

自動電池交換と長時間の見守りを実現する 空陸水万能飛行ロボットの自動制御系開発

Development of All Round Two- Wheeled Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with
Automatic Battery Exchanging Device for Long-hour Remote Watching System

2151037



研究代表者

名古屋工業大学大学院

教授

山田 学

〔研究の目的〕

近年、ドローンと呼ばれる無人飛行ロボット (UAV) が数多く開発され、空撮などに利用されている。しかし従来の UAV は飛行しかできないため、障害物の少ない屋外に限定されている。本研究代表者は、既存の任意の飛行体を空陸水で万能化する車輪型ドローンを発明した。この発明は飛行体に車輪型保護フレームを取付けるだけで空陸水の移動や壁も天井も走行できる画期的な装置である。本研究の目的は、屋内での子供や高齢者の見守りサービスロボットへの応用を目標とした実用化研究であり、具体的な研究課題は以下である。

- 1) 屋内用小型の車輪型ドローンの開発：
屋内で手軽に利用できるように、全長 25 cm 程度（従来機は 60 cm 以上）に小型化する。
- 2) 自動電池交換装置の開発：
長時間の見守りを可能にするため確実に電池交換を実施できる自動システムを開発する。
- 3) 自動制御システムの開発と実験実証：
空中・陸上等、どこでも移動でき、位置精度 10 cm 以内を達成する自動制御システムを開発する。

〔研究の内容、成果〕

1. 屋内用小型車輪型ドローンの開発

本章では、飛行ロボット（ドローン）を用いた新しい空陸両用ロボットを提案する。

提案する装置は図1のとおりである。図1の(1)は空陸で使用したい飛行体（この図ではクアドロータヘリコプタであるが、他の飛行体でも可能）であり、(4)と(5)はそれぞれ左右2つの独立なプロテクトフレーム、(2)は飛行体とフレームを連結する軸、(3)は(2)の軸を支える軸受、(6)は重りである。左右2つのプロテクトフレームは、(1)の飛行体を立体的にカバーすると同時に、(3)の軸受により自由回転するため、フレームのみ転がりながら地上を走行できる。しかも左右のプロテクトフレームは、独立に回転できるため、二輪車のよ

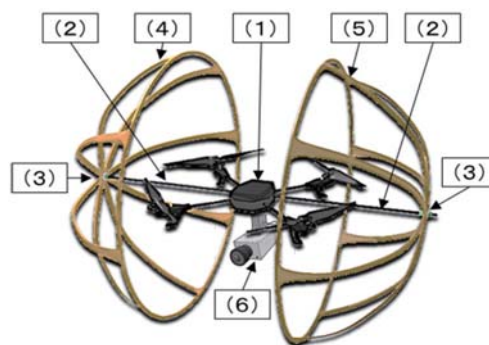


図1 屋内用車輪型ドローン (1) 飛行体 (任意), (2) 固定軸, (3) 回転部 (ベアリング), (4) (5) 受動回転する保護フレーム, (6) カメラ

うに、直進や回転運動も容易で、(1)の飛行体の推力のみで、全方位走行可能である。(6)の重りは、着陸時や墜落時を含め、いかなる姿勢で着陸しても、無推力時に地表面の形状とは無関係に飛行体を真上に向かせ、自動的に発射時に都合のよい姿勢に落ち着かせる働きをする。

製作した飛行ロボットは、風のない屋内用に設計することで、全長30[cm]の小型化を達成し、大幅に小型化できた。機体フレームはカーボンとアルミ角管を組み合わせることで、軽量化と冷却性を両立させた。車輪はテクセルとカーボンを組み合わせることで、軽量であるだけでなく柔軟性と剛性をあわせもち、人に衝突しても安全な設計とした。

2. 自動バッテリー交換装置の開発 [1]

