

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 川崎 宏治

本論文は、「環境接触適応のための姿勢定位可能なマルチロータ飛行ロボットの構成法に関する研究」と題し、近年急速に産業化が加速しているマルチロータ飛行ロボットにおいて、移動時の機体姿勢を保持しつつ並進移動が可能で、環境との接触に対しても適応できるシステムの構成法を明らかにすることを目的とした研究をまとめたもので7章からなる。飛行ロボットは通常は環境と接触することを想定しないが、環境へ接触し倣いながら移動する機能があれば、災害環境などで狭隘空間へ入りこんで内部を観察・検査することが可能となる。しかし、複数のプロペラロータを備えた通常のマルチロータ飛行ロボットでは、機体の姿勢を傾けると傾けた方向へロボットが移動してしまい、姿勢と位置を独立して制御できない。また、天井壁に近づくと圧力差から吸い寄せられたり、接触による機体姿勢が変化すると推力により姿勢変化した方向へより回転することになり破綻してしまう。本研究では、そのような課題を解決すべく環境接触に対しても破綻しないマルチロータ飛行ロボットの構成法を示している。

第1章「序論」では、研究の背景と目的について述べ、マルチロータ飛行ロボットの従来構成法とそこでの課題を示し、姿勢定位機能とその必要性、姿勢定位機能を備えたマルチロータ飛行ロボットを実現する上でのアプローチと基本的な考えについて述べ、本論文の構成を示している。

第2章「マルチロータ飛行ロボットの環境接触適応と姿勢定位のための構成要素と統合法」では、マルチロータ飛行ロボットにおけるロータ数ごとにその機構構成とそれぞれの特色について述べ、環境接触適応の定義とそのための課題として風による外乱耐性、地上移動、水上移動、曲面倣い移動、任意姿勢移動を挙げ、その解決のための位置定位と姿勢定位について述べている。また、姿勢定位を実現するための基本設計思想を示し、姿勢定位の基本機構として多方向へ推力を発生し制御する多次元推力制御機構を位置づけ、そのための構成要素となるプロペラの基礎理論、可変ピッチプロペラ機構、チルトロータ機構について述べている。

第3章「マルチロータによる多次元推力制御機構の構成法」では、多次元推力制御のための姿勢制御コントローラの構成法と実装の詳細について述べ、位置定位と姿勢定位を行うためのマルチロータ制御機構の構成アプローチについて述べている。姿勢制御コントローラは、機体のモデルパラメータ、目標姿勢角度、現在位置座標、目標位置座標を入力することで多次元推力制御による姿勢定位と位置定位ができるように構成し、上位の環境認識とロボット自己位置認識機能と接続する中間層として実現している。位置定位の例として利用可能な環境認識と自己位置認識機能の例を示し、本研究で試作を行った多種類のマルチロータ飛行ロボットでも共通に利用可能なコントローラとしての評価実験を示し、姿勢定位には、地上狭隘空間侵入動作、全周なぞり動作、空中全方位の隙間すり抜け動作を環境接触適応のための課題として掲げ、地上2自由度、空中2自由度、3自由度の各姿勢定位のための多次元推力制御機構を可変ピッチ機構とデュアルチルトロータ機構により構成する方法について述べている。

第4章「独立可変ピッチ4機マルチロータ構造による環境接触姿勢定位と環境接触適応」では、プロペラのピッチを可変としたロータを4機搭載することで、空中で1自由度の姿勢定位、地上で2自由度の姿勢定位が可能な飛行ロボットの構成法を示し、試作した実機により地上で起き上がり、任意の傾きを保ちながら

地上をころがり移動し、地上での接触摩擦が小さい水上においても浮いた状態で姿勢定位して移動する実験を示し、被災環境での隙間を通して建屋の中に入り内部の三次元状況を構築する実験例を示している。

第5章「デュアルチルトロータ2機統合構造による空中任意チルト姿勢定位と環境接触適応移動制御」では、互いに逆方向に回転するプロペラロータ2つを平行に並べ、それらをつなぐ軸を回転させて2つのロータの向きを同時に変えるデュアルチルトロータを1機とし、それを2機つなぐことで4つのプロペラロータに2つのチルト軸をもつ飛行ロボットの構成法を示し、この構成により空中において2自由度の姿勢定位が可能となることを示し、空中で機体のチルト軸の周りに無限に回転可能な実験、任意のチルト姿勢を維持したまま空中を並進移動し、トンネルなどの曲面の全周なぞり移動や垂直壁の凹凸に対するなぞり移動が可能となる実験を示している。

第6章「デュアルチルトロータ3機統合構造による空中任意姿勢定位と環境接触適応全方向並進運動」では、デュアルチルトロータを3機統合することによって空中での3自由度の姿勢定位が可能であることを示し、空中での任意姿勢を保ちながら並進移動を行い、間隙をすり抜けられる飛行ロボットを実現できることを示している。ここでのプロペラには、径が小さくとも推力が大きいプロペラを円筒で囲ったダクトファンを用い、6つのロータがあっても全体が大きくなりすぎない飛行ロボットを実現している。姿勢を変えずに狭い隙間の並進移動、空中での障害物への倣い飛行、任意の斜面に対する着陸と離陸も姿勢を維持したまま行える離着陸動作の実験を示している。

第7章「結論」において、各章で述べた内容をまとめ、本研究を総括し、今後の課題と展望を述べている。

以上、これを要するに、本論文は、飛行ロボットが環境と接触する状況においても破綻せず適応的に対応するためには姿勢定位機能が必須となり、複数のプロペラロータをもつマルチロータ飛行ロボットにおいて姿勢定位機能のための多次元推力制御機構の提案とその構成法を示し、地上での姿勢定位、空中における2自由度、3自由度の姿勢定位を行う機構と制御機能を備えたマルチロータ飛行ロボットの構成法を明らかとし、実機試作、実験、評価の内容を示したものとなっており、知能機械情報学上貢献するところ少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。