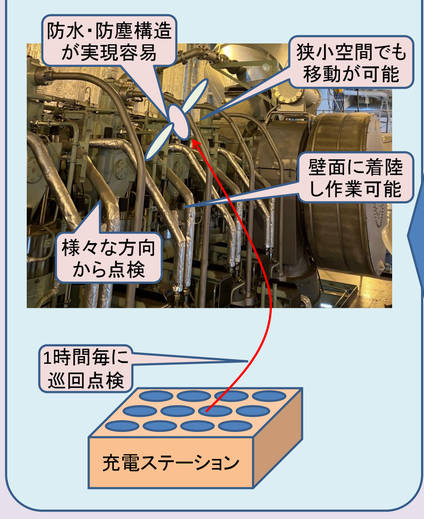
2x2自由度羽ばたき飛行ロボットの トータルシミュレーション技術開発と妥当性検証

株式会社中北製作所、京都大学

研究の背景

枝や壁などの不整地でも離着陸可能な生体の羽ばたき飛行は、
配管点検等の民間事業に加え、大気惑星探査とも親和性が高い

点検業務への適用

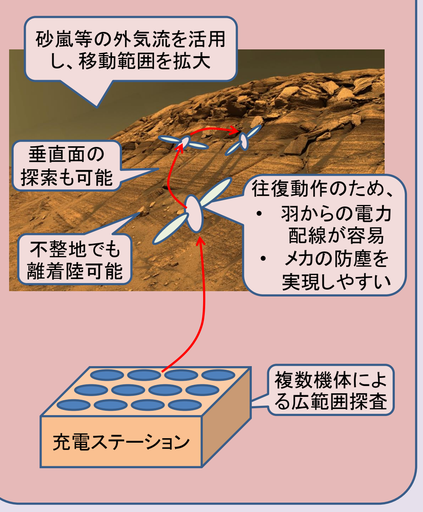


民間応用

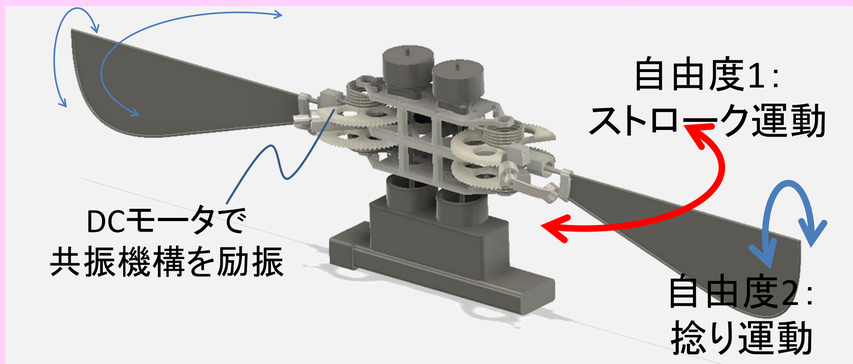
生体の羽ばたき飛行

宇宙応用

火星探査への適用



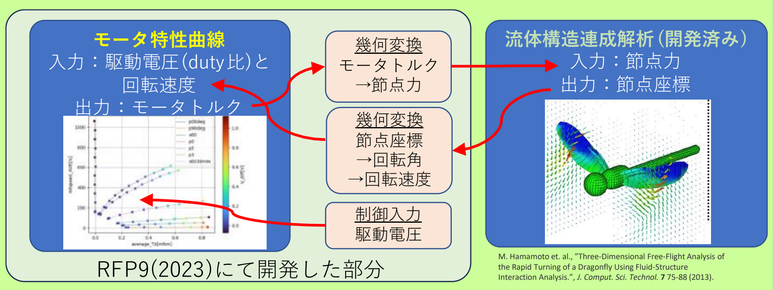
羽駆動の**多自由度/冗長自由度**が
生体の多様な飛行実現の鍵、との仮説の下、
過去研究より自由度が高く冗長性を持つ
2自由度x2枚羽ロボット※を開発中



