

## 【助成 41-15】

### 知能的・知覚的に応答する柔軟構造を用いた風を受け流す飛行技術の創出

研究者 千葉大学 大学院工学研究院 准教授 中田 敏是

#### 〔研究の概要〕

本研究では、効率的かつ安定に飛行ができるロボットの創製を最終目的として、翼に付与することで風の影響を抑制しながら検知する柔軟構造の開発を目指した。3D プリンタによって、鳥類を規範とした柔軟構造を作製し、その剛性が、固定した翼の外乱検知・緩和性能に及ぼす影響を、ロボットアームを用いた風洞実験によって調べた。その結果、適切な剛性の柔軟構造を、翼の後縁に自由端が来るよう配置することで、迎角の変化に対して鋭敏に反応しながら、失速による揚力の変化を緩和する効果があることがわかった。この結果は、予測不可能な風が吹く複雑な環境でも、柔軟構造を適切に付与することで、風の影響を受け流しながら、受け流しきれない外乱に関する情報も迅速に検知し、より安定した飛行が可能となることを示唆している。

#### 〔研究経過および成果〕

情報収集等への応用が期待される飛行ロボットは外乱に抗って飛行するため、変動風の吹く環境では、消費エネルギーが増大し、安定性が低下する。本研究では、効率的かつ安定な飛行ロボットの創製を最終目的として、鳥類の羽根のように、翼近傍の流れ場を検知しながら、風外乱の影響を緩和することができる、知能的・知覚的な柔軟構造の開発を目指した。新たに構築した流体解析モデルを用いて予備的にセンサ設計を検討した後、風洞実験によって柔軟センサの失速・外乱緩和性能と、風検知性能を評価した。

**流体解析モデル** 固定翼に加わる流体力と周辺の気流の変化を迅速に評価するために、候補となる数式の中から重要な数式を抽出するスパース同定手法 (Brunton *et al.* PNAS 2016) によって、準静的仮定 (翼に加わる流体力が、翼の姿勢・速度・加速度によって決まるとする仮定) に基づく流体理論モデルを構築した。本モデルは、従来の準静的モデルよりも高精度に、数値解析よりも高速に性能評価が可能[3,4,6]であり、

ロボットの翼運動の最適化等へも応用が可能である。

本研究では、翼・センサ設計の検討に利用した。

**羽根規範型柔軟センサ** 本研究では、ポリエチレンシートに、羽根の剛性を制御する骨組みと、ネオジム磁石を貼り付けることで、羽根規範型センサを作製した。このセンサを、磁石の位置を測定するためのホールセンサを内蔵した固定翼に貼り付け、風洞で、ロボットアームを用いて半自動的かつ高精度に性能評価を繰り返すことで、センサの取付位置・長さ・厚さが、風検知性能と空気力学的性能に及ぼす影響を調べた(図1)。その結果、以下の知見が得られた[1,2,5]。

①知能的応答:本研究で用いた固定翼は、迎角12度

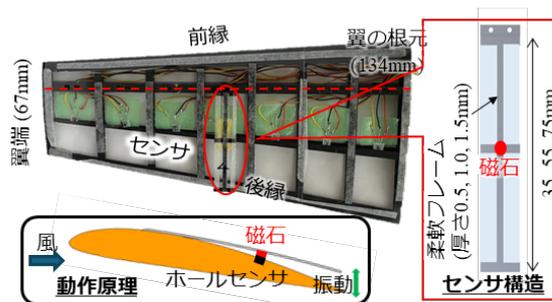


図1 羽根規範型柔軟センサと翼

で失速し、揚力が急激に低下する(図 2 黒線)。一方で、適切な柔軟性を持つ柔軟構造を、柔軟構造の先端が後縁付近になるよう付与することで、失速角が大きくなることがわかった(図 2 赤線)。すなわち、風外乱によって、意図せず迎角が上がってしまっても、柔軟構造が受動的に応答することで、失速による姿勢変動が起きにくくなる。このような、柔軟構造による知能的応答によって、姿勢検知系や制御系の遅れによる安定性の低下を補完することができると考えられる。

