

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11582

研究課題名(和文) VR航空操縦時に得られる生体情報に基づくAIによる自動技能評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of an flying skill evaluation VR system using AI based on line-of-sight data

研究代表者

芳賀 瑛 (Haga, Akira)

九州大学・附属図書館・助教

研究者番号：50738672

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では私大航空養成課程における訓練生の飛行技能の向上を目的とした自学型VR学習支援システムを開発した。同システムはVR内のフライトシミュレーションを通じて得られた機体操作、及び生体情報を基にパイロットの操縦特性を分類し、操縦技能を評価する機能を有する。また、養成課程における基本飛行課題の全てを評価することが可能であり、汎用性と教育効果の高い訓練支援システムを確立するに至った。本システムから得られる生体、操縦特性情報は航空業界にとって利用価値の高いデータとなる。安価なVRデバイスと自己学習評価AIの導入により大規模なデータの蓄積と効率的な指導が実現可能となり、パイロット教育の発展に貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では養成課程におけるパイロット訓練生を対象に、フライトシミュレーション支援システムを開発した。このシステムはVR内のシミュレーションを通じて得られた機体操作・生体情報を基にパイロットの操縦特性をAIによって分類し、操縦技能を評価する機能を有し、課程において求められる全基本飛行課題の評価が可能である。訓練生を対象とした支援システムは世界でも例がなく、VRとAIの活用により費用効果の高い、大規模なデータ収集が可能な自習システムの提供が実現した。得られる操縦特性情報についても業界にとって利用価値の高いデータであることから、本システムの導入は今後のパイロット教育の発展に貢献するものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：We developed a VR learning support system for improving the Flying Skills of Pilot Trainees in aviation training courses. This system has the function of classifying pilot's aircraft-operating characteristics and evaluating flying skills based on the data of operation and line-of-sight during VR simulation. It is possible to evaluate all the basic flight tasks required in the training course and has an effectiveness and applicability in the practical use. The data of aircraft-operating characteristics has a high use value and novelty for the aviation industry. By introducing a self-study system using an inexpensive VR device and AI, it will be possible to accumulate large-scale data and provide efficient learning. This system contributed to the development of pilot education.

研究分野：教育工学

キーワード：フライトシミュレーター スキル教育 VR パイロット 機械学習

1. 研究開始当初の背景

国内の航空業界では団塊世代の一斉退職、および世界的な航空需要の伸びに伴う職業パイロットの不足が深刻な問題として浮上しており、国土交通省は 2030 年頃には年間 400 名規模で新規パイロットを採用しなければならない事態になると予測し、計 7 つの私立大学においてパイロットの養成課程が開設されるに至った。

養成課程の主な目的は、パイロット訓練生の操縦技能を効率的に向上させることであり、その一環として FTD (Flight Training Device) の導入によるシミュレーション教習が挙げられる。シミュレーションによる教習では、学習にかかる時間の短縮と実機を飛行するコストの削減を図ることができ、操縦技能の向上に大きく寄与するが、教習時における訓練生の操縦技能の評価は指導者の主観的評価が中心となっており、客観的な証左に乏しいという問題が存在した。また操縦ログに関してもこれまで十分に蓄積・整備されておらず、訓練生は自身の操縦内容についてブリーフィング時の教官のコメントから知るのみであり、十分な振り返りを行うことが難しい状況となっていた。この為、パイロット養成課程における訓練生の操縦技能教育についても教育データの蓄積と経年的評価を実施する必要性があり、評価に際しては定量的、かつ Evidence Based な指標を用いることが求められた。また、客観的な指標を基に訓練生が自身の操縦を振り返り、不備な点を見いだして改善するためのシステム構築の必要性についても示唆された。

上記の背景を踏まえ、研究代表者らはパイロットの生体情報に着目し、これを客観的評価の指標として組み入れた次代の学習支援システムの開発を構想するに至った。これまでの研究により、システムの開発と有効性の検証を行い、生体情報の取得からポートフォリオとして蓄積するまでの評価システムを開発した。

システムの開発、有効性の実証研究を進める中で、新たに「設備規模の簡易化」と「システムの利用頻度の促進」、「評価プロセスの効率化」が課題として派生した。国交省の認定した大型 FTD の使用は、学習の場所と時間を限定し、生体情報を取得する為のデバイスは各回の装着、設定が必要であることから、システムを訓練生が反復して使用する点において難があった。また、操縦技能の評価プロセスについても、人的コストを極力減らし、訓練生が自身で学習してフィードバックを得られる完全な自学自習型の支援システムへの改良の必要性が示された。

