

VR技術を用いたパラグライダー操縦技能獲得システムの設計と評価

浜本 多聞^{*1}

竹村 治雄^{*2}

浦西 友樹^{*2}

ラサミー ポチャラ^{*2}

Abstract – パラグライディングによる事故は後を絶たず、他の航空スポーツと同様に教育・訓練課程での安全面への配慮は不可欠である。しかし、技能実習には安定した気象条件が必須であり、季節や地域によっては効率的な技能実習ができるとは限らない。本論文では、Virtual Reality (VR) 技術を用いて行うシミュレータの設計とその評価について報告する。VRによるパラグライダー操縦訓練シミュレータを実現することで、季節や地域といった外的要因に関わらずパラグライダーの飛行訓練を実施できる。また、衝突回避や進路交差など、危険の伴う訓練も安全に実施できる。実験の結果、旋回訓練とトラフィックルールの訓練の両方において有用性が確認できた。旋回操作については、パラグライディング経験者は未経験者に比べ違和感を覚える結果となった。原因として、体重移動による旋回操作を実装していないことが考えられる。

Keywords : Virtual Reality, シミュレータ, 訓練, パラグライダー

1 はじめに

パラグライディングの独学は危険であり、スクールに入って教員の指導を受けることが必須である。パラグライダーの飛行訓練では、実際のフライトを教員の監督のもとに実施し、無線誘導等により指導を受けることとなっている。しかし、技能実習に適した天候条件時のみ飛行訓練が可能であり、特に経験の浅い訓練生が飛行訓練できるのは熱上昇風のない朝夕の安定した気象条件に限られる。このため、季節や地域によっては効率的な技能実習ができるとは限らない。また、進路交差や衝突回避といったトラフィックルールについては、その危険性から実技訓練はできていない。

実技訓練の効率及び危険性を解消する方法として、シミュレータを用いた模擬訓練が挙げられる。シミュレータは特に初心者の実技訓練に対して有効な手段であり、実際に自動車教習所内での自動車の操縦練習や、航空機乗組員の訓練、試験、審査などに使用されている。フライトシミュレータにおいては、模擬飛行装置等認定要領 [2] において模擬飛行装置と飛行訓練装置に分けられ、その区分と認定が定められている。しかし、現在パラグライダーについて飛行訓練に対する有用性が示されたシミュレータは確認できない。

本研究では、Virtual Reality (VR) 技術を用いたパラグライダーの旋回訓練とトラフィックルールの訓練シミュレータを実現し、評価することを目的とする。VR技術を用いることで、危険なトラフィックルール訓練も安全に実施できる。既存のVRパラグライダーシミュレータは、システム構築のみで飛行訓練に対する効果

は報告されていない。そこで本研究では、旋回操作とトラフィックルールの訓練が可能なシミュレータを作成し、その効果を検証する。

2 関連研究

2.1 VRを用いたパラグライダーシミュレータ

Davisら [3] は、実際のハーネスに座り、ヘッドトラッキング機能を持った Head-mounted display (HMD) を装着して使用するパラグライダーのシミュレータを開発した。また、熱上昇風や AI 操作された Non-Player Character (NPC) を実装している。これにより、ユーザの技量を判定し、初心者であれば衝突回避などの基本的な訓練が可能であると報告している。Rieufら [4] は、実際のハーネスに座り、HMDを装着して使用するパラグライダーのシミュレータを開発した。2つの画面が用意されており、1つはユーザーの視点を表す。もう1つは彼らのVR開発プロセスと、他のVR体験に関する洞察を表示している。

2.2 VRを用いたその他スポーツのシミュレータ

西本ら [5] は、VR環境内でテニスのスイングの練習ができるシステムを構築した。HMDとトラッキングセンサーを装着したテニスラケットを使用することで、実際にラケットを振って練習できる。また、検証実験によって2次元映像ディスプレイを使用した時よりも距離感や高さを把握して打つことができたことを報告している。津田ら [6] は、VR技術を用いて野球のフライ捕球を訓練するシステムを構築した。フライボールの運動がHMDに提示され、ユーザはボールの落下位置を判断し、Xbox Oneのワイヤレスジョイスティックを用いてボールの落下地点まで移動する。

