た目がカラスに似ていないので、カラスに仲間だと思われることは難しいと思われる。そこで、カラスによく似たドローンを作るために、「Cybernetics Crow」のように剥製を用いてカラスを模倣したドローンの製作を試みる。

最終的には、音声を発しながら空中制御出来るようなドローンを作るのを目的とするが、まずは剥製翼を主翼としたグライダーを真っ直ぐに滑空させることを実現させる。しかし、剥製翼の空力特性について報告された例がないため、まずは風洞装置を用いて剥製翼の空力特性を調査し、簡単なモデルを作成して設計法および制御法について検討する。

### 2.2 数理モデル

安定的機体設計と制御系設計のために、機体の数理モデルを作成した<sup>[4][5][6]</sup>。

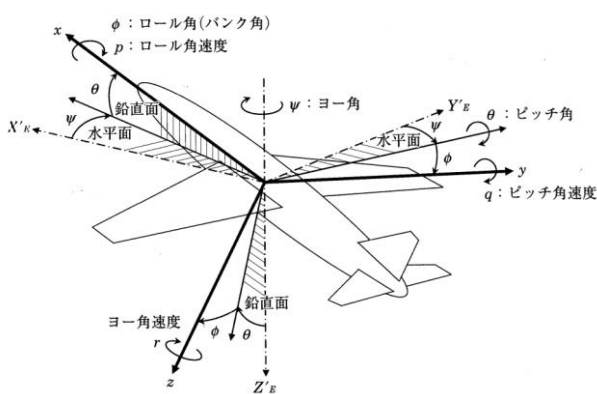


Fig. 3 機体と状態変数の関係

#### ・状態変数

$u$ (機体軸前方向速度),  $v$ (機体軸右方向速度),  $w$ (機体軸下方向速度),  $p$ (機体軸ロール角速度),  $q$ (機体軸ピッチ角速度),  $r$ (機体軸ヨー角速度),  $x_e$ (地面軸前方向速度),  $y_e$ (地面軸右方向速度),  $z_e$ (地面軸下方向速度),  $\theta$ (姿勢角),  $\phi$ (バンク角),  $\psi$ (方位角) 計 12 個

#### ・航法方程式

$$\begin{cases} \dot{x}_e = u \cos \theta \cos \psi \\ \quad + v(\cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi) \\ \quad + w(\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi) \\ \dot{y}_e = u \sin \theta \cos \psi \\ \quad + v(\sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi) \\ \quad + w(\sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi) \\ \dot{z}_e = -u \sin \theta + v \cos \theta \sin \phi + w \cos \theta \cos \phi \end{cases} \quad (1)$$

#### ・並進運動方程式

$$\begin{cases} \dot{u} = Rv - Qw - g \sin \theta + \frac{\rho V_c^2 S}{2m} C_x \\ \dot{v} = Pw - Ru + g \cos \theta \sin \phi + \frac{\rho V_c^2 S}{2m} C_y \\ \dot{w} = Qu - Pv + g \cos \theta \cos \theta + \frac{\rho V_c^2 S}{2m} C_z \end{cases} \quad (2)$$

#### ・回転運動方程式

$$\begin{cases} \dot{P} = (I_{yy} - I_{zz})QR/I_{xx} + \tilde{L}_t/I_{xx} \\ \dot{Q} = (I_{zz} - I_{xx})RP/I_{yy} + M_t/I_{yy} \\ \dot{R} = (I_{xx} - I_{yy})PQ/I_{zz} + N_t/I_{zz} \end{cases} \quad (3)$$

#### ・機体姿勢微分方程式 (キネマティクス方程式)

$$\begin{cases} \dot{\psi} = (r \sin \phi + q \sin \phi) / \cos \theta \\ \dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \\ \dot{\phi} = p + (r \cos \phi + q \sin \phi) \tan \theta \\ \quad = p + \dot{\psi} \sin \theta \end{cases} \quad (4)$$

