



**Oculusベストプラクティス**

## Copyrights and Trademarks

© 2016 Oculus VR, LLC. All Rights Reserved.

OCULUS VR, OCULUS, and RIFT are trademarks of Oculus VR, LLC. (C) Oculus VR, LLC. All rights reserved. BLUETOOTH is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners. Certain materials included in this publication are reprinted with the permission of the copyright holder.

# 目次

ベストプラクティスについて .....	4
両眼視、ステレオ画像、および奥行き手がかり .....	10
視野角とスケール .....	13
レンダリング技法 .....	15
動き .....	18
トラッキング .....	21
シミュレーター酔い .....	24
ユーザーインタフェース .....	32
ユーザー入力とナビゲーション .....	36
効果的なVRについての考察 .....	39
健康と安全のための警告 .....	40

# ベストプラクティスについて

VRは没入感を体現するメディアです。バーチャルな3次元世界(あるいは電子的に再現された現実世界)に完全に連れて行かれたかのような感覚を呼び起こします。さらにスクリーンベースのメディアと比べてはるかに衝動的な体験を提供します。脳を継続的に騙し続けるには、詳細な部分への細かな配慮が必要です。たとえば、部屋の窓を通して覗き見る内部の世界と、ドアの中に入って自由に動き回って実際に見る内部ぐらいの違いがあります。

## 概要

基本的なベストプラクティスを知らずに作り上げられた作品によるVR体験は、シミュレーター酔いを発生させ、眼疲労、方向感覚の喪失、吐き気などが組み合わされた苦痛を引き起こします。歴史的に、これらの問題の多くは、たとえばシステムの遅延などのVRハードウェア変数が、最適でなかったことに起因しています。Oculus Riftは新世代VRデバイスを代表するもので、過去のシステムの多くの問題を克服しています。しかし、たとえハードウェア実装に欠陥がなくとも、不適切に設計されたコンテンツにより不快な体験となることがあります。

VRはこれまで比較的難解で専門的な分野であったため、確固とした見解を示すには十分に研究されていない側面も多数あります。このような側面については、既知の理論や観測結果を提示し、研究途上であることを示しています。ワクワクする快適な体験を設計するにあたりユーザーテストは絶対に不可欠です。メジャーなメディアとしてVRが普及するにはまだ歴史が浅く、信頼できる確立された手法が十分あるとはいえません。当社の研究者はテストを積み重ねていますが、同時に調査できることには限界があります。この点についてはOculus Riftコミュニティの皆様がフィードバックを提供してくださることで、これらVRベストプラクティスおよび適切な手法を成熟させられることを切に願っています。



**注：**他のどのようなメディアでも言えるように、休憩なしの過剰な使用は、開発者、エンドユーザー、あるいはデバイスそのもののためにも推奨しません。

## レンダリング

- Oculus VRのディストーションシェーダーを使用してください。独自のディストーション(歪み)ソリューションを使用して近似すると、たとえ「あまり問題なく見える」ようであってもユーザーにとって不快感が生じる場合があります。
- 投影行列は完全に正しいものにし、デフォルトのOculus頭部モデルを使用します。頭部の動作に伴う現実世界の視線とのずれは小さな差異でも眼球運動の問題や身体的な不快感を引き起こします。
- バーチャルリアリティの没入感は開始から終了まで維持してください。ユーザーの視界に静的な画像を固定表示しないでください(ユーザーの頭の動きと連動しない全画面表示のスプラッシュスクリーンなど)。これらは、方向感覚を失わせてしまう可能性があります。
- それぞれの目の映像は視点のみが違うようにする必要があります。後処理エフェクト(例: ライトの歪み、ブルーム)は両方の目に一貫して適用して、正しく統合された映像となるように正しいz深度でレンダリングする必要があります。
- スーパーサンプリングおよびアンチエイリアスの使用により、外見上の低解像度などを解消してください。これらの低解像度は、特にそれぞれの目の中心部で影響が大きくなります。

## 遅延の最小化

- コードは最低でもRiftのディスプレイのリフレッシュレート以上のフレームレート、垂直同期、およびバッファなしで動作させてください。タイムラグやフレーム落ちはジャダーを発生させるため、バーチャルリアリティ内で不快感を感じさせます。

