

京都大学	博士（工学）	氏名	佐藤 彰
論文題目	スタビレス産業用無人ヘリコプタの運動特性と制御		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、産業用無人ヘリコプタの利用範囲拡大のために、スタビライザ機構を有さないスタビレス産業用無人ヘリコプタの実用化を目的としたものである。スタビレス化は重量の軽減や抵抗の削減に効果があり、飛行に必要なパワー削減による環境負荷を軽減できる。さらに、運動性の向上も期待できるが、操舵方向と異なる方向に現れるカップリング応答が顕著になり、制御・操縦が困難となることが問題となって、これまで実用化の見通しがたっていなかった。本論文では、スタビレス産業用無人ヘリコプタの実用化に不可欠な飛行制御系の構築を目的として、産業用無人ヘリコプタの水平運動モデルを導出し、それに基づいて運動特性の解析を行った。その結果、ロータブレードにおける誘起速度の非一様性がスタビレス無人ヘリコプタのカップリング応答の原因であることを明らかにしている。また、スタビレス化することがロータフラップ角運動の応答速度を速くして機体運動性能を向上させるが、風外乱の影響も大きくなることが制御・操縦を困難にしていることも明らかにしている。さらに、導出した水平運動モデルと部分的観測に基づく逆ダイナミクス法により、従来実現できなかったロータブレードフラップ角の制御を内包する制御系構築法を示し、これによりカップリング応答を打ち消すだけでなく、風外乱やペイロード変化にロバストな姿勢制御系設計法を提案している。本論文は6章からなり、各章の要旨は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景、その目的、従来研究をまとめ、本研究のアプローチについて述べている。</p> <p>第2章では、従来の産業用無人ヘリコプタにおいてスタビライザが果たしていた機能を電子制御に置き換えるために、スタビライザの飛行力学的効果を明らかにしている。このために、スタビライザブレード、メインロータブレードのフラップ角運動を含んだ水平運動モデルを導出している。飛行実験により得られたデータにより、導出したモデルの妥当性を検証するとともに、その低次元化モデルに基づいて、スタビライザの飛行力学的効果を解析的に明らかにしている。</p> <p>第3章では、スタビレス産業用無人ヘリコプタの動特性、特にカップリング応答にはロータブレードにおける誘起速度分布が重要な役割を果たしていることを示し、水平速度および角速度による非一様な誘起速度分布を運動モデルに導入することを提案している。飛行実験により得られたデータに基づいて、運動モデルの妥当性を検証している。また、この誘起速度分布により引き起こされるロータブレードのフラップ角運動を適切に制御することが、スタビレス産業用無人ヘリコプタの制御に重要であることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、第3章で導入した非一様な誘起速度分布の妥当性を検証するために、スタビライザ付きの産業用無人ヘリコプタの水平運動モデルにその誘起速度分布を適用し、解析を行っている。スタビライザ付きの産業用無人ヘリコプタの応答には、顕著ではないがカップリング応答が存在していたが、非一様な誘起速度分布を導入することで、そのカップリング応答の発生メカニズムを説明できることを示し、さらにスタビライザの効果そのものについても明らかにしている。</p> <p>第5章では、スタビレス産業用無人ヘリコプタの特徴であったカップリング応答を打ち消し、操縦を容易にするだけでなく、無人ヘリコプタの運動性の高さを維持することを目的として、逆ダイナミクス法により姿勢制御系を構築する方法について論じてい</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	佐藤 彰
<p>る. ロータブレードフラップ角の計測は現時点の計測技術では不可能であり, 無人ヘリコプタだけでなく有人ヘリコプタも含めてロータブレードフラップ角を飛行姿勢の制御に活用している例はない. 本研究では, ロータブレードフラップ角の動特性の安定性に着目し, ロータブレードフラップ角の情報を必要としない部分的観測に基づく逆ダイナミクス法により, ロータブレードフラップ角の制御を内包する姿勢制御系を構築する方法を提案している. また, 提案法により, 風外乱, サーボ遅れ, ペイロード変化などに対して, ロータブレードフラップ角の共振を抑制し, これらの不確かさに対してロバストな制御系を構築可能であることを明らかにしている. また, 提案手法により設計した姿勢制御系を実機に搭載して実験を行い, 操縦の容易さと所望の運動特性の実現, ロバスト性の高さを実証するとともに, その実用性についても明らかにしている. 以上により, スタビレス産業用無人ヘリコプタのための飛行制御基盤技術を確立できたことを示している.</p> <p>第6章は結論であり, 本研究のまとめを行い, 今後の展開について述べている.</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、スタビレス産業用無人ヘリコプタの実用化を目的として、その飛行力学的特性を明らかにすること、および、系の不確かさに対してロバストな制御系設計法を確立することを目標に研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. スタビライザの飛行力学的効果を明らかにし、その有効性だけでなく問題点を明らかにした。スタビライザは産業用無人ヘリコプタの運動を緩慢化し、運動性を損なう代わりに操縦容易性を向上させていることを明らかにした。

2. カップリング応答が存在することがスタビレス産業用無人ヘリコプタの問題点であったが、その原因がロータブレードにおける誘起速度分布が水平速度および角速度により非一様となることに起因していることを示した。飛行実験により得られたデータに基づいて、非一様な誘起速度分布を導入した運動モデルの妥当性を明らかにした。また、スタビライザを有している産業用無人ヘリコプタにもカップリング応答が存在していたが、その原因がロータブレードの非一様な誘起速度分布であることを明らかにした。

3. 従来はロータフラップ角運動を準静的と近似し、飛行制御系を構築していた。この方法をスタビレス産業用無人ヘリコプタの制御に適用すると、ロータフラップ角の共振を引き起こし、適切な結果が得られないことを明らかにし、スタビレス産業用無人ヘリコプタの飛行制御にはロータフラップ角の制御が重要な役割を果たすことを明らかにした。

4. 逆ダイナミクス法による制御系を構築するには、全状態変数を使用する必要があるが、ロータブレードのフラップ角の計測は現在の技術では不可能である。このため、部分的観測に基づく逆ダイナミクス法による制御系設計法を提案した。これにより、逆ダイナミクス法に基づいてロータフラップ角制御を内包する飛行制御系の構築法を確立した。飛行実験によって、提案法により設計した制御系はサーボモータによる時間遅れ、風やペイロード変化などの不確かさに対してロバストとなることを示した。

以上のように、本論文は、ロータブレードの角速度および速度による誘起速度分布が非一様となることが、産業用無人ヘリコプタの遠隔操作を困難にするカップリング応答の原因であることを明らかにした。さらに、カップリング応答を打ち消すだけでなく、所望の運動特性を実現するために、従来手法では不可能であったロータブレードのフラップ角制御を内包した飛行制御系の構築法を提案し、その有効性を評価した。

以上の成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年6月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。