



墮天使飛行

Flying like fallen angels

田中 克尚¹⁾, 山脇 尚造¹⁾, 長谷 柁彦¹⁾, 森本 旭陽¹⁾, 長尾 祐斗¹⁾
 阪田 遼太郎¹⁾, 張 祐誠¹⁾, 小田 裕介¹⁾, 市村 郁己¹⁾, 林田 智樹¹⁾

Katsuhisa TANAKA, Shozo YAMAWAKI, Masahiko HASE, Asahi MORIMOTO, Yuto NAGAO
 Ryotaro SAKATA, Uson JAN, Yusuke ODA, Ikumi ICHIMURA, Tomoki HAYASHIDA

1) 関西学院大学 工学部 (〒669-1330 兵庫県三田市学園上ヶ原1番)

概要: 本企画は体験者に VR 空間内の飛行における左右非対称な揚力制御とそれに伴う力覚を提示するものである。左右非対称な制御の複雑さをもった飛行体験の実現を目指す。前方からの風や体験者が身につける翼型ハードウェアが受ける風の抵抗、飛行の不安定さ等の力覚提示と共に、飛行時の視覚情報提示を通して体験者に左右非対称な飛行を体感させる。現在私たちが体験可能な VR 空間内の飛行は何ら苦勞のないものであり、現実の飛行とは程遠い。人々の理想とする飛行と現実の飛行との乖離を埋める役割を果たす企画である。

キーワード: 飛行 力覚 左右非対称 制御

1 目的

これまで数々の生き物や乗り物が VR によって再現されてきた。特に、鳥人間コンテストが注目されているように、鳥になってみたいという願望を持った人は非常に多い。現在では VR 空間内の人々は自由に動き回ることができるが、その動きは、実世界と同一の動きをしていない。本来、飛行は揚力の制御によって成り立つ物理現象である。そこに働く力を体験者に提示する飛行体験により良い価値が生まれると考えた。私たちが体感可能な VR 空間内における鳥の飛行は左右対称で飛行にならな不安要素のないモデルが多い。そこで私たちは左右非対称なものによる飛行体験を通して、左右で異なる力の加わり方を体感できる VR システムを構築する。本企画では、左右非対称な翼を持つものの一つとして、墮天使をモデルとする。墮天使の形に多くの説があるが、一方の翼は鳥類が持つ羽毛であり、もう一方の翼はコウモリの皮膜である翼爪(よくそう)をもつ墮天使をモチーフとする。体験者の飛行には揚力の左右非対称な制御を考慮した図 1 の複雑な動きが必要となる。従来の操作が容易な飛行とは異なり、翼の制御と外力から翼にかかる力を体感することができる飛行体験を実現する。



図 1 複雑な動き

2 飛行

本企画では羽ばたき飛行と滑空の 2 種類の飛行形態を再現する。

2.1 羽ばたき飛行

羽ばたき飛行とは翼を羽ばたかせることによって揚力と推力を得て飛行する飛行形態である。

2.2 滑空

滑空とは翼を羽ばたかせない飛行形態であり、エネルギーの消費を減らした状態で長距離の飛行が可能となる。揚力は気流に対して垂直な向きに生じるので、鳥の進行方向を水平から少し斜め下に向かせると、揚力が水平方向成分と垂直な成分に分解される、図 2 のように垂直成分が自重を支える、水平成分が推力となり、推力が大きくなる[1]。

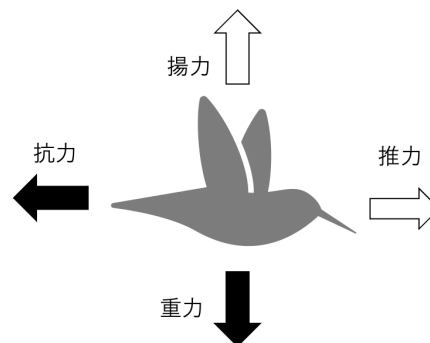


図 2 滑空飛行

3 システムによる飛行表現

3.1 羽ばたき飛行による上昇表現

左右非対称なもの飛行の実例として、生まれながらにして羽が左右非対称な虫の飛行が挙げられる。昆虫の主要

な羽ばたきは間接飛翔筋による外骨格の弾性変形によって発生する。また翅に直接接続する筋である操縦筋によって羽ばたきの振幅や迎角を変化させ、細かな翼運動の制御を行なっている[2]。正確な非対称飛行制御を行い空へ上昇するためには、左右の振幅角度の差を体験者が意識して運動をする必要がある