^{*1}大阪大学大学院情報科学研究科

^{*2}大阪大学サイバーメディアセンター



図1 パラグライダーの構造 [7] (一部改変)

2.3 VR を用いたシミュレータ製品

VR を用いたシミュレータには既に商用化しているものもある。T3R SIMULATOR は VR を用いたドライビングシミュレータである。筐体を制御するための2軸のアクチュエータを取り付け、路面のうねり、振動、重力加速度を再現している。フライトシミュレータゲームとしては X-Plane 11 や Aerofly FS 2 Flight Simulator がある。

2.4 関連研究のまとめと本研究の位置付け

VR を用いたスポーツのシミュレータの研究では、その効果が報告されている。VR を用いた製品では、実際の講習等で利用されているものや、商用化しているものが存在する。一方、既存の VR を用いたパラグライダーシミュレータは、システムの構築を行った研究のみで飛行訓練に対する有用性は報告されていない。また、制作したシステムの制御方法や明確な仕様も報告されていない。そこで本研究では、旋回操作とトラフィックルールの訓練が可能なシミュレータを作成し、それをを用いて被験者実験を行い、その有用性を評価する。

3 パラグライダーの用語説明

3.1 パラグライダーの構造

パラグライダーの構造図を図1に示す。パラグライダーはキャンビとハーネスをラインとライザで接続している。さらにブレークコードを用いてキャンビとコントロールグリップを接続し、操縦者はコントロールグリップを引くことで操作する。

3.2 JHF パラグライディング技能証

パラグライディングには、その技能の水準を示すために、公益社団法人日本ハング・パラグライディング連盟 (JHF) が発行している技能証が存する。最初に取得する技能証は A 級パイロット技能証であり、その後 B 級パイロット技能証、ノービスパイロット技能証、パイロット技能証と順に取得する [1]。



図2 提案システム

4 提案手法

4.1 提案手法概要

図2に提案システム図を示す。HMD を装着してフレームに吊り下げられたハーネスに座り、コントロールグリップを操作することで飛行訓練を行う。吊り下げられたハーネスに座ることで、前後左右の揺れを体感でき、固定された椅子に座るよりも実際の挙動に近くなる。実際のパラグライダーはコントロールグリップによる操作の他に、体重移動による操作も必要となる。しかし、パラグライディング未経験者には体重移動を用いた操作は難しく、VR 酔いの原因となると考えたため、今回のシミュレータでは体重移動による旋回操作は考慮しない。

4.2 システム構成

図3に吊り下げられたハーネスの図を示す。フレームにハンギングバーを吊り下げ、ハンギングバーの両端からライザを用いてハーネスを吊り下げる。ハーネスに座ると前後左右の揺れや体重移動によるハーネスの傾きを体感できる。ユーザは吊り下げられたハーネスに座り各種ベルトを装着し、コントロールグリップを操作することで、飛行訓練を行う。このシステムは、雨天時の室内訓練や飛行中にはできないレスキューパラシュートを用いた訓練などで実際に使用されている [1]。本システムでは、HMD 着用中のハーネスの回転を抑制するために、ハンギングバーとフレームを紐を