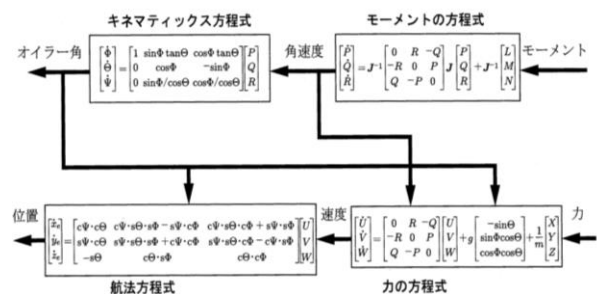


Fig.4 主要 4 方程式の関係

#### ・変数

$$\begin{cases} \delta_e : \text{昇降舵(エレベータ)舵角 [^\circ]} \\ \delta_a : \text{補助翼(エルロン)舵角 [^\circ]} \\ \delta_r : \text{方向舵(ラダー)舵角 [^\circ]} \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u : \text{機体軸上 前方向速度 [m/s]} \\ v : \text{機体軸上 右方向速度 [m/s]} \\ w : \text{機体軸上 下方向速度 [m/s]} \\ P : \text{ロール角速度 [°/s]} \\ Q : \text{ピッチ角速度 [°/s]} \\ R : \text{ヨー角速度 [°/s]} \\ \phi : \text{バンク角 [°]} \\ \theta : \text{姿勢角 [°]} \\ \psi : \text{方位角 [°]} \\ \\ V_c : \text{風速 [m/s]} \\ \alpha : \text{迎角 [°]} \\ \beta : \text{横滑り角 [°]} \\ C_L : \text{揚力係数} \\ C_D : \text{抗力係数} \\ \alpha_t : \text{尾翼迎え角 [°]} \\ \varepsilon : \text{吹き下ろし角 [°]} \\ \bar{L}_r : \text{操舵面ロール方向モーメント [kg \cdot m^2/s^2]} \\ \bar{M}_r : \text{操舵面ピッチ方向モーメント [kg \cdot m^2/s^2]} \\ \bar{N}_r : \text{操舵面ヨー方向モーメント [kg \cdot m^2/s^2]} \end{array} \right.$$

・定数

$$\left\{ \begin{array}{l} g : \text{重力加速度 } 9.81[\text{m/s}^2] \\ \rho : \text{空気密度 } 1.2[\text{kg/m}^3] \\ S : \text{主翼面積 } 0.1675[\text{m}^2] \\ m : \text{機体質量 } 0.31[\text{kg}] \\ m : \text{主翼幅 } 0.93[\text{m}] \\ m : \text{平均翼弦長 } 0.20[\text{m}] \\ i_t : \text{尾翼取り付け角 [°]} \\ AR : \text{アスペクト比 } 5.167 \end{array} \right.$$

### 2.3 空力特性実験

滑空距離が最大になる最良滑空比は揚抗比が最大の時である。最大揚抗比より、最良滑空角を求め、その角度を目標値として設定する。そのために、剥製翼の揚抗比曲線を調べ、最大揚抗比とその時の迎角を調べる必要がある。

最良滑空比に関する計算式<sup>[7][8]</sup>を以下に示す。

$$\text{滑空比} = \frac{1}{\tan\phi} = \frac{1}{\frac{D}{L}} = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D} \quad (5)$$

$$L = C_L A \frac{\rho v^2}{2}, \quad D = C_D A \frac{\rho v^2}{2} \quad (6)$$

$\phi$ : 滑空角,  $L$ : 揚力[N],  $D$ : 抗力[N],  
 $C_L$ : 揚力係数,  $C_D$ : 抗力係数,  
 $A$ : 翼面積(本実験で使用した剥製翼は  $0.1675\text{m}^2$ ),  
 $\rho$ : 密度(空気密度  $1.2\text{kg/m}^3$ )

風洞実験を行い、剥製翼の空力特性を調べた。風洞装置に剥製翼を取り付け、 $10\text{m/s}$ の風を当てる。この時、剥製翼を固定しているアクリル板が水平である状態を  $0^\circ$ として、迎角  $-20^\circ$ から  $-10^\circ$ までは  $2^\circ$ ずつ、 $-10^\circ$ から  $10^\circ$ までは  $1^\circ$ ずつ角度を増やし、 $10^\circ$ から  $40^\circ$ までは  $1^\circ$ ずつ角度を増やした。