一般に飛行を実現するための力である揚力 L は、

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L U_x^2 A$$

と表される。

ここで L は揚力、 ρ は空気の密度、 C_L は揚力係数、 U_x は速度、 A は翼の面積である。翼面積と速度が一定の条件下において、迎角に対して揚力係数の比例的な増加が見られる[3]。また、はばたき角を一階微分した速度の時系列変化は迎角と定性的に近い値となり、高い相関がある[4]。はばたきにおいて、翼を振り上げる際(はばたき角の角速度が正)は、空気の抵抗を少なくするために翼を立てる一方で、打ち下ろす際(はばたき角の角速度が負)は、空気を下に押しやるために翼は水平に近い角度となる。

本企画の飛行システムは左右非対称構造をもつ翼を、水平を基準とした上向き角度である仰角を左右非対称に変化させることによって、左右の翼において発生する平均揚力が同程度の状態を実現する。コウモリの翼に働く揚力と鳥の翼に働く揚力は、体験者の運動によって決まる翼の投影面積と揚力係数によって決定する。

4.1 節で詳しく述べるが、羽ばたき角を大きくすると翼の面積が大きくなるような機構を取り入れる。

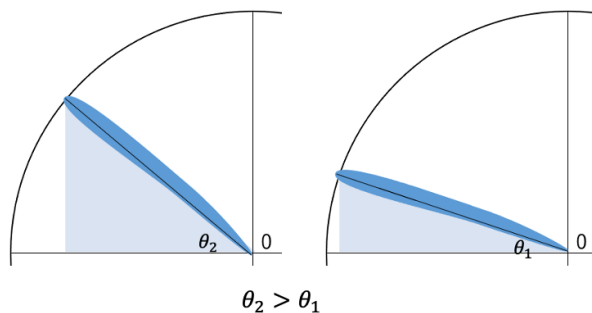


図3 角度による翼の投影面積

図3のように羽ばたき角を大きくすると0度から45度までは翼の投影面積は大きくなる。コウモリと鳥の翼では角度に対する面積の大きさが骨格構造上異なるため、安定な飛行の実現には、体験者は鳥の翼を30度傾けることにに対し、コウモリの翼を60度傾ける等の左右非対称な条件を満たす必要がある。

3.2 滑空(グライディング)飛行による前進表現

滑空飛行には、一定の時間(2秒程度)翼を水平に保つことで切り替わり、アイトラッキング可能なHMDを用いた視線入力によって滑空飛行時の移動方向の指定を行う。

3.3 総合的な飛行

上述した羽ばたき飛行と滑空飛行の組み合わせによって図4.5のような飛行を実現する。羽ばたき状態ではVR

空間内を左右非対称な翼を条件に沿って動かすことで上昇し、滑空飛行ではアイトラッキングによる上下の方向の指定によって、前進、加速する。

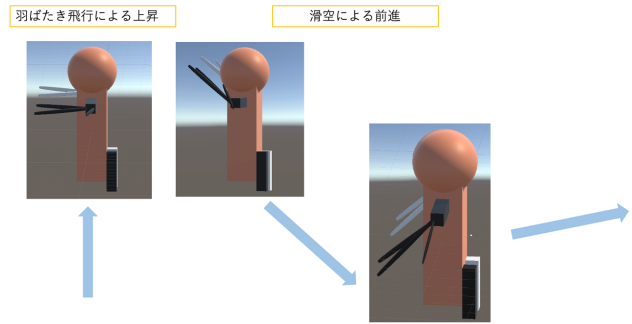


図4 羽ばたき飛行と滑空飛行イメージ

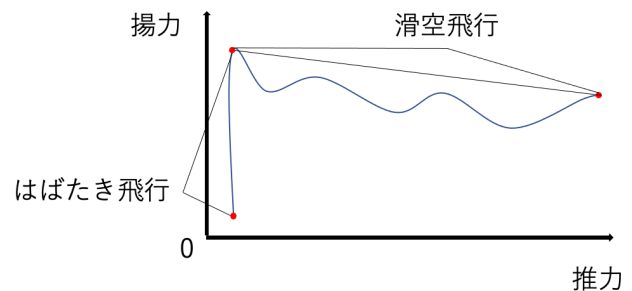


図5 想定される総合飛行に働く力

3.4 体験の終了表現

本企画ではスタート地点から空間に設置されたリング状のチェックポイントをくぐってもらうことで自由な経路で目標に向けた飛行を体験する。チェックポイントを3回くぐり抜けると体験終了とする。