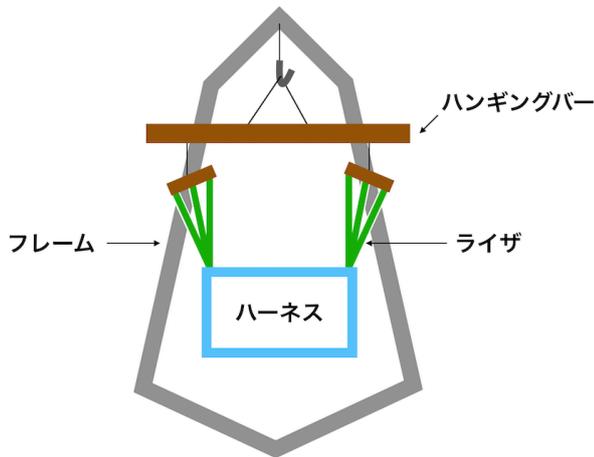


図3 ハーネスの接続



図5 コントロールグリップ

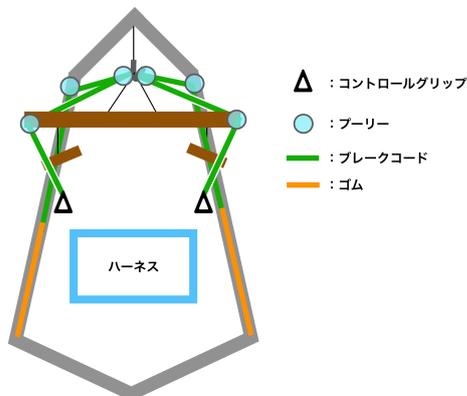


図4 コントロールグリップとブレークコードの接続

用いて緩く固定した。緩く固定することで、VR 環境内でのハーネスと実際のハーネスの向きを不一致を防ぐとともに、前後左右の揺れや体重移動によるハーネスの傾きをある程度許容できる。

図4にコントロールグリップとブレークコードの接続図を示す。左右各1個ずつコントロールグリップを取り付ける。各コントロールグリップは3個のプーリーとゴムを用いてフレーム下部と接続し、ブレークコードの反力を再現している。また、ハンギングバーを経由することでコントロールグリップを引く方向を再現している。図5に示すように、コントロールグリップ上部に HMD のコントローラを取り付け、コントローラをトラッキングすることでブレークコードを引いた距離を検出する。

VR システムにはスタンドアロン型 HMD である Oculus Quest を使用した。また、VR 環境の構築には Unity 2019.3.0a2 を使用した。

4.3 パラグライダーの制御

VR 環境内のパラグライダーは、実際のパラグライダートリム速度（何も操作しない場合に自然に滑空する速

度）である対気速度時速約 35km で前進しており、さらに重力と揚力が加わっている。VR 環境内のパラグライダーは毎秒約 0.6m 降下するよう実装した。墜落の心配をせずに訓練が可能のように、実際のパラグライダーの沈下速度よりも小さい値とした。

実際のパラグライダーは化学繊維の布と紐から構成されているため、操作ミスや乱気流によってキャノピが変形し、失速状態や片翼が潰れた状態になる。本研究では風の影響を考慮せず、操作は旋回操作に限定したため、キャノピが変形する状況が起こる可能性は十分に低いので、モデルは変形しない剛体として実装した。

4.4 実装した訓練

竹村 [8] は、パラグライダーの各教習課程において訓練生が行う操作と、それに対する VR を用いた飛行訓練シミュレータへの実装難易度を表1のように分類した。ハーネスの並進運動を伴うテイクオフ、ランディングといった操作や、ライザの操作が必要な翼端折りと回復といった操作は実装難易度が高く、トグル操作（コントロールグリップを用いた操作）や体重移動のみを用いる項目は実装難易度が低い。特に B 級課程の実技項目であるトラフィックルールについては、VR 環境での危険性の低さと実装の容易さから高い教育・訓練効果が期待できると報告している。そこで本研究では、B 級課程の実技項目である旋回操作、トラフィックルールについての訓練を実装する。

表1 竹村 [8] による VR を用いた訓練シミュレータへの実装難易度分類表 (一部改変)

課程	実装項目	トグル操作	体重移動	ハーネス制御		その他の操作	実装の難易度
				並進	回転		
A	ライズアップ	○				○	4
	安全なテイクオフ	○		○		○	4
	安定した直線飛行	○					1
	安全なランディング	○		○	○	○	4
B	旋回操作	○	○				2
	ピッチング	○	○		○		3
	ローリング	○	○		○		3
	安全なアプローチラインと姿勢	○	○				2
	半径 30 メートル以内への安全なランディング	○	○	○	○	○	4
	周囲警戒	○	○				2
	トラフィックルール	○	○				2
NP	グラントパスでのランディング	○					2
	偏流飛行	○	○		○		3
	横風でのランディング	○	○	○	○	○	5
	高度処理	○	○		○		3
	リッジソアリング	○	○		○		3
	360 度旋回	○	○		○		3
	ピッチング (前後 15 度程度)	○	○		◎		4
	ローリング (左右 30 度程度)	○	○		◎		4
	リアライザーでの緩旋回		○	○	○	○	4
	翼端折りと回復		○	○	○	○	4
P	フィギアエイト	○	○		◎		4
	深いバンクでの 360 度旋回	○	○		◎		4
	サーマルセンタリング	○	○	○	○		4
	指定地ランディング	○	○	○	○	○	4
	片翼潰しからの回復	○	○		○	○	4
	両翼端折での飛行	○	○		○	○	4