- 理想的には、運動-表示間遅延を20ms以下としてください(Riftの内蔵遅延テスターで測定できます)。コードを調整してセンサーフュージョン(Riftのセンサーの読み取り)からレンダリングまでの時間を最小化してください。
- ゲームループの遅延は定数値ではなく、時間の経過とともに変化します。SDKはいくつかのテクニックを駆使して(例: 予測トラッキング、TimeWarp)、ユーザーが遅延による影響を受けないようにしていますが、さまざまな体験間で遅延のばらつきを最小化するように、あらゆることを行ってください。
- SDKの予測トラッキングを使用し、関数呼び出しに対して正確な時間をパラメーターとして渡してください。予測トラッキングのパラメーターはアプリケーションの遅延により値が変化するため、アプリケーションごとにチューニングする必要があります。
- 遅延の最小化および適切なレンダリングのためのコーディング手法を決定する際には、OculusRoomTinyのソースコードを参照してください。

## 最適化

- 片目ごとのレンダリングバッファ解像度を低くして、ビデオメモリを節約し、フレームレートを増やすことができます。
- 表示解像度を低くすることはパフォーマンス改善につながると考えがちですが、実際に改善の効果をもたらすのは、片目ごとのレンダリングバッファ解像度です。表示解像度を維持しながら片目ごとのレンダリングバッファの解像度を低くすると、両方の解像度を低くする場合に比べて、視覚的な品質への影響をより低く抑えながら、パフォーマンスを改善できます。

## ヘッドトラッキングおよび視点

- 環境内でのユーザーの安定感を損なう視覚表現は避けてください。ユーザー環境の水平線あるいは大きな物体を現実世界の動作とは異なる方式で回転させたり移動させたりすることは(回転や移動が不足する場合も含め)、ユーザーにとって不快感を生じる場合があります。
- ディスプレイは、例外なく、常にユーザーの動きに応答する必要があります。メニューが表示されているとき、ゲームが一時的に停止されているとき、またはカットシーンが表示されているときでも、ユーザーが周囲を見わたせるようにする必要があります。
- SDKのポジショントラッキングと頭部モデルを使用して、バーチャルカメラの回転および移動の動きが、頭部と身体の動きと整合性をもって行われるようにする必要があります。差異が生じると、不快感が生じます。

## ポジショントラッキング

- レンダリングされた画像は、ユーザーの物理的な動きに直接対応する必要があります。バーチャルカメラの動きに関するゲインを操作しないでください。頭部モデル全体に対して一貫した拡大/縮小を行っても問題はありません(たとえば、フィートをメートルに変換する、またはプレイヤーを縮小または拡大するなど)。ただし、瞳孔間距離(IPD)との整合性を保たずに頭部運動を拡大/縮小しないでください。
- ポジショントラッキングを使用することにより、ユーザーは開発者が想定しなかったような場所(たとえば、対象物の下、岩棚の上、コーナーの周囲)に視点を動かすことができます。カリングやバックフェースレンダリングなどに関する手法を考慮してください。
- 特定の状況では、ユーザーはポジショントラッキングを使用して、バーチャル環境を突き抜けることができます(たとえば、頭部を壁または対象物の内部に侵入させるなど)。これまでの経験では、ユーザーはいったん頭部を対象物の内部に侵入させることが可能であることがわかると、そうすることでゲーム設計の裏をかける機会を認識しない限り、そのようなことは避けることが判明しています。いずれにしても、開発者は、カメラがジオメトリを突き抜けるのに対処する方法を考えておく必要があります。この問題に対する1つの解決法は、ユーザーがカメラのトラッキング範囲から離れていることを通知するメッセージをトリガーすることです(実際にはユーザーがカメラの視錐台の中にまだ存在していても)。

