



パンケーキウィンドウ光学系の Meta Quest 2 カメラへの適応

Adaptation of Pancake Window Optics to Meta Quest 2's Camera

野倉 大輝¹⁾, 木島 竜吾²⁾
Daiki NOKURA and Ryugo KIJIMA

1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, nokura.daiki.i4@s.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜大学 工学部 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima.ryugo.n4@f.gifu-u.ac.jp)

概要: ビデオシースルーHMDにはカメラとユーザーの視点位置にずれがある。そのずれの解消のために、Meta Quest 2はステレオカメラからデプスマップを推定し、世界を再構成する方式を取っているが、近距離だと対応点が取れず歪んでしまう問題がある。そこで本研究では、Meta Quest 2にパンケーキウィンドウ光学系を装着し、視点を引くようにした。その結果、近距離における歪みの影響が小さくなること、Meta Quest 2のハンドトラッキング機能の性能が向上することを明らかにした。

キーワード: パンケーキウィンドウ光学系, Meta Quest 2, ハンドトラッキング, 歪み

1. はじめに

シースルーHMDとは、実世界の景色に仮想世界の映像を重畳して提示するHMD(Head Mounted Display、頭部搭載型ディスプレイ)である。重畳する方法は、光学式とビデオ式の2種類がある。前者は、ハーフミラーなどの光学系を用いて、実世界の景色と仮想世界の映像を重ねる方法である。一方、後者は、実世界の景色をカメラで撮影し、コンピューター上で仮想世界の映像を重畳し、その一体となった映像を提示する方法である。

1.1 先行研究

最近のHMD製品(例えばMeta Quest 2[1]など)では、ユーザーの視点とは無関係な位置に設置した複数のカメラからの多視点画像やLiDARからデプスマップを求め、そこに撮影した画像を投影して、レリーフ画像として外界の3次元形状を再構築する。そして、ユーザーの視点位置にカメラモデルを置いてレンダリングする方法が一般的である。また、ハンドトラッキング機能の水準も向上し、ポスチャー入力も実用的になりつつある。この方法の欠点は、特に近距離に手などがあると、手自身や、それで隠蔽された背景の対応点が取れず、表示されたレリーフ画像に歪みが見えることである。また、ハンドトラッキングも近距離ではうまく機能しない。

また別の方法として、Flamera[2]は、光線空間カメラと光線空間ディスプレイを組み合わせることでシースルーを実現している。この方法では光線空間カメラが視点付近の光線情

報を得て、光線空間ディスプレイでその光線を提示する。自然な方法ではあるが、撮像、提示共に大量の画素数が必要である。

1.2 本研究の目的

本研究では、Meta Quest 2にパンケーキウィンドウ光学系を装着することで近距離における3D世界の再構成やハンドトラッキングの精度を上げる方法を提案する。

筆者らは、パンケーキウィンドウ光学系をビデオシースルーHMDのカメラの前に設置することで、ユーザーの視点位置までカメラの視点を引くシステムを提案し、パンケーキウィンドウ光学系の迷光やコントラストを調べている[3]。Meta Quest 2は上で述べたように、近距離に手があがる場合に手や世界が歪む問題があり、筆者らは、双眼カメラ間で対応点が取れないことが原因ではないかと推察している。したがって、単純にパンケーキウィンドウ光学系をカメラと撮像空間の間に設置し撮影視点を引けば、この問題を軽減できるのではないかと考える。

2. パンケーキウィンドウ光学系

2.1 パンケーキウィンドウ光学系

パンケーキウィンドウ光学系[4](パンケーキ光学系)は、いくつかの光学素子を用いて、入射光線を光学系内で2回だけ反射させることで光路を伸ばし、実際の観察視点位置よりも後ろに視点を引くものである。最近では、ヘッドセットの厚みを薄くする目的でMeta Quest 3などの

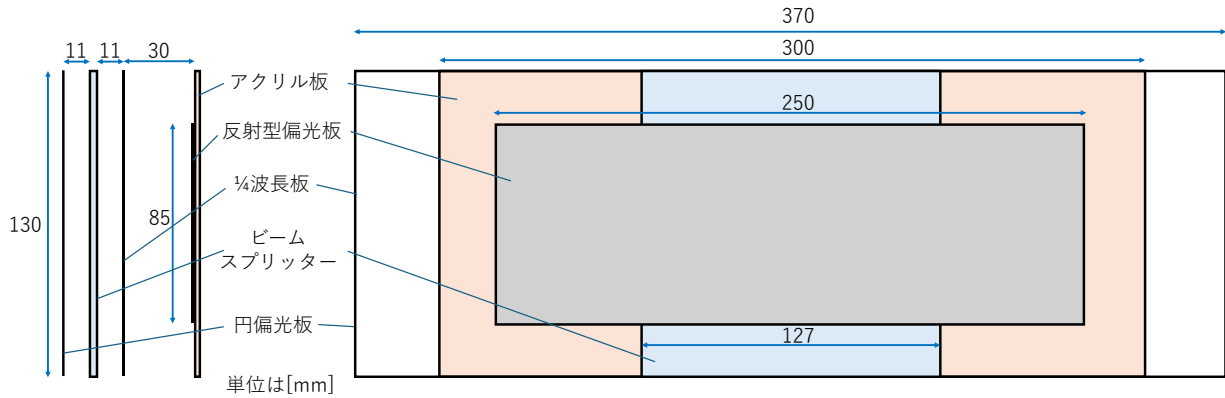


図 1: 制作したパンケーキウインドウ光学系の設計図 (左図: 側面図、右図: 正面図)

