

審査の結果の要旨

氏名 田中健作

修士（工学） 田中健作 提出の論文は「昆虫の高度制御システムの研究」と題し、7章と付録からなる。

昆虫サイズの微小飛行体（MAV）はその安全性・可搬性から大きな注目を集め、既にいくつかの試作機が飛行試験の段階に達している。しかし小型機特有の外乱への弱さ、飛行時間の制約等未解決の問題に悩んでいる。一方、多くの昆虫は飛行することができ、特に飛行によって食料を獲得するタイプの昆虫は、同サイズの微小飛行体に比べて、はるかに優れた飛行特性を示す。昆虫の飛行システムは3億年に及ぶ長い歴史に耐え抜いた実績を持っており、微小飛行体の飛行システムにとっても、多くの点で参考になることが予想される。しかしながら、これまでの昆虫の飛行システムの研究は、翅の動きに対する空気力や神経細胞の電位パルス等を静的な条件下で計測し、統計的に処理したものが大部分で、力学的な飛行運動の解明がほとんど行われていなかった。

このような観点から、筆者はマルハナバチを研究対象として、視覚刺激により誘起される上下方向の力の変動を計測し、運動の周波数応答を求めることを試みている。ハエやハチなどの小型の昆虫は飛行に必要な情報の多くを視覚に頼っており、決まったパターンの運動を視覚に与えると、対応する飛行運動のパターンが再現性良く誘起されることが知られている。これを視覚刺激により誘起される飛行運動と言う。筆者は、さらに従来知られている人間の制御特性とマルハナバチの応答を比較して、飛行体の小型化に必要な制御特性を考察している。

第1章は序論でありこれまでの研究を概観し、本論文の目的と意義を述べている。

第2章は昆虫の視覚の特徴と、視覚刺激によって誘起される飛行運動について述べるとともに、実験に用いたマルハナバチについてその特徴を説明している。

第3章は、視覚刺激を利用してマルハナバチの周波数応答を誘起するための実験システムについて述べている。ロードセルに固定したハチの周囲に、発光ダイオードのパネルを置き、輝度で表示する横縞のパターンを上下方向に正弦波状に運動させると、ハチは同じ周波数で、羽ばたき運動による上下方向の力を変動させる。事前に定めた横縞の運動が誘起する高度制御（開ループ応答）に加えて、ハチの発生する力の変動を横縞の位置にフィードバックして誘起する高度制御（閉ループ応答）の2種類の応答を可能にしている。

第4章は開ループにおける周波数応答の計測結果を述べている。筆者はボーデ線図を用いてマルハナバチの測定結果を整理し、位相余裕、ゲイン余裕とも、人類がサーボシステムに対して経験的に見出した理想的な値になっていることを導いた。さらにボーデ線図から伝達関数を同定し、マルハナバチの高度制御特性が「2乗クロスオーバーモデル」と呼べるものになっていることを示した。人間—機械系で明らかになった人間の伝達関数としては「クロスオーバーモデル」が良く知られているが、マルハナバチの伝達関数をこれと

比較して、昆虫の制御の特徴を議論している。

第5章は閉ループにおける周波数応答について述べている。筆者は、現実の環境に対応するフィードバックゲインの時、マルハナバチは開ループにおける伝達関数をそのまま閉ループに用いていることを明らかにした。しかしフィードバックゲインを変化させると、マルハナバチは一巡伝達関数が一定となるように開ループ伝達関数を変化させて対応した。これは人間-機械系において、異なるシステムに対し人間が示す対応と良く一致している。

第6章は前章までに明らかにした伝達関数を、マルハナバチの飛行運動の中に位置づけ、微小飛行体の制御系に、本研究の結果を応用したモデルを提案している。それは昆虫に学ぶ制御系として知られている従来のモデルと異なり、最も内側に安定性を増大させるループを組み込むというこれまでの制御工学の常識によく合致したものである。

第7章は結論であり、本研究で得られた新しい知見をまとめている。

以上要するに本論文は、視覚刺激に対するマルハナバチの高度制御を、伝達関数を用いて解明し、その結果を微小飛行体の制御モデルとして再構築し提案したもので、飛行力学上貢献する所が大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。