4 ハードウェアの構成

4.1 羽ばたき表現

左右非対称な翼を動かす上で、翼を動かす方法、重量、風を当てた際の力の伝わり方において、左右非対称による差を体験者に提示する必要がある。そこで、体験者の翼を動かす方法を左右で異なるようにする。飛行方法や翼の性質が異なるコウモリと鳥では、図6に示すように、骨格形状に大きな違いがある。哺乳類であるコウモリには人間の指と同様に5本の骨が翼の内部にばらついた状態で存在し、鳥の翼は骨のばらつきが少なく、翼の縁に沿った形状をしている。よって、コウモリの羽ばたき飛行における仰角を肘から手を直線としたときの上下の運動による角度(θ_2)とし、鳥の羽ばたき飛行においては、仰角を肩から手を直線としたときの上下運動による角度(θ_1)とする。図7のように振幅を変化させることで、左右非対称を表現する。各翼の仰角は加速度センサによって重力方向の加速度の変化を捉えることで計測する。

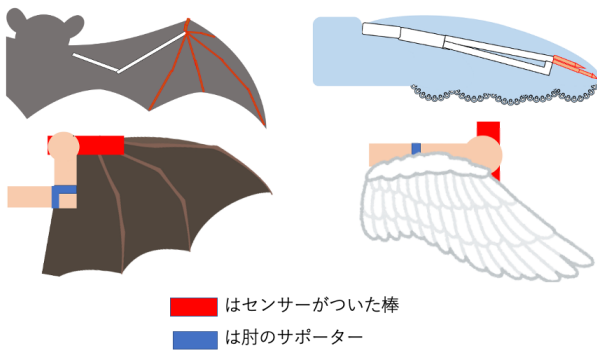


図6 翼の平面構造

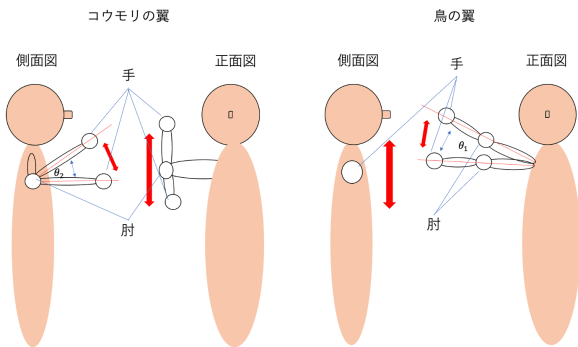


図7 非対称の表現詳細

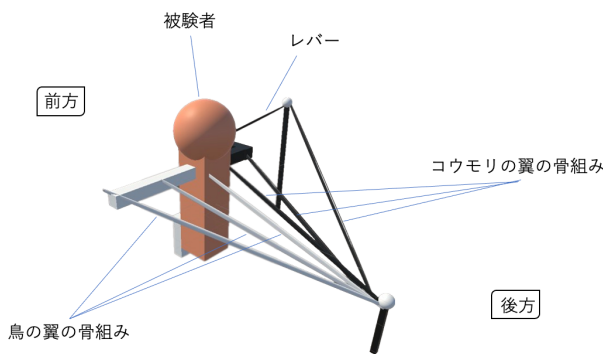


図8 翼の構成

図8のようにコウモリの翼と鳥の翼を一点で支えることで体験者の負担を減らす設計とする。翼の骨組み部分に布やビニールをつけることで翼を実現する。

4.2 不安定な羽ばたき表現

3.1 節で示したように本企画の飛行体験では左右非対称な条件のもと、左右の翼において発生する平均揚力が同程度でないで上昇しないので、片側の翼に力が加わり過ぎたり、逆に弱過ぎたりすると不安定な動きをする。そのような状況を表現するために図9のような傾きを空気圧で変化させる椅子を用いて、飛行がうまくいかない際の不安定さを表現する。