HMD の提示光学系に適用されている。

2.2 制作したパンケーキウインドウ光学系

制作したパンケーキウインドウ光学系の設計図を図 1 に、設計光路を図 2 に、使用した光学素子材料の諸元を表 1 に示す。

以下、動作原理を述べる。無偏光の入射光は、まず円偏光板を通して右回りの円偏光へ変換される。この光はビームスプリッターを透過し、さらに 1/4 波長板によって縦方向の直線偏光となる。もっともカメラ側にある直線偏光反射板 (反射型偏光板) は縦方向の直線偏光のみを反射するよう配置されているので、この直線偏光は反射される。この反射光は再び 1/4 波長板を通り右回りの円偏光となるのだが、ビームスプリッターで反射折り返しする際に、進行方向が逆になるため、左回りの円偏光となる。したがって 1/4 波長板によって今度は横方向の直線偏光となり、直線偏光反射板を透過する。

制作したパンケーキウインドウ光学系ではビームスプリッターと直線偏光反射板の間隔は約 4[cm]であり、視点は約 8[cm]引かれるはずである。図 3 に、このパンケーキウインドウ光学系の有無による撮像結果の違いを示す。撮影対象は光学系入射面から 20[cm]の位置、視線に垂直に置いた定規である。これより、設計通り視点を引いていることを確認できた。右図が暗いのは、円偏光板透過とビームスプリッター透過・反射で 1/2 ずつ光量が減少し、光量が計 1/8 まで減少するからである。

3. 実験

3.1 実験 1

制作したパンケーキウインドウ光学系を Meta Quest 2 の前に設置し、パススルー画像とハンドトラッキングに基づいてレンダリングされた手の CG 画像を撮影した。

実験に用いた配置を図 4 に示す。まず、机にシリコン製の実寸大ハンドモデルを置いて撮影対象とした。それを垂直に見下ろすようにヘッドセットを置き、その眼前にパンケーキウインドウ光学系を配置した。机とヘッドセット前面との距離は 50、100、200、300、400[mm]とした。対照のため、パンケーキウインドウ光学系と同じ大きさの光学素子がない枠を配置した状態での撮影も行った。なお、パン

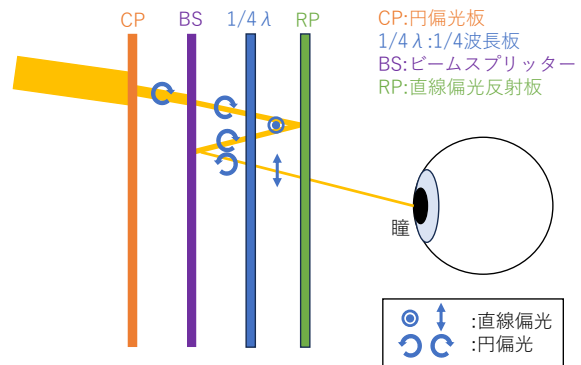


図 2: パンケーキウインドウ光学系の設計光路

表 1: 材料諸元

円偏光板	販売元	美館イメージング
	型名	CP125R
	タイプ	右回転
ビームスプリッター	販売元	Edmund Optics
	型名	#46-583
	寸法	127.0[mm]× 178.0[mm]
	R/T 比	50/50
	全厚	3[mm]
1/4 波長板	販売元	美館イメージング
	型名	MGR125
直線偏光反射板	販売元	美館イメージング
	型名	MLP-HCS-COP

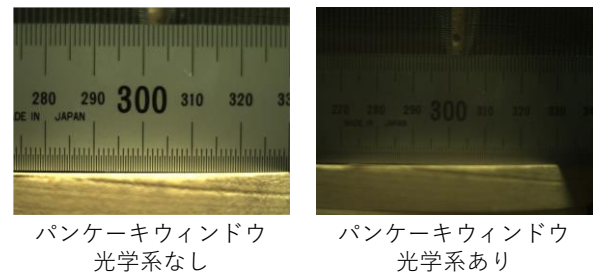


図 3: パンケーキウインドウ光学系の効果

ケーキウインドウ光学系を使用する場合、直線偏光反射板での反射によりヘッドセット自身が見えることが特に問題であったため、ヘッドセットの前にカメラの部分のみくり抜いた黒いプラスチック製の板を置いた。また、パンケーキウインドウ光学系ありの条件のみ、全体を暗幕で覆った。さらに、パンケーキウインドウ光学系による光量の減少を補うため、撮影対象には横から光を入れて調整した。撮影画像は、ヘッドセットのパススルー機能で実世界の景色を映し、右目のディスプレイに表示される映像である。