一般的なドローンはリチウムポリマーバッテリーで駆動するが、稼働率が悪く稼働可能な時間がおおよそ10分程度なのに対してバッテリーの充電にはおおよそ90分もかかってしまうという問題があった。この問題点を解決するため、自動でバッテリーを交換できる装置を提案する。この装置は、複数バッテリーの充電と、そのバッテリーと機体のバッテリーとの交換を自動で行えるもので、充電の時間を省けるため長時間の継続的な稼働が可能になるシステムである。図2は開発した装置を示す。図3のように充電可能なバッテリー置き場とガイドレールをもち、車輪型ドローンの車輪がガイドに沿って入り、スイッチに車

輪が乗るとバッテリーの交換が自動で開始される。図4に示すように、バッテリー交換の手順は、まずアームが上下移動して空のバッテリーを4ロータから取り外してバッテリー置き場に置くと、回転テーブルが回転し、充電された新たなバッテリーを取り付け部まで移動する。アームが再度上下し、充電されたバッテリーをとりつけるという流れでバッテリーの交換を自動で行うことができる。図5と図6に示すように、バッテリーを覆う

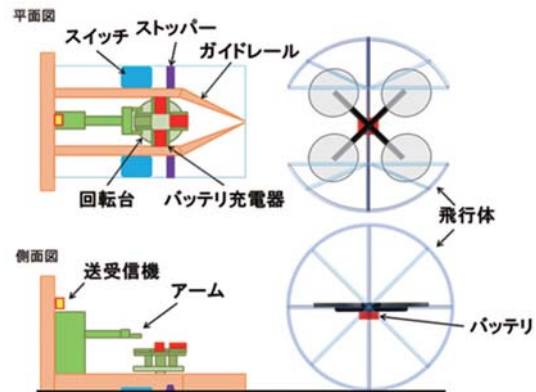


図3 自動バッテリー交換装置の見取り図

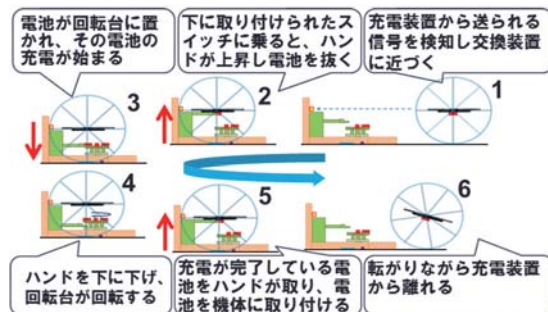


図4 自動バッテリー交換システムの手順

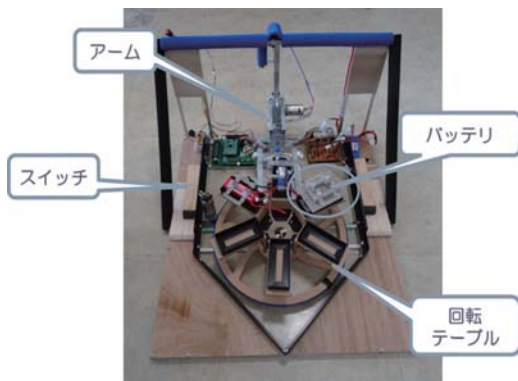


図2 開発した自動バッテリー交換装置

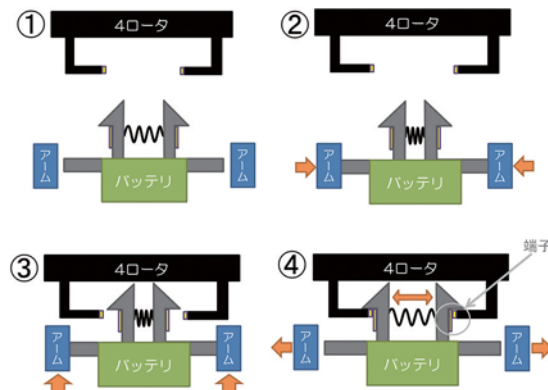


図5 自動バッテリー取り付けの手順

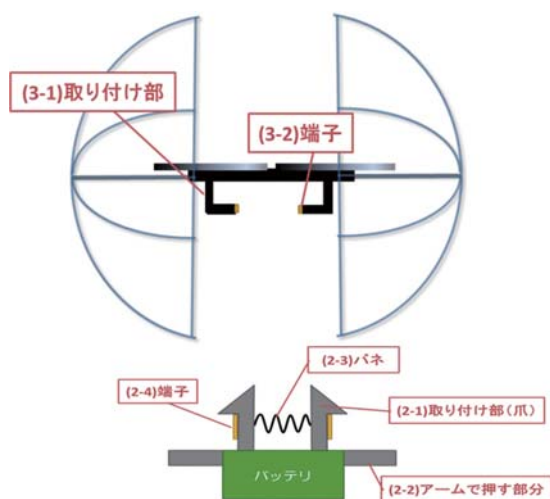


図6 バッテリーボックスと機体の取付け機構

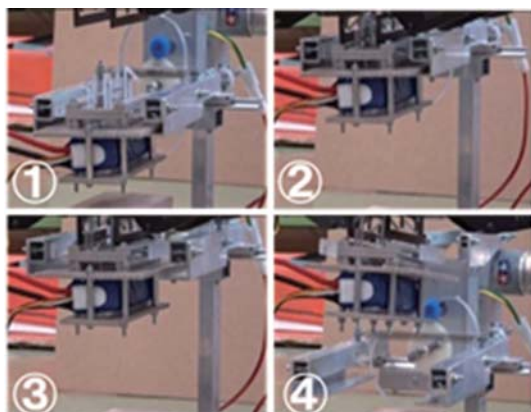


図7 自動バッテリー交換の実証実験

