

審査の結果の要旨

氏名 Jorg Onno Entzinger

修士（工学）Jorg Onno Entzinger 提出の論文は *Analysis of Visual Cues for Human Pilot Control in the Final Approach and Landing* 「パイロットの着陸操縦におけるビジュアルキューに関する研究」と題し、6章からなっている。

旅客機の操縦は高度に自動化されているが、現在でも離着陸の大多数はパイロットのマニュアル操縦であり、特に着陸には難度の高い操縦技術が要求されている。過大な沈下速度による着陸は、乗客へ不快感を与えるのみならず、機材への構造的ダメージや、乗員への身体的影響を及ぼすため、エアラインでは操縦訓練や、操縦マニュアルの整備を進めている。ただし、接地間際の引き起こし操作時には、パイロットは計器類を確認する余裕がなく、コックピットからの視覚情報（ビジュアルキュー）をもとに操縦を行っているため、操縦技能の習得は難しく、効果的な訓練法の開発が望まれている。本論文は、こうした状況を背景として、パイロットがビジュアルキューをどのように操縦に反映しているかを分析するために、ビジュアルキューを入力、パイロットの操作を出力とするパイロットモデルをニューロ・ファジィネットワークを用いて構築するとともに、フレアタイミングの決定法に関する研究をおこなっている。

第1章は序論で、研究の背景を整理するとともに、着陸操縦法を説明し、最後に本研究の応用の可能性を整理している。

第2章では、ビジュアルキューに関する文献調査結果を整理している。過去の研究では両眼を使用するステレオ視と、単眼による奥行き視の医学、心理学、航空工学の研究がなされ、旅客機のビジュアルキューには両眼ステレオ視の利用には限界があり、単眼のオプティカルフローが有効に利用されていることが示されている。

第3章では、制御工学によるパイロット操縦のモデル化に関して過去の研究が概観されている。線形、準線形理論に基づく数学モデル化はパイロットにとって理解が困難であり非線形な操作の表現に限界があるため、ファジィ理論やニューラルネットワークの研究が進められていることが示されている。本研究では、パイロットの普遍的な操縦パターンを分析するために、比較的単純なニューロ・ファジィネットワークを採用することが説明されている。

第4章では、ニューロ・ファジィネットワークを利用したパイロットの着陸操縦分析法が提案され、その分析結果が示されている。ニューロ・ファジィネットワークはファジィな論理結合子を用いて入出力関係をネットワークとしてモデル化するもので、入力にはタッチダウンマーカーの位置と間隔、水平線の位置、滑走路両サイドラインの角度、接地予想時間が、出力にはエレベーター操舵量が用いられている。ビジネスジェット、小型旅客

機、中型旅客機に関するフライトシミュレータおよび実機飛行試験により、入出力データを取得し、それらを再現するニューロ・ファジィネットワークモデルを3度の経路角を維持するアプローチフェーズ、接地間際に沈下率を連続的に低減させる引き起こし（フレア）フェーズ、およびその中間のフレアタイミングフェーズに分けて構築している。その結果、アプローチフェーズではタッチダウンマーカの位置が、フレアフェーズでは滑走路両サイドラインの角度と水平線位置の変化率が、フレアタイミングフェーズでは滑走路両サイドラインの角度変化率が主要なビジュアルキューであることが導かれている。特に、フレアタイミングが、滑走路両サイドライン角度変化率に依存するという結果は、新たな知見である。

第5章では、フレアタイミングに関するビジュアルキューに関する仮説の検証を試みている。最初に滑走路両サイドライン角度変化率の幾何学的な解析から、滑走路両サイドラインの角度変化率が、高度と沈下率の関数となることを導き、フレアタイミングを決定するビジュアルキューに相応しいことを考察している。その後、経路角が同じ場合、沈下率が機体重量や風によって変化することに着目し、機体重量と風を変えた場合の着陸操縦分析を5名のパイロットに関してフライトシミュレータを用いて実施している。その結果、1名の副機長はいずれのケースでも一定高度でフレアを開始しているが、他の4名の機長は高度ではなく、滑走路両サイドラインの角度変化率が一定になるようにフレアを開始していることを明らかにした。この結果は、熟練したパイロットは、滑走路両サイドラインの角度変化率というビジュアルキューを活用してフレアタイミングを決めていることを裏付けている。また、補足的にアイマークカメラによる視線の計測結果も行っている。これによれば、パイロットはフレアフェーズでは計器を確認する時間が減少し、モーション無しに比べ、モーション有りのシミュレータを操縦するほどビジュアルキューの依存度が増すことが示され、ビジュアルキューの重要性が確認されている。

第6章では、本研究の成果をまとめると同時に、さらなる研究課題について述べている。

以上、要するに、本論文は、ビジュアルキューに基づくパイロット着陸操縦のニューロ・ファジィネットワークによる分析手法を提案し、異なる機体の操縦分析から滑走路両サイドラインの角度変化率がフレアタイミングを決めるという仮説を導き、複数のパイロットに対する異なる飛行環境による着陸操縦からその仮説の裏付けを行った。これらの成果は、航空工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格であると認められる。