- ユーザーがポジションカメラのトラッキング範囲の縁に近づいたとき(近すぎないうち)に、そのことを示す警告を、ユーザーに提供してください。同時に、トラッキングを失うのを避けるためにユーザーが自身の位置を正す方法を示すフィードバックも提供してください。
- ユーザーがカメラのトラッキング範囲から離れた場合には、ポジショントラッキングが無効になっているので、Rift画面に表示されるバーチャル環境をそのままにしないことが推奨されます。トラッキングが失われる場合はその前に、画面を黒くフェードするか、画像を減衰させる(明度やコントラストを低くする)と、不快感ははるかに少なくなります。発生した事象とその解決方法に関するフィードバックを、ユーザーに必ず提供してください。
- ポジショントラッキングを加工したり無効にしたりすると、不快感が増します。そのようなことは可能な限り行わないでください。ポジショントラッキングが失われたときには、画面を暗くするか、少なくともSDKの頭部モデルを使用して、方向トラッキングを維持します。

## 加速

- 加速は視覚、(内耳の)前庭覚、および自己受容感覚との間で不一致を生じさせます。このような不一致の期間と頻度を最小限に抑えてください。加速はできる限り、短く(理想的には瞬間)、そして少ない頻度で行います。
- 「加速」とは正面にスピードアップするケースだけではありません。ユーザーのあらゆる動きの変化に当てはまります。減速したり停止したり、移動中または静止中に向きを変えたり、足踏みをしたり、横に押されたりすることも加速のパターンにあてはまります。
- 加速はできる限り必ずユーザーが発動して制御するものとしてください。カメラを揺らしたり、ガタガタ動かしたり、あるいはすばやく上下に動かしたりすると、プレイヤーは不快に感じます。

## 移動速度

- バーチャルリアリティでは固定位置から環境を眺めることがもっとも快適ですが、バーチャル環境の中での動作が必要な場合、ユーザーは一定速度で移動する場合が最も快適に感じます。ユーザーにとってバーチャル環境中の移動でもっとも快適となるのは現実世界での速度です。参考までに、平均的な歩行速度は1.4m/sです。
- 2つの地点間を歩かずにテレポートすることは場合により試してみる価値はありますが、不快になることもあります。もしテレポートする場合は、適切な視覚的サインをあらかじめ示したうえで、可能であればユーザーが向いていた方向をそのまま維持して行ってください。
- 移動方向と異なる方向を見ることは、方向感覚の喪失を生じる場合があります。ユーザーが移動方向と別の方向を見る必要性を最小化してください。特に歩行速度より速い場合はなおさらです。
- 垂直方向への振動は避けてください。0.2Hzの周波数で最も不快感が生じます。また、垂直方向への回転も避けてください。0.3Hzで最も不快感が生じます。

## カメラ

- カメラでズームインまたはズームアウトさせることはシミュレーター酔いの発症または悪化につながることがあります。特にカメラの動作速度が頭部の動作速度と異なる場合はなおさらです。今後の研究開発において、快適でユーザーフレンドリーな実装方法が見つかるまでズーム効果を使用しないことを推奨します。
- 第三者視点のコンテンツの場合であっても、アバターのしていることにかかわらず、カメラの加速や動作に関するガイドラインは同じく有効であることに注意して下さい。さらに、ユーザーは常に環境を見回せるようにする必要があり、このことはコンテンツのデザイン自体にも影響する場合があります。
- オイラー角の使用はできる限り避け、クォータニオンを使用することが推奨されます。真っ直ぐ上や下をみることでカメラのテストを行い、安定させるとともに常に頭部方向とカメラの方向が一致するようにしてください。