※2x2DoF-FMAV：左右2枚の羽を、それぞれ
ストロークと捻じりの2自由度(Degree of Freedom)
で駆動する、トータル4自由度の羽ばたき飛翔体

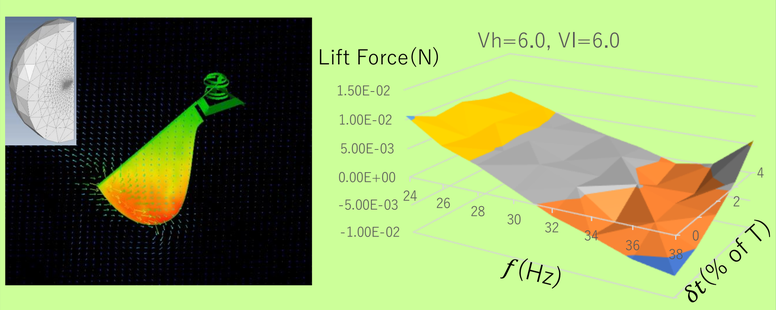
2023年度 RFP9(アイデア検証ステージ)での基礎技術構築

①三者連成 シミュレーション構築



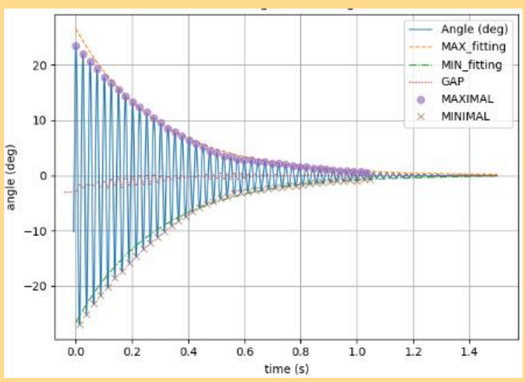
M. Hamamoto et. al., "Three-Dimensional Free-Flight Analysis of the Rapid Turning of a Dragonfly Using Fluid-Structure Interaction Analysis.", *J. Comput. Sci. Technol.* 7 75-88 (2013).