上記の背景の中、産業界では大規模なデータの反復学習から、予測や推論を導き出す機械学習の原理に基づく新しいシステムの提案や作業の効率化が浸透し、教育分野においても AI 導入による教育効果の向上が期待される状況となっていた。一方で Virtual Reality (VR) 技術の発展により、従来とは異なる新しい学習体験に基づく教育手法の導入も始められており、特に技能教育への寄与が期待される状況下にあった。また、2019 年末からの新型ウイルス COVID-19 の蔓延はこれに拍車をかけ、長期にわたって対面での実験を行うことが不可能となった為、訓練生が在宅でも自由に使うことができる完全独立型の自学システムの導入が求められていた。

上記を踏まえ上記の本研究では、生体情報を基にしたパイロットの操縦技能評価システムの課題である「設備規模の簡易化」、「システムの利用頻度の促進」と「評価プロセスの効率化」を解決する手段として VR、AI 技術に着目し、自学型 VR フライトシミュレーション支援システムの開発を構想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では私大航空養成課程における訓練生の飛行技能の向上を企図した自学型 VR フライトシミュレーション支援システムを開発することを目的とした。VR 内のフライトシミュレーションを通じて得られた機体操作の履歴と生体情報を基に、機械学習を通じてパイロットの操縦特性を分類し、操縦技能を評価する AI システムの開発を最終的な目標とした。

3. 研究の方法

本研究は下記の 4 段階から成り、

- A. VR 飛行訓練時の、訓練生の生体情報と飛行計器から得られる機体情報の収集
 - B. 機械学習による操縦技能評価に有用な特徴量の抽出、
 - C. B に基づく訓練生のパフォーマンス評価 AI システムの開発
 - D. C により構築されたシステムの運用と評価精度の向上
- を段階ごとの目標とした。

第一に A における VR 飛行訓練の実施と生体情報の収取について、基本となる VR システムの開発を行った。既に生体情報の一つである視線情報がパイロットの計器スキャニングのパフォーマンスに重要な影響を与えることが研究の中で実証されていたことから、視線情報を基にした VR システムの開発を行った。当初、使用する VR デバイスとして視線追尾が可能な FOVE 社の製品をベースに開発を行ったが、プロトタイプを試験評価したところ、パイロットから操縦のリアリティ感と使用感について意見が寄せられ、より実機に近い操作性が求められた。また、解像度とレンダリング速度において改善が必要とされた。当時の VR デバイスの性能の限界もあり、