- 頭が揺れる(bobbing)ようなカメラ効果は避けてください。垂直方向に小さく連続的な不快感を生じる加速が発生します。

### シミュレーター酔いの管理およびテスト

- コンテンツのテストは偏りのないさまざまなユーザーで行い、幅広い客層にとって快適であるようにします。開発者自身は、テストに最も不向きです。繰り返しRiftに触れて、コンテンツに慣れることでシミュレーター酔いに影響を受けにくくなっており、初めてのユーザーと比べてコンテンツの不愉快感も気付きにくくなります。
- 酔いに対する人々の反応や耐性はさまざまであり、視覚による乗り物酔いに似た症状は、コンピューターやテレビ画面と比較すると、バーチャルリアリティヘッドセットの方が直ちに起きやすくなります。ユーザーは激しい体験を無理矢理乗り越えようとはしませんし、そうしてくれる事を期待すべきではありません。
- ユーザーが視覚体験の強度を調整できるメカニズムの実装も考慮してください。これはコンテンツ依存となりますが、調整することとしては移動速度、加速の大きさ、見えている視野の範囲の広さなどが含まれます。そのような設定のデフォルト値は強度の弱い体験とする必要があります。
- シミュレーター酔い管理に関連してユーザーが調整できるすべての設定について、ユーザーはリアルタイムで変更したいことがあります(たとえば、バーチャルリアリティに慣れたり、疲れたりするため)。できる限り、ユーザーがスタートからやり直しとなることなくゲーム内で設定変更できるようにしてください。
- ユーザーの実世界の慣性系と一致するような独立した背景(skyboxのように、コントローラーの入力では動かないが、ユーザーの頭の動きによって見渡せるもの)は、前庭器官で視界の不一致を減らし、快適さを増すことができます(詳しくは、付録Gを参照してください)。
- 高い空間周波数を持つ画像(例: ストライプ、高解像度のテクスチャ)はバーチャル環境における動きの知覚度を高め、不快感を生じさせます。敏感なユーザーにより快適な体験を提供するために、滑らかなテクスチャ(模様のある面よりは単色の面)を使う、あるいはオプションとして提供してください。

### ステレオ画像の奥行きについて(「3D表示の度合い」)

- パーソナライズされた現実味と正確な世界のスケール感を提供するには、SDKがユーザープロフィールを用いて提供する、顔中央から眼の距離の値を活用してください。
- 近くでみるとステレオ画像の奥行き知覚を強く感じるものの、距離が離れるとすぐに消失することに留意してください。遠くにある数マイル離れた2つの山が、机にある数インチ離れた2つのペンと同じ奥行き感を提供することがあります。
- バーチャルカメラ間の距離を大きくすることによってステレオ画像の奥行き感が改善されることがあるものの、副作用に注意する必要があります。はじめに、ユーザーは通常よりも視点を収斂させる必要があります、これに合わせてカメラから対象物を遠ざけない限り眼疲労につながります。2つ目に、頭部の動作を眼の間の距離に合わせてスケールしない限り、視界における違和感や不快な体験につながります。

### ユーザーインターフェース

- UIはバーチャル世界の3D部分である必要があります、理想的には視点から少なくとも2~3m以上離す必要があります。たとえユーザーの目の前に浮遊する平らなポリゴン、シリンダ、または球に描画された場合であっても同様です。
- UIを見るために眼球を回転させることが必要な状況が発生させないでください。理想的には、UIはユーザー視聴領域の中央1/3の範囲に収めてください。そうでない場合も、頭部の動作により確認できるようにする必要があります。
- 頭部の動作によりUI要素が移動したり拡大/縮小したりする場合は注意してください(たとえば、スクロールする長いメニューで頭を動かすことで読めるような場合)。ユーザーの動作に対して正確に確実に反応させ、気が散る動作や不快感を生じることなく容易に読めるようにしてください。

- インタフェース要素は3D世界において直感的で没入感を持つように考慮してください。たとえば、残り弾数は浮遊するHUD上ではなく、ユーザーの武器の上に表示されるようにできる場合があります。
- 照準線、目盛り線またはカーソルは、それらがターゲットにする対象物と同じ奥行き感で描画してください。そうしないと、目が焦点を合わせている奥行きの平面からそれらが外れるために、ぼやけたり、さらに(または)二重の画像として映ったりします。

## アバターの制御

- Riftを装着しているときは、ユーザー入力デバイスを見ることができません。ユーザーにはデフォルト入力方法として、使い慣れたコントローラーを使用できるようにしてください。キーボードがどうしても必要な場合、ユーザーは触覚によるフィードバックで(または、さまざまなキーを試行して)操作する必要があることを念頭に置いてください。
- 頭部の動作そのものを直接の操作方法として、または操作系に文脈依存性を導入する1つの方法として使う事も考えてみてください。