バッテリーボックスには爪が取り付けられており、アームによってこの爪の間隔を広げたり縮めたりして機体の取り付け部に引っ掛けるようにして装着させることで、アームによる取り付け、取り外しが簡単になるような仕組みになっている。この爪には端子が取り付けられており、バッテリーの電力をモータに送る役目を担っている。図7は自動バッテリー交換実験の様子であり、バッテリーボックスが取り付け様子の連続写真を示しており、確実に自動バッテリー交換できることを実験で実証した。

3. 自動制御システムの開発と実験実証

本章では、車輪型ドローンの自動制御システムの開発と飛行実験による性能評価を行った。

本研究の自動制御の難しさは、制御対象（車輪型ドローン）が通常のドローンと異なり、飛行だけでなく地上・壁面を接触しながら移動することである。この点を解決するため、線形化手法を応用し、制御目標（追従偏差 10 cm 以内）を達成する自動制御コントローラを製作した。制御法の詳細は文献 [2, 3] を参照されたい。

まず、地上走行実験を行った。図1の飛行体のプロペラにより推力を与え、進みたい方向に傾ければ、車輪型ドローンは、左右2つのフレームが車輪の役割を果たすため、車輪のみが転がりながら地上走行する。また飛行体にヨー方向の力を与えれば、左右のフレームがお互い反対向きに回転して、車輪型ドローン全体が自由に姿勢を変え、任意の希望の方向に転がりながら移動できる。図8と図9は地上走行実験の結果を示す。地上座標 $(x, y) = (-1350, 100)$ からスタートし、 x - y 平面上を自動操縦で巧みに前・後進を切返し、目標の原点に到達しており、制御目標（追従偏差 10 cm 以内）の達成を実証した。

つぎに、飛行実験を行った。実験は希望の高さまで上昇し、一定時間ホバーリング（高度維持）をした後、着陸させる動作を行った。実験結果を図10と図11に示す。図10のように、機体は目標の高さ 900[mm] 付近で約 10 秒間高度維持し、その後安全に着陸した。図11から、飛行中のロール角は $\pm 5^\circ$ の範囲に収まっており、安定な飛行性能を達成していることがわかる。