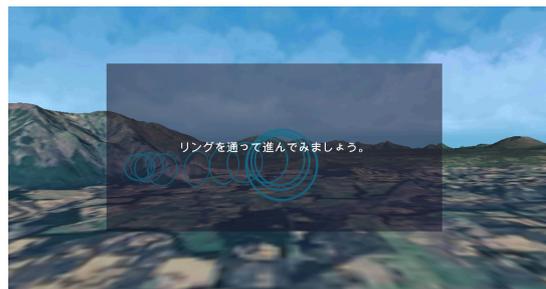


図6 訓練時に表示される指示

1. 旋回訓練
2. 対向
3. 進路交差
4. 同高度追い越し
5. 追い越し後進路交差
6. 衝突回避後追い越され
7. 並列複数機体追い越し
8. 並列複数機体対向後進路交差, 追い越され
9. 複数機体が飛行中の空域を自由飛行

5 評価実験

本実験では、開発したシステムを用いて旋回技能、トラフィックルールの訓練を被験者に行ってもらい、被験者の主観に基づいたアンケートの回答結果を分析して開発したシステムの有用性を評価する。また、実験中はパラグライディング経験者と未経験者の体重移動の差を調べるために、ハーネスに3軸加速度センサを取り付け測定する。

5.1 実験対象

パラグライディング未経験者である18から24歳の男女23名と、パラグライディング経験者である27から72歳の男女12名の合計35名に対して実験を行った。

5.2 実験手順

訓練を始める前に、実験の趣旨、機器の取り付け方法、訓練する内容、パラグライダーの操作方法、安全上の注意事項などを被験者に説明する。その後ハーネスに座りHMDを装着し、訓練を開始する。訓練が終了後、アンケートに回答してもらい、その回答をもとに本システムを評価する。

5.3 訓練項目

本実験では以下に述べる訓練を行った。最初は旋回訓練を行い、パラグライダーの操作方法を理解してもらう。次に衝突回避、進路交差、同高度追い越しといった基本的なトラフィックルールの訓練をしてもらう。その後、前述した基本的なトラフィックルールが組み合わさった複合的なトラフィックルールの訓練をしてもらう。最後にNPCが複数飛行している空域での自由飛行により旋回とトラフィックルールの両方を訓練してもらう。訓練は以下の1.から9.の順に行う。

5.4 質問項目

質問項目を以下に述べる。

- Q1 シミュレータの操作は簡単だった
- Q2 シミュレータは楽しかった
- Q3 表示される指示はわかりやすかった
- Q4 旋回導入時の挙動に違和感があった
- Q5 旋回中の挙動に違和感があった
- Q6 旋回離脱時の挙動に違和感があった
- Q7 シミュレータを体験して気分が悪くなった
- Q8 シミュレータは旋回訓練に役立つと思う
- Q9 シミュレータはトラフィックルールの訓練に役立つと思う
- Q10 パラグライダーに興味を持った

以上の質問項目を「よく当てはまる」を5、「全く当てはまらない」を1とした5段階で評価した。

5.5 実験結果

各質問項目についての結果を図7に示す。グラフの値は回答結果の平均値を、エラーバーは標準偏差を示している。多くの質問項目について経験者、未経験者ともに高い評価を得ることができた。一方で、旋回時の挙動についての評価は高いとはいえず、経験者と未経験者で評価が分かれることとなった。