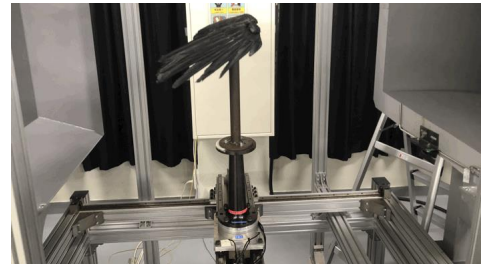


Fig. 5 剥製翼の空力特性実験

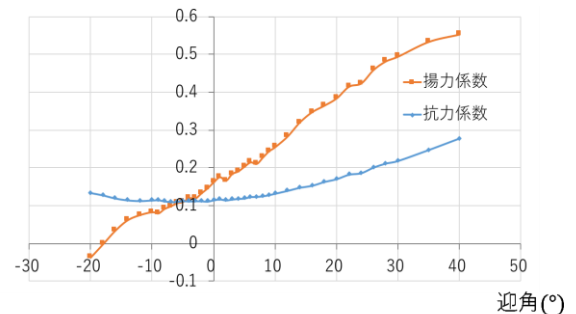


Fig. 6 剥製翼の揚力曲線と抗力曲線 (流速  $10\text{m/s}$ )

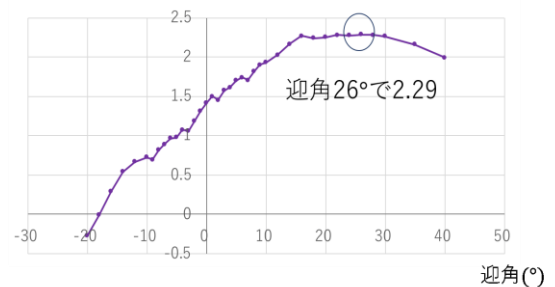


Fig. 7 剥製翼の揚抗比曲線 (流速  $10\text{m/s}$ )

### 2.4 制御系設計

胴体部の両側面にサーボモータがそれぞれ一つずつあり、ロッドで尾翼とサーボモータを接続する。サーボモータは Arduino-Nano で制御されており、受信機をグライダーに搭載することでプロポによる遠隔操作を可能にしている。Fig.8に制御系のブロック線図を示す。Fig.9に尾翼とサーボモータとロッドによる機構部の様子を示す。

PID制御によって、安定的な姿勢を維持できるようにしている。9軸センサから取得した3軸角速度のクォータニオンから回転行列を取り出し、オイラー角を求めること

で姿勢情報を取得する<sup>[9][10]</sup>。カラスロボットの制御入力  
は尾翼を動かすサーボモータの回転角である。

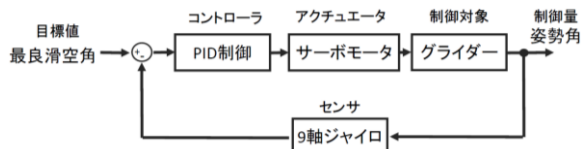


Fig. 8 制御系ブロック線図

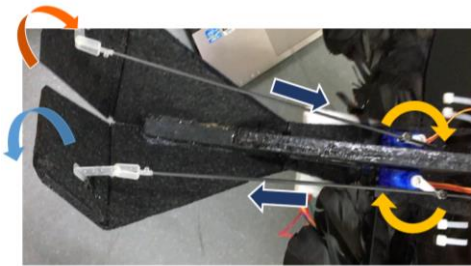


Fig. 9 V-tail 型尾翼の駆動

### 3. テレイグジスタンス視覚系

Entania 社の VR220(視野角 220°)という全天周小型カメラとスマートフォンを用いたヘッドマウントディスプレイ(以下「HMD」という)によるテレイグジスタンス操作システムを開発する。テレイグジスタンスとは、オペレータが直接そのロボットの存在する場所で作業しているような臨場感を有して現場の状況を把握し作業を行えるようにする技術である<sup>[11]</sup>。3D プリンタを用いてカラス頭部を出力し、VR220 を二つ眼部に取り付ける。