三者連成シミュレーション構成

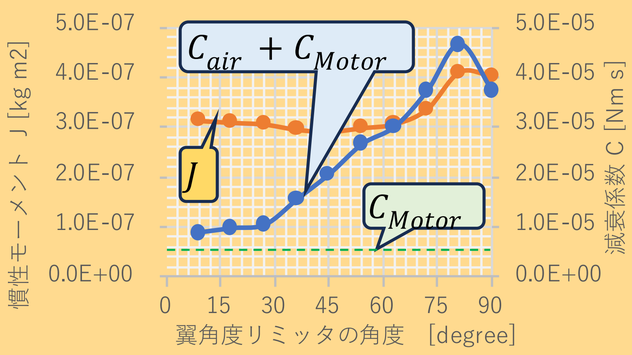


パラメータスタディ結果（例）

②羽ばたき機構の モデル同定

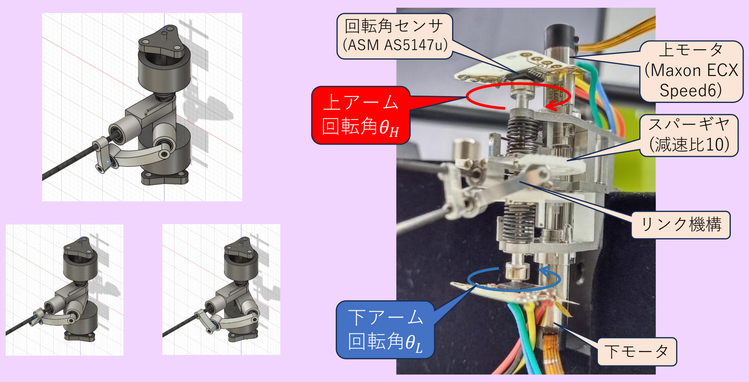


非対称性・非線形性を特定・排除

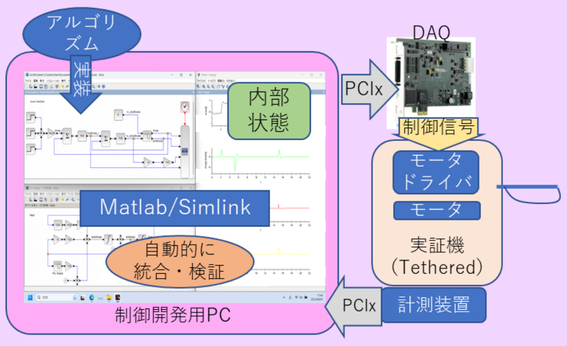


羽の空力減衰を定量計測

③制御検証 システム構築



2DoF駆動テスト機構



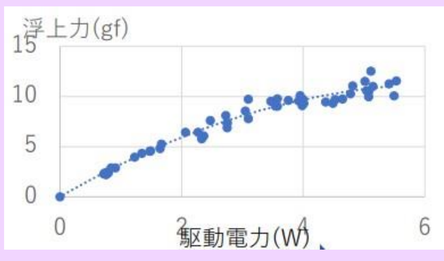
リアルタイム検証システム構築

2024/9～ フォローアップ研究へ移行し、2x2DoF-MAVの自立浮上実現性の実証に取り組んでいる

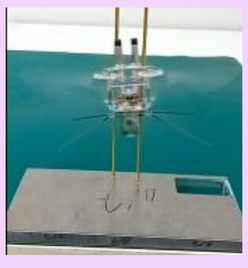
2自由度協調動作実現による 浮上力生成実証

$$[T]^T[J_{\alpha\beta}]\,[T]\begin{pmatrix}\ddot{\theta}_H\\ \ddot{\theta}_L\end{pmatrix}+\left([T]^T\begin{bmatrix}C_{air}(\beta(\theta_H-\theta_L)) & 0\\ \frac{h}{4R\cos(\beta)}C_{air}(\beta) & 0\end{bmatrix}[T]+(C_{motor}+\eta N_{gear}{}^2K_T{}^2/R_a)\begin{bmatrix}1&0\\0&1\end{bmatrix}\right)\begin{pmatrix}\dot{\theta}_H\\ \dot{\theta}_L\end{pmatrix}+\begin{bmatrix}K_H&0\\0&K_L\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\theta_H\\ \theta_L\end{pmatrix}=\eta N_{gear}{}^2K_T/R_a\begin{pmatrix}V_H\\ V_L\end{pmatrix}$$

簡略モデル(2x1DoF)による 飛行への要求仕様導出

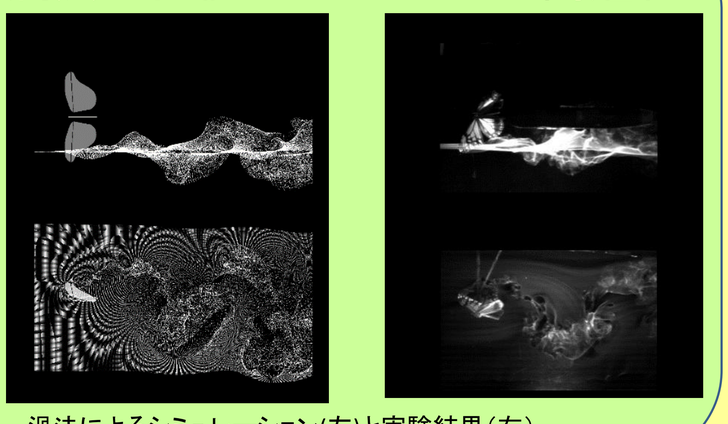


片羽での浮上力計測結果



ガイド浮上実験

渦法によるシミュレーション高速化



渦法によるシミュレーション(左)と実験結果（右）

JAXA　Tansa　NAKAKITA 株式会社中北製作所　京都大学 KYOTO UNIVERSITY