図 1.VIVE PRO EYE をベースとした VR フライトシミュレーション支援システム

(3)IAS (1)Bank

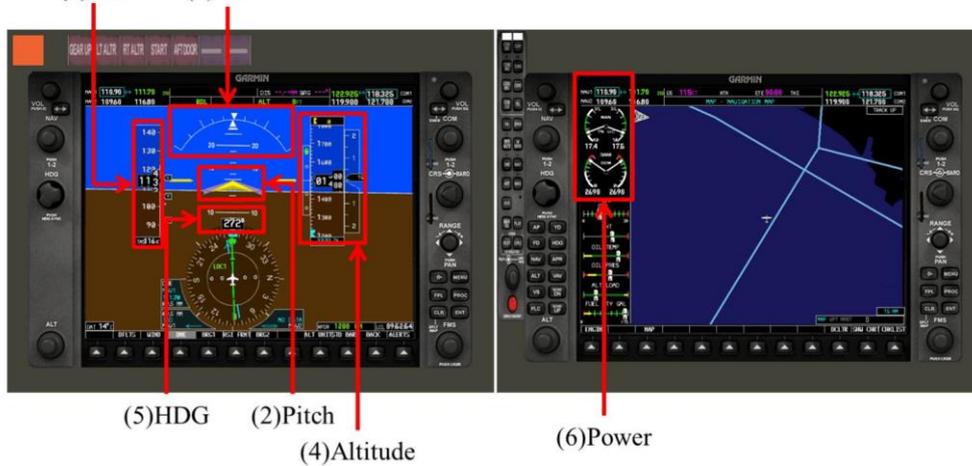


図 2.計器飛行における対象計器一覧

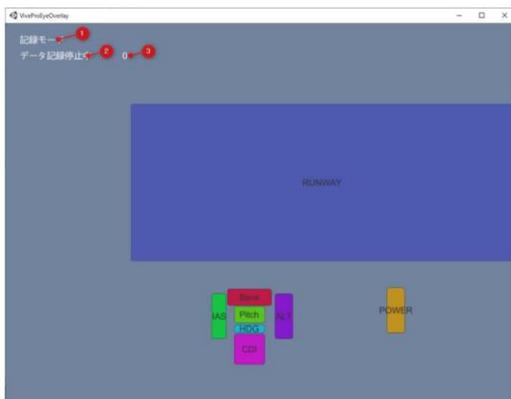


図 3.注視判定を行うオーバーレイプログラム



図 4.視線トレースの追体験機能

改善には時間を必要としたが、HTC 社と Valve Corporation により共同開発されたヘッドセット、VIVE PRO EYE をベースとして全面改修を行った。下記に開発したシステムの画面例を図 1 に示す。同システムは Laminar Research 社より発売されている高精度フライトシミュレーターソフト X-Plane を VIVE EYE PRO 内で動作させ、シミュレーション時の視線情報及び機体情報のを可能とする。操縦桿、フットペダルについてはロジクール社の製品を使用した。図 2 は民間航空機パイロットの訓練において重要となる計器群であり、図 1 の判定領域と対応している。判定領域を基に注視回数、注視時間を算出しスキニングのパフォーマンスを評価する。図 3 は判定領域の設定用プログラムであり、ユーザーが VR 内の計器と重ね合わせることで判定領域を決定する。シミュレーション内でユーザーが行った機体操作及び視線トレースの記録は数値データと映像データの 2 種で保存することが可能であり、別ユーザーが VR 内で再現し、追体験することが

可能である(図4参照)。

同システムを用いて試験評価を行った所、解像度、レンダリング速度等の表示上の問題は解決し、国交省認定FTDと遜色ないレベルのシミュレーションの提供に成功した。課題として設定やログ保存にコントローラーを使うユーザーインターフェースが煩雑であることが挙げられ、これについても改良を行った(図5、図6参照)。

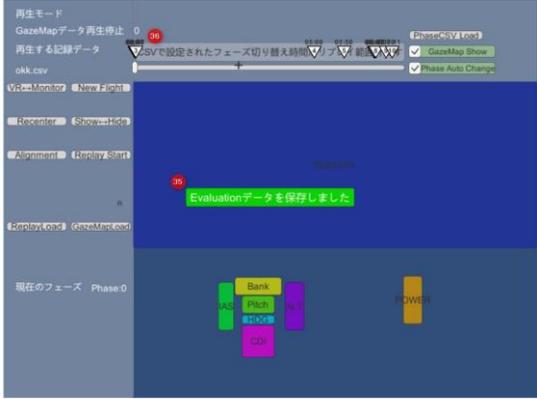


図5.改良後のオーバーレイプログラム



図6.改良後の記録設定画面

改良後のオーバーレイプログラムではコントローラーを使用する形式から視線入力形式へと切り替え、ユーザーが自宅で単独で視線のキャリブレーション、判定領域の設定、ログ保存を行えるよう簡易化を行った。また、シミュレーション時の映像記録を再生する際に、映像に区切り位置を入れることが出来る機能を新規に実装した。画面上で映像を区切るとCSV形式の数値データにもその区切り情報が反映される。この改良を以てVRシミュレーションに十分な性能を持つシステムを提供することができた。

訓練生が自学形式でシミュレーション演習を行う環境構築の最終段階として、操縦パフォーマンスの自動評価機能について新規に開発した。飛行課題として1回1分半程度のSTEEP TURNを採用し、この課題を10の工程に分解し、各工程で求められる機体操作の数値、視線推移の望ましい数値について指標を定め、各指標からの逸脱の程度に応じてレベル分けを行い、評価基準を設定した。先のVRシミュレーション操作の映像記録に区切り位置を入れる機能は、この為に設計したものである。下図7~9に評価プログラムの画面例を示す。