結果を図5に示す。どの距離においてもパンケーキウインドウ光学系を通すことで視点を引いた画像が得られて

いる。また、迷光による複像が発生しているが、ヘッドセットによる手の認識を乱すほどではなかった。手の歪みに注目すると、パンケーキウインドウ光学系の有無に関わらず、距離に近いほど歪みが大きくなっている。しかし、パンケーキウインドウ光学系ありの場合の方が、全体的に歪みが少なく見える。特に、距離100[mm]と200[mm]の模型の右手については、指の歪み具合の差が良く確認できる。

3.2 実験2

実験1で使用した手の模型にポーズをとらせ、同様に撮影を行った。結果を図6に示す。白い輪郭のついた黒い手は、ハンドトラッキングに基づいてレンダリングされた

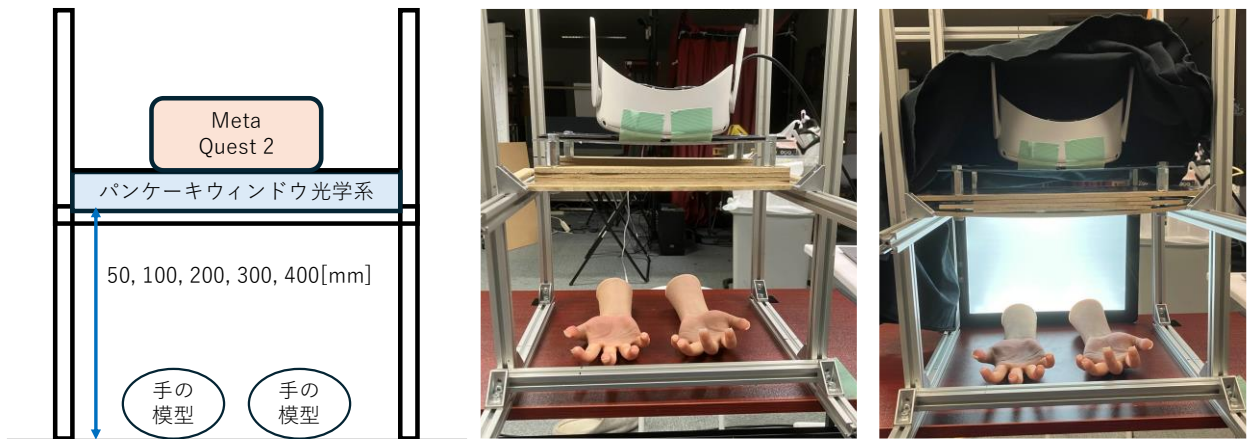


図4: 実験1の様子 (左図: 構成図、中央図: 光学系なしの場合、右図: 光学系ありの場合)

	パンケーキウインドウ光学系なし ハンドトラッキング表示		パンケーキウインドウ光学系あり ハンドトラッキング表示	
50 [mm]				
100 [mm]				
200 [mm]				
300 [mm]				
400 [mm]				

図5: 実験1の結果



図 6: 実験 2 の結果

CG、他の部分は撮影した実空間の画像である。パンケーキウィンドウ光学系なしの場合、ハンドトラッキングが崩れ、伸びているはずの指が曲がっているが、パンケーキウィンドウ光学系ありの方では実際の指の形状に近く、ハンドトラッキングはうまく機能している。

4. 結論

近年のビデオシースルーHMDでは、ステレオカメラからデプスマップを推定し世界を再構成する方式が一般的である。しかし、この方式だと近距離に手などの物体があると歪んでしまう問題、近距離でのハンドトラッキングが堅牢でない問題があった。これはカメラ間で対応点が取れないためであろうと考え、カメラと実空間の間にパンケーキウィンドウ光学系を挿入して視点を引くことで精度を向上させる方法を提案し、試作した光学系とVRヘッドセット Meta Quest 2 で検証した。

その結果、近距離における歪みは小さくなり、近距離におけるハンドトラッキング機能の性能が向上した。

参考文献

- [1] Gaurav Chaurasia, Arthur Nieuwoudt, Alexandru-eugen Ichim, Richard Szeliski, Alexander Sorkine-hornung : Proc. ACM Comput. Graph. Interact. Tech, Passthrough+: Real-time Stereoscopic View Synthesis for Mobile Mixed Reality, Vol. 3, No. 1, Article 7, May 2020.
- [2] Grace Kuo, Eric Penner, Seth Moczylowski, Alexander Ching, Douglas Lanman, Nathan Matsuda : Perspective-Correct VR Passthrough Without Reprojection, SIGGRAPH'23 Conference Proceedings, No. 15, pp. 1-9, July 2023.
- [3] 谷口和優, 野倉大輝, 木島竜吾 : 平行パンケーキウィンドウ光学系を用いたビデオシースルーHMDにおけるカメラと目の位置の一致, 信学技報, Vol. 124, No. 68, MVE2024-1, pp. 1-5, June 2024.
- [4] Joseph La Russa, Infinite Optical Image-forming Apparatus, 1966.