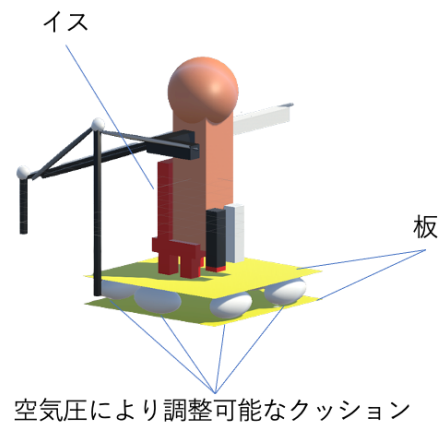


図9 不安定表現のための傾き提示機構

4.3 滑空(グライディング)飛行表現

滑空時には前方から左右非対称な翼に対し、図10のように風を移動に合わせて扇風機で送る。コウモリの翼と鳥の翼を表現した布やビニールに穴をあけて、風の流量を調整し、左右非対称な風の受け方を表現する。

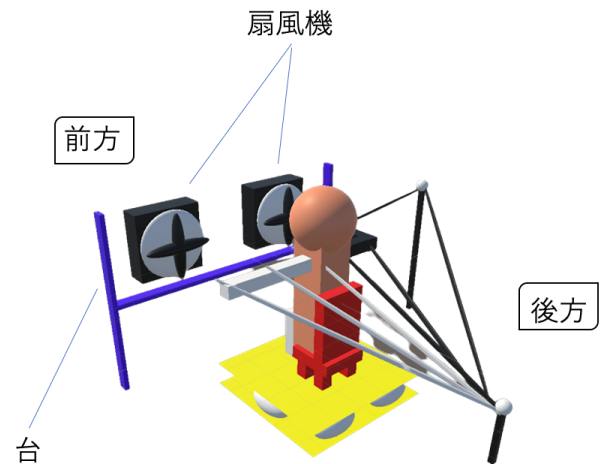


図10 扇風機による風表現

4.4 翼型デバイスを作成する際の参考

今回の飛行制御を表現する翼型デバイスを制作するにあたり、ARACHNOFORCE社のウェアラブル両手力覚提示デバイス「SPIDAR-W」[5]を参考にしている。SPIDAR-Wでは手に伝わる力覚を再現することができる。しかし、今回の企画のコンセプトである風を肌で感じたり、風にあたる感覚を体験者側の行動を交えた状態で提示したり、飛行の不安定さを表現することは難しい。体験者の行動が力覚に反映され、人にはない翼に風があたる感覚を提示可能な特別なハードウェアを制作する価値がある。

5 制作の留意点

本企画のシステムを制作するにあたり、留意すべき点は以下に示す。

- 翼や骨格の素材選びによって体験者にかかる負担が大きく左右されるので、継続的な飛行が実現できるような素材を選定する。
- コウモリの翼を表現する際の機構はボールジョイント機構を採用しようと考えているが、実際に作成した上での

適切な機構を模索する必要がある。

- ・ コウモリの翼と鳥の翼を一点で支える設計を考えているが、体験者の動きの自由度を考慮した上で、適切な機構や支点の数を増やす可能性がある。
- ・ 椅子の下に設置された不安定さを表現するための空気圧による調整可能なクッションは体験者の安全性を第一優先に考え、個数や設置位置、素材や仕組み自体を変更する可能性がある。

参考文献

[1]大竹博：鳥型羽ばたき飛行系ロボティクス，日本ロボット学会誌，Vol. 34, No. 1, pp. 14-18 (2016)

[2]藤田歩，三好扶：翼振幅の左右非対称制御による羽ばたき機構の開発，日本機械学会年次大会講演論文集，S152011 (2011)

[3]川村晃平，浜崎陽平，稲岡恭二，千田衛：翼周りの流れの失速検知とフィードバック制御，日本機械学会論文集B編，Vol. 78, No. 796, pp. 2087-2095 (2012)

[4]平川和明，藤川太郎，大熊信之祐，菊池耕正：小型はばたきロボットに関する研究-実機におけるリード・ラグ角と迎角の関係-ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2A2-A04(2007)

[5]永井一樹，田上想馬，赤羽克仁，佐藤誠：ウェアラブル手首力覚提示装置 SPIDAR-W の開発，情報処理学会研究報告，Vol. 2015-CG-159, No. 13, pp. 1-6 (2015)