

審査の結果の要旨

氏名 森 亮太

修士（工学）森 亮太 提出の論文は「パイロットの着陸操縦分析に関する研究」と題し、8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、パイロットが視覚情報をどのように操縦に反映しているかを分析するために、視覚情報を入力、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ラルネットワークを用いて構築するための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、これまで実施されてきた航空機のパイロットや自動車のドライバーの操縦モデル化手法を概観することで、本論文で提案するモデル化手法の位置づけを明確にし、最後に本論文の構成を整理している。

第2章では、本論文でパイロットのモデル化手法として採用するニューラルネットワークに関して、その基本的な構造、モデル構築の一般的な手法、ならびにモデル構築の際の主な留意点を整理している。また、構築されたモデルを用いた分析法として、因子分析手法、感度解析手法を説明している。

第3章では、パイロットの着陸操縦に関してニューラルネットワークによるモデル化手法を考察している。最初に鉛直面内の縦方向操縦のモデル化を行い、視覚情報として水平線位置、滑走路サイドラインの傾き、タッチダウンマーカの幅およびそれらの微分値を用いることで、高度1000フィートから経路角3度でのアプローチを開始し、沈下速度を低減させるための引き起こし操作を経て接地にいたるまでの操縦をモデル化できることを確認している。具体的には、フライトシミュレータによる着陸操縦の機体運動履歴とエレベーターとスロットルの操縦履歴を記録し、機体運動履歴から視覚情報履歴を算出し、ニューラルネットワークの入力データとして用いた。この視覚情報に基づくニューラルネットワークの操縦履歴を、教師データとして用いる操縦履歴の計測値と一致させるようにニューラルネットワークを学習させる。この際、ニューラルネットワークの各情報経路の重みの自乗和をモデル化誤差に加えて最小化する正則化法を採用することで、ロバストなモデルを獲得できることを示した。モデルの妥当性は、獲得したモデルによりフライトシ

ミュレータを自動操縦させ、飛行開始位置での初期条件を変動させた場合にも着陸が可能であることから確認している。後半では、水平線の傾き、滑走路両サイドラインの傾きの差、滑走路の横方向位置を視覚情報に追加し、エルロン、ラダー操作に対する横方向操縦モデルを構築し、横風状態でのデクラブ操作のモデル化にも成功している。

第4章では、適切なモデルの獲得のためには正則化手法におけるネットワーク重みの自乗和の与え方が重要であることに着目し、その調整法を検討している。ネットワーク重みの自乗和の最小化が弱い場合は、教師データへの一致度は高まるが、変動に対するロバスト性が悪化し、逆に強い場合には、教師データの再現性は悪化する。ここでは、その調整法を新たに提案し、一般的な回帰問題に適用した後、パイロット操縦のモデル化でも有効であることを確認している。

第5章では、操縦に対する各視覚情報の重要度を分析する因子分析に関する検討を行っている。具体的には、特定の視覚情報に注意を払った着陸をフライトシミュレータで取得し、その結果を用いてニューラルネットワークを構築し、得られたモデルにより因子分析を行っている。その結果、パイロットが特別に注意を払った視覚情報の因子が高くなることが確認でき、因子分析の妥当性が示されている。

第6章では、本解析手法を実機使用時にも適用できるように、ビデオカメラを用いて視覚情報履歴と操縦履歴を取得する方法を開発し、その検証を行っている。その方法は、コックピットに2台のビデオカメラを設置し、1台は操縦桿を、他の1台は前方視界を記録し、記録された動画の画像処理から水平線の動きなど必要な履歴データを抽出するものである。精密な慣性航法機器により同時に取得されたデータとの比較を行うとともに、それらのデータから構築されたモデルに基づく分析の結果を比較し、提案する手法の有効性が示されている。

第7章では、横風時やウィンドシア時の飛行データをフライトシミュレータにより取得し、提案する手法を用いてパイロットのモデル化を行い、パイロットの操縦手法について分析した結果を整理している。その結果、飛行環境が変わった場合や、経験による操縦特性の違いを分析することに成功している。

第8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、視覚情報に基づくパイロットの着陸操縦のニューラルネットワークによるモデル化と、その分析手法の提案を行い、主にフライトシミュレータ実験を介して、飛行環境による操縦の違い、経験による操縦特性の違いを示し、その有効性を実証するとともに、操縦訓練への適用の可能性を示した。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。