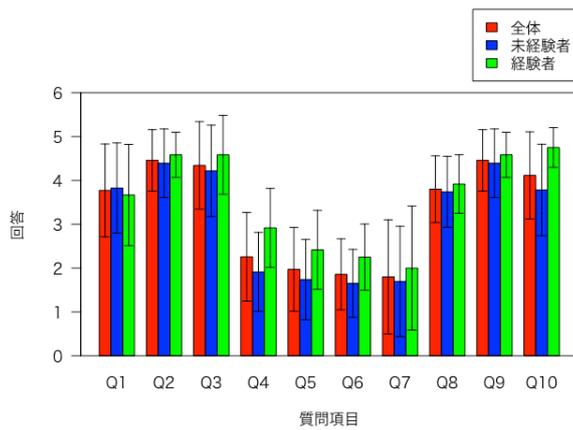


図7 質問項目に対する平均値

表2に未経験者と経験者の旋回に関する質問項目の検定結果を示す。検定にはウィルコクソンの符号順位検定を用い、 p 値が0.05を下回った時に有意差があるとした。この時、全ての項目で経験者と未経験者との評価に有意差が見られた。これは、旋回操作の際に未経験者は体重移動を行わないが、経験者は自身の経験から体重移動を行うことが原因と考えられる。

5.6 被験者のコメント

本システムの操作感については、経験者からは体重移動の未実装に触れたコメントを多く頂いた。「つい体重移動してしまうけど、体重移動の操作は出来なかったの。」「体重移動でコントロールしようとしている自分と、シミュレータの挙動が違った点」といったコメントを頂いた。また、「地面が動かなかったのが違和感があった」「自身の進んでいる感覚があまりなかった」「スピード感が感じられないので、スピード感があるとよいと思う。」「旋回中機体がある場で止まっていた」「前進している感覚があまりなかった」といった、機体が前進している感覚が得られないというコメントを頂いた。実験に使用した地形に木や建物が存在しないため、前に進んでいる感覚を得ることが難しかったと考えられる。

6 おわりに

本研究ではVRを用いたパラグライダー操縦技能訓練システムを作成し、旋回訓練、トラフィックルールについて主観的にその有用性を評価した。実験において、アンケート結果が有意に片方に振れていることが

確認できた。また、体重移動による旋回操作を実装していないことで、特に旋回導入時において経験者は未経験者よりも旋回挙動に違和感を覚えることがわかった。今後の課題として、体重移動による旋回操作の実装が考えられる。

参考文献

- [1] 公益社団法人日本ハング・パラグライディング連盟, JHF パラグライディング教本,(2010)
- [2] 模擬飛行装置等認定要領. <http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201710/00006742.pdf>, (Accessed on 12/10/2020).
- [3] Darryl N. Davis and Paul M. Chapman: Emerging Applications in Immersive Technologies, Encyclopedia of Artificial Intelligence, 536-540, (2008.July)
- [4] Vincent Rieuf and Amaury Solignac: InVRsion – Soaring through pixels,the Virtual Reality International Conference - Laval Virtual,(2018.April)
- [5] 西本林太郎, 岡本勝, 松原行宏, 岩根典之: HMDとトラッキングセンサーを用いたテニス練習支援システム, 第33回人工知能学会全国大会, (2019)
- [6] 津田直彦, 井村誠彦: VR技術を用いたフライ捕球訓練システム, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集, 973-974, (2017)
- [7] パラグライダー セーリング ウイング - Pixabayの無料写真. <https://pixabay.com/ja/photos/パラグライダー-セーリング-3789277/>, (Accessed on 12/10/2020)
- [8] 竹村治雄: VRによるパラグライダー飛行練習の可能性に関する考察, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, (2019)
- [9] LiveTrack24 | Home. <https://www.livetrack24.com>, (Accessed on 12/10/2020)

表2 旋回についての検定結果

質問項目	標本1	標本2	p値
旋回導入時の挙動の違和感	経験者の評価値	未経験者の評価値	$p < .01$
旋回中の挙動の違和感	経験者の評価値	未経験者の評価値	$p < .05$
旋回終了時の挙動の違和感	経験者の評価値	未経験者の評価値	$p < .05$