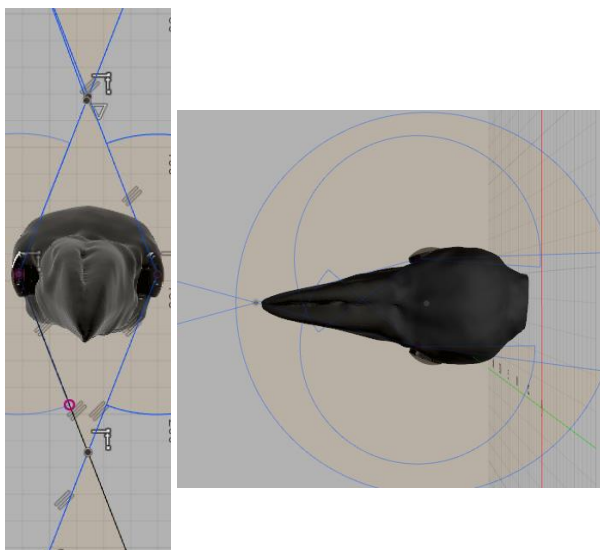


Fig. 10 VR220 を用いた視覚系の 3DCAD 図

### 4. まとめ

カラスとのコミュニケーションをとるために、カラス剥製翼飛行系のプロトタイプを製作した。テレイグジスタンス視覚系を製作していく。

### 5. 今後の方針

数理モデルをもとにシミュレーションを行い、剥製翼を主翼として用いたグライダーの最適な設計を行っていく。また、制御系に Arudu Pilot というフライトコントローラを導入していく。

### 参考文献

- [1] 塚原 直樹, 杉田 昭栄, 青山 真人 J-STORE, “カラス忌避装置”, [https://jstore.jst.go.jp/nationalPatentDetail.html?pat\\_id=26739](https://jstore.jst.go.jp/nationalPatentDetail.html?pat_id=26739) 閲覧日 2018/7/27
- [2] 門口 雅志, 江尻 敬祐, 斎藤 卓磨, “「カラスとのコミュニケーションのための Cybernetics Crow」の開発”, サイエンスインカレ 2016.
- [3] 門口雅志, 塚原直樹, 末田航, 栗本育三郎, “カラスとのコミュニケーションのための Cybernetics Crow の開発”, 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2B1-15, Dec. 2017.
- [4] 片柳亮二: -例題で学ぶ -航空制御工学, 技報堂出版, 2014
- [5] 嶋田有三, 佐々修一: 飛行力学, 藤原出版, 2017
- [6] 6 自由度非線形運動方程式, 金沢大学, NLEOM <http://aero.w3.kanazawa-u.ac.jp/cgi-bin/wiki.cgi?page=NLEOM>
- [7] 飯野明 監修, 安定性 翼 飛行機の性能, よくわかる航空力学の基本 飛行機が飛ぶ原理と仕組み, 秀和システム, 2005.
- [8] 金田弥奈, 加藤寛一郎: 模型飛行機の最長時滑空について, 日本航空宇宙学会誌, 第 30 巻, 第 453 号, p539-544, 1991 年 10 月
- [9] 矢田部学, クォータニオン計算便利ノート, MMS 技報, Vol.18, pp.29-34, 2007.
- [10] クォータニオンからオイラー角を求めてみる-Qiita [https://qiita.com/edo\\_m18/items/5db35b60112e281f840e](https://qiita.com/edo_m18/items/5db35b60112e281f840e) 閲覧日 2017/12/01
- [11] 舘 暲, 荒木 裕彦, “テレイグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価”, 日本ロボット学会誌, Vol.7, pp.31-44, June 2004.
- [12] 門口 雅志, “Cybernetics Crow の開発”, 平成 29 年度木更津工業高等専門学校専攻科 制御・情報システム工学専攻 特別研究発表会講演論文集第 II 分冊, pp.55-58, Apr. 2018