## 音声

- 音声を設計する際には、ヘッドフォンを使用する場合は出力音源がユーザーの頭部の動作に追従しますが、外部スピーカーを使用するときは追従しないことを念頭に置いてください。ユーザーがゲーム設定の中で出力デバイスを選択できるようにして、ゲーム内の音声が必要な場所から聞こえてくるように、頭部の位置と出力音源の相対的な位置関係を考慮してください。
- NPC (ノンプレイヤーキャラクター)の会話を中央あるいは左右のオーディオチャンネルで均等に出力することは一般的な実装方法ですが、VRでは没入感が失われる場合があります。粗くともオーディオを空間化することでユーザー体験を改善できます。
- 音響デザインではポジショントラッキングを考慮する必要があります。たとえば、ユーザーが音源に近寄った場合には、アバターが固定されているときでも、音声を大きくする必要があります。

## コンテンツ

- 距離に関して、現実世界における1メートルはUnityのおよそ1単位に相当させることが推奨されます。
- DK2 Riftの光学設計では、ユーザーの眼からの距離が0.75メートルから3.5メートルの範囲に対象物を配置することで最も快適になります。環境全体は任意の奥行きの範囲に配置できますが、ユーザーが長時間注視する対象物(たとえばメニューやアバター)は、前述の範囲に収める必要があります。
- 上記の快適な距離よりも近くにある対象物に眼の焦点を当てると、眼の水晶体の焦点が合わず、はっきりとレンダリングされた対象物がぼやけて見えるとともに眼の疲れが生じることがあります。
- 特に周辺部で明るい画像が使われると、敏感なユーザーにははっきりわかるくらいに表示のちらつきが起きます。可能であれば、このような不快感を生じさせないため、なるべく暗めの色を使ってください。
- ユーザーの身体を表現するバーチャルアバターの使用には賛否両論があります。ユーザーが肉体を持たない状態に比べて、VR体験において没入感を増し、ユーザーが地に足を付けているという安心感の助けになるという意見がある一方で、実世界の身体とバーチャルな身体の不一致が、普段では感じない感覚(たとえば、ユーザーは椅子に座ったままなのに、アバターが歩いているのを上から見下ろしたり、観察したりすること)を引き起こすとも言われています。自分の作品を設計するときは、これらの要素もよく考慮してください。
- 他のシステムと同様に、視覚的解像度やテクスチャのギザギサが問題となるところでは自身のアートワークのサイズやテクスチャに配慮してください(たとえば、非常に細いオブジェクトの使用は避けてください)。
- 予想しない垂直方向の加速、たとえば凸凹や起伏のある地形の上を歩く際の揺れなどは不快感を生じることがあります。歩く表面を平らにしたり、そのような地形を移動するときはユーザーの視界を安定させたりするなどの工夫を考慮してください。



- ユーザーが経験したことのない没入感を体験していることを意識してください。ゾッとさせるコンテンツや、ショッキングなコンテンツにより、過去のメディアでは実現できなかった度合いで、ユーザー(特に敏感なユーザー)に対して大きな効果をもたらす可能性があることに注意してください。そのようなコンテンツの存在をプレイヤーに対して事前に警告し、体験するかどうかを自分で選択できるようにしてください。
- コンテンツに奥行き効果を出すために、ステレオ3D効果だけに依存しないでください。照明、テクスチャ、運動視差(ユーザーの移動に合わせて対象物が動くように見える事象)、および他の視覚的な機能は、奥行きおよび空間の効果を出すために、等しく重要(あるいはより重要)です。これらの奥行き手がかりはステレオ効果の向きや強度と整合性が取れている必要があります。
- 環境や相互作用を設計する際には、正面を向いたままの横移動(Strafe)、後退、スピンなど不快なVR体験となりがちなアクションの必要性を最小限にとどめる必要があります。
- 人が一般的に頭や体を動かすタイミングは、現在焦点を合わせているものから視角が15~20度離れたものを注視するときです。ユーザーにそのような視界の移動を強制させることを避けて、筋疲労や目の疲れを予防してください。
- ユーザーはどんなときでもどのような方向も見ようとするのを忘れないでください。また、その際に没入感を壊すものは見せないでください(環境をレンダリングする際の技術的なトリックなど)。

## アバターの外観

- バーチャル体験を作成する際には、プレイヤーに、物理的な実体を持たない幽霊、または自身の身体とは非常に異なる身体としてバーチャル世界を体験させることもできます。たとえば、プレイヤーに、歴史的な人物、架空のキャラクター、漫画の主人公、ドラゴン、巨人、オーク、