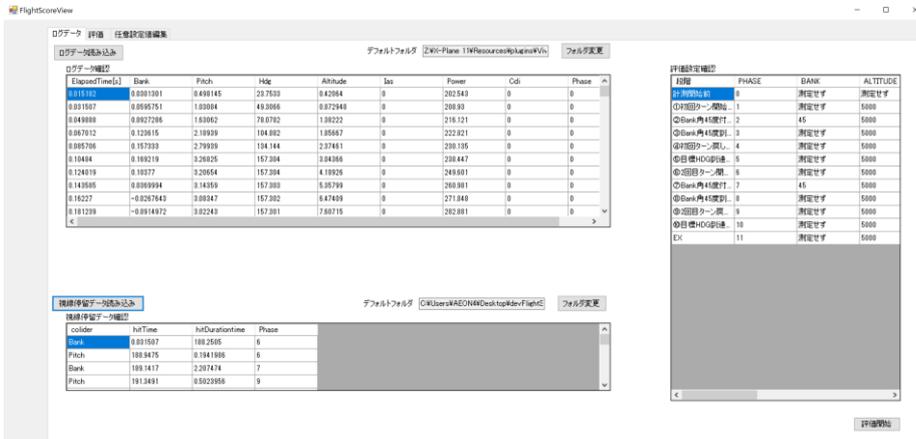


図7.フライトパフォーマンス評価プログラム

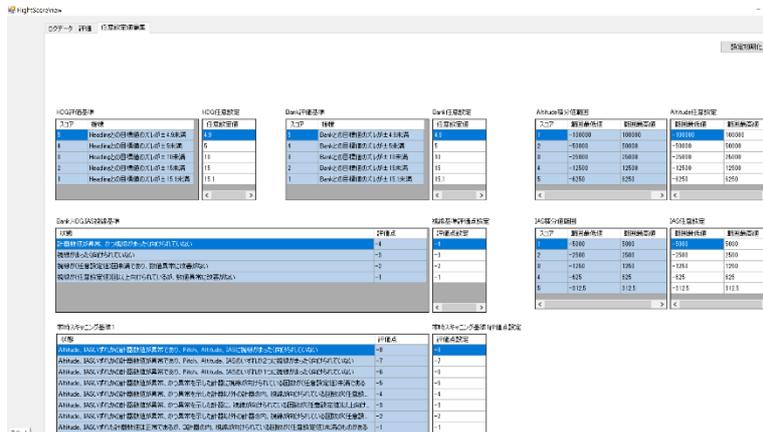


図8.フライトパフォーマンス評価プログラム・設定値編集画面

図9.フライトパフォーマンス評価プログラム・評価画面

評価項目	BANK	PITCH	ALTITUDE	IAS	HOG	POWER
計測開始前	測定せず	-0.279129~0.269	測定せず	測定せず	測定せず	292.943~1889.75
①目視目視→目視→Bank再4度飛行	測定せず	-0.269090~-0.271	1	2	測定せず	1889.75~1889.75
②Bank再4度飛行→4度飛行	1	-0.237428~-0.239	1	2	測定せず	1889.75~1889.75
③Bank再4度飛行→目視目視	測定せず	-0.249818~-0.252	1	2	測定せず	1889.75~1889.75
④目視目視→目視→目視目視	測定せず	-0.237967~-0.242	0	4	測定せず	1889.75~1889.75
⑤目視目視→目視→目視目視	測定せず	-0.228677~-0.231	2	4	1	1889.75~1889.75
⑥目視目視→Bank再4度飛行	測定せず	-0.268418~-0.274	1	1	測定せず	1889.75~2453.93
⑦Bank再4度飛行→4度飛行	1	0.892011~1.0061	1	5	測定せず	2437.89~2444.09
⑧Bank再4度飛行→目視目視	測定せず	11.6162~11.6762	0	5	測定せず	2437.89~2437.89
⑨目視目視→目視→目視目視	測定せず	11.6162~12.016	2	5	測定せず	2437.89~2437.89
⑩目視目視→目視→目視目視	測定せず	12.0089~12.8764	2	5	1	2437.89~2437.89
EX	測定せず	-0.544864~-16.65	1	1	1	2169.41~2437.89

図9.フライトパフォーマンス評価プログラム・評価画面



図10.フライトパフォーマンス評価 AI 画面例

図7の初期画面においてVRシステムから得られる機体操作ログ及び視線データを読み込み、評価を開始する。飛行課題の各工程における望ましい数値については任意に設定が可能である(図8)。この機能により、操縦者の技能レベルを定量的に判定し、望ましい操縦、視線推移について学習者にフィードバックすることが可能となった。また、飛行課題の工程分けと基準値を設定することで訓練課程において必要とされる基本飛行課題の全てを網羅、評価することが可能となった。