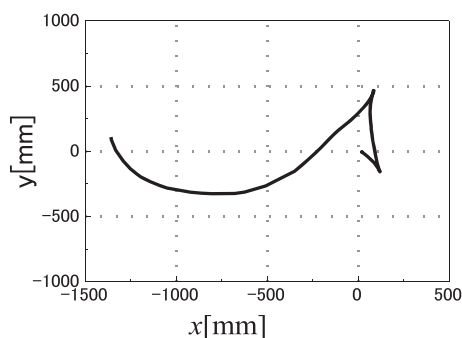


図8 地上での制御実験の結果（軌跡）

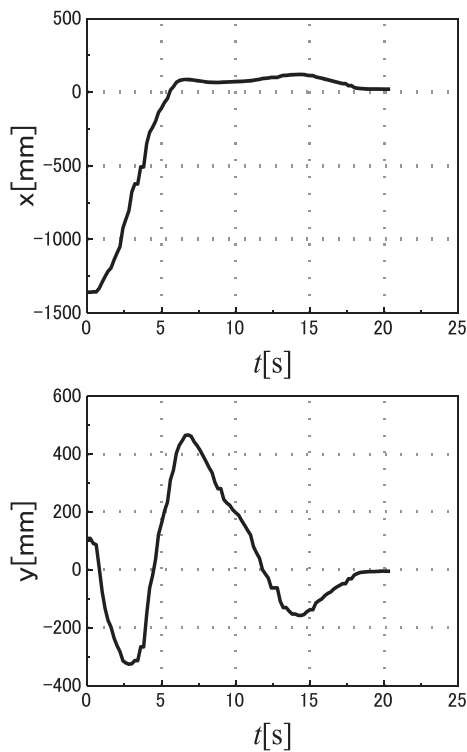


図9 地上での制御実験の結果（時間応答）

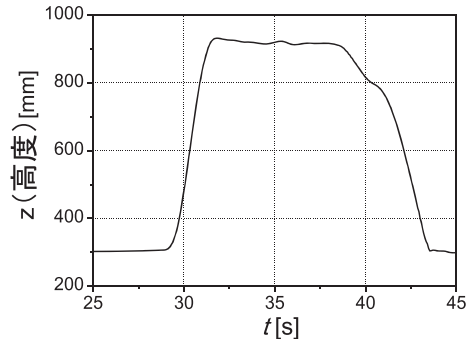


図10 飛行実験結果（機体の高度）

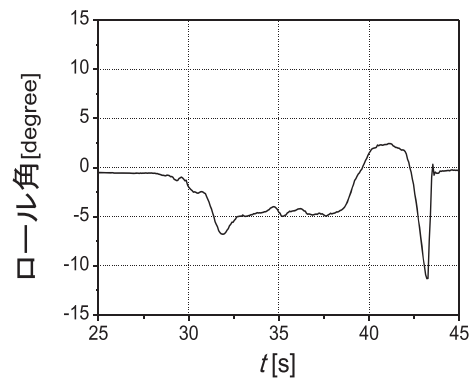


図11 飛行実験結果（機体の姿勢）

〔今後の研究の方向性、課題〕

本論文では車輪型ドローンを小型化し、地上・空中飛行実験を行い、自動バッテリー交換装置を製作した。今後は、子供や高齢者の見守りサービスロボットへの応用のため、より小型・軽量化し、自動制御装置も天井や階段など、屋内どこでも高精度な位置制御できる機能への拡張や静音・安全機構の開発が必要である。

〔学会発表と学会賞〕

- [1] 大塚真生, 小澤愛, 高橋七奈, 朽名佑太, 山田学, “空陸水万能な2輪型4ロータヘリコプタ”, ROBOMECH2015 in Kyoto 講演論文集, 2015. (日本機械学会「若手優秀講演フェロー賞」受賞)
- [2] 井藤光博, 朽名佑太, 山田学, “斜面走行時における2輪走行型飛行ロボットの適応制御”, 第14回「運動と振動の制御」シンポジウム論文集, pp. 78-81, 2015.
- [3] 井藤光博, 朽名佑太, 山田学, “地上走行時における2輪走行型飛行ロボットの適応制御”, 第3回制御部門マルチシンポジウム論文集, Paper No. PS-30, 2016.