②知覚的応答: 柔軟構造の変形に対応するセンサ信号は、失速角より小さい迎角から上昇し、失速後は一定の値となる(図 2 センサ信号)。その変動は、失速付近で最も大きくなる。圧力センサの場合、その信号は迎角と共に線形に増加するが、本センサは、失速角近傍でのみ信号が変化するため、より失速に特化して応答する。すなわち、本センサを利用することで、失速のような危険な状況に意図せず近づいた際に、未然に察知できるため、この情報を用いることで、より安定して飛行できる飛行ロボットの開発が期待できる。

本研究によって、適切な剛性・取付位置の柔軟構造を翼に付与することで、失速の影響の緩和と失速の検知を同時に達成することができることが明らかとなった。本センサは非常に軽量であると共に、その応答は受動的であるため、飛行ロボットの重量を増やさずに、飛行ロボットの安定性を向上することができる。現在は、本提案手法の実機における有効性を検討するために、より自然な環境での変動風に対する有効性や、制御系への情報統合の検討[2]を続けている。

[発表論文]

1. 明原広季, 保科順, 劉浩, 中田敏是, 羽規範型柔軟風センサの構造が外乱緩和・失速検知性能に及ぼす影響. 第 36 回バイオエンジニアリング講演会(名古屋工

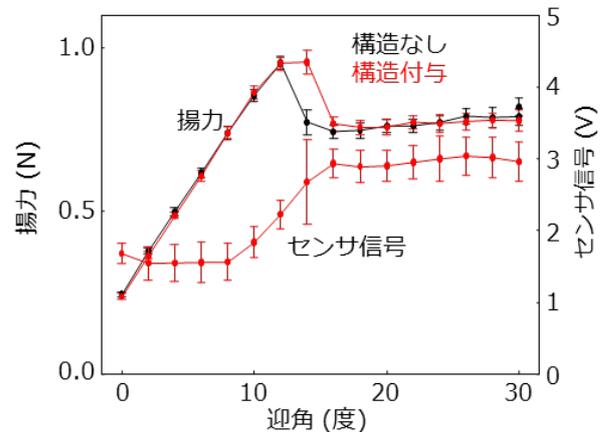


図 2 羽根規範型柔軟センサが翼の空気力学的性能に及ぼす影響と、センサ信号

業大学), 1P44, 2024 年 5 月 11 日

2. 保科潤, 村山友太, 劉浩, 中田敏是, 羽根規範型風センサによる失速検知を用いた外乱中の飛行ロボットの姿勢制御. ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024(ライオンズビル宇都宮), 2A2-J07, 2024 年 5 月 31 日
3. 上水優海, 劉浩, 中田敏是, データ駆動型アプローチによる羽ばたき翼の空気力発生メカニズムの準静的モデリング. 日本流体力学会 年会 2024(フォレスト仙台), 1M501-03-03, 2024 年 9 月 25 日
4. Kamimizu, Y., Liu, H. & Nakata, T. Data-driven quasi-steady modelling of flapping wing aerodynamics. ISABMEC2024 (Kasetart University, Thailand), 20, 2024 年 11 月 27 日 (Student Award 受賞)
5. 保科潤, 明原広季, 村山友太, 劉浩, 中田敏是, 鳥の羽根を規範とした柔軟風センサの失速検知メカニズム. 第 35 回バイオフィロントニア講演会(横浜国立大学), 1D09, 2024 年 12 月 14 日
6. 上水優海, 劉浩, 中田敏是, データ駆動型アプローチによる昆虫の自由飛行時の準静的空気力生成メカニズムの発見. 第 35 回バイオフィロントニア講演会(横浜国立大学), 2D08, 2024 年 12 月 15 日