段階B.機械学習による操縦技能評価に有用な特徴量の抽出、C.Bに基づく訓練生のパフォーマンス評価AIシステムの開発において、教師データ(正答データ)を作成する際の基準として、このプログラムによる評価と、指導教官によるルーブリックに基づく評価の2種を用意し、比較を行った。

最後に、得られたデータを基に機械学習による各操縦者の操縦技能の分類を行う航空技能評価用AIについて開発を行った。高い精度での分類が可能となり、結果をフィードバックすることでより効果的な技能の向上が期待できるに至った。

開発段階における評価実験においては、更なる課題として「指導教官との対面による教授」「訓練生が自学で得た気づき、学習内容を教官や他の訓練生と共有する」場としてのブリーフィングの重要性が示唆された。実際の訓練課程においてはシミュレーション、実機を問わず演習前後には教官と訓練生とでブリーフィングを実施し、技能の向上を図っている。この為、開発したVRシステムについてもパフォーマンスの履歴を基にブリーフィングが実施可能な機能の開発が新たな課題として派生した。この為、集団での討議実施時の個人識別をする機能が新たに必要と考えられた為、顔認識の機能について新たにプロトタイプを実装した(雑誌論文[2]、学会発表[1]参照)。今後はVR演習時にユーザーが相互で通信、討論が出来るインタラクティブ機能の開発を検討している。

4. 研究成果

本研究では学習データとして学習者の生体情報に着目し、航空操縦を学ぶ専修生を対象に、VRシミュレーション時における仮想空間上の挙動と生体情報を収集し、機械学習に基づき操縦技能を自動評価するAIシステムの開発を行うことを目標とした。第一にVR飛行訓練時の学習者の視線情報を映像として記録できるVRシステムを用いて専修生を対象とした予備実験を実施した。システム導入前後で訓練の効果向上が期待でき、飛行課題のパフォーマンス評価指標を確立するに至った。また、VRシステムの視野角等、実機との差異の改善を行った。

第二に理想的な操縦モデルを仮定した上で、システム上で操縦のパフォーマンスを自動評価する機能を開発し、実装を行った。この機能によって操縦者の技能レベルを操縦時の機体情報と視線情報を基に定量的に判定し、望ましい操縦、視線推移について学習者にフィードバックすることが可能となった。

最後に、蓄積された学習データを基に機械学習による各操縦者の操縦技能の分類を行う航空技能評価用AIについて開発を行った。高い精度での分類が可能となり、結果をフィードバックすることでより効果的な技能の向上が期待できるに至った。また、システムを改良し、実施可能な飛行課題の範囲を拡大し、基本課題の全てを網羅したことから、今後パイロットの基礎訓練の包括的な支援が実現可能なシステムの展望が示された。VRとAIの活用により費用効果の高い、大規模なデータ収集が可能な自習システムの提供が実現できたことから、本システムの導入は今後のパイロット教育の発展に寄与するものと考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Haga Akira, Endo Shinji, Shibata Tosaku, Morita Shinji, Arai Kazuyoshi, Tokiwa Yuji	4. 巻 Vol.17, No.1
2. 論文標題 Improving the flying skills of pilot trainees by reviewing and re-reflecting on line-of-sight data.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Information and Systems in Education,	6. 最初と最後の頁 36-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12937/ejsise.17.36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshihiro Okada, Akira Haga, Wei Shi.	4. 巻 1
2. 論文標題 Web Based Interactive Viewer for 360VR Images/Videos Supporting VR/AR Devices with Human Face Detection.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications,	6. 最初と最後の頁 260-270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-02613-4_23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Akira Haga, Wei Shi, Ginpei Hayashida, Yoshihiro Okada.
2. 発表標題 Web Based Interactive Viewer for 360VR Images/Videos Supporting VR/AR Devices with Human Face Detection.
3. 学会等名 The 13th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications, (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	新井 和吉 (Arai Kazuyoshi) (10202706)	法政大学・理工学部・教授 (32675)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	常盤 祐司 (Tokiwa Yuji) (70434181)	法政大学・情報メディア教育研究センター・研究員 (32675)	
研究 分 担 者	森田 進治 (Morita Shinji) (80789032)	法政大学・理工学部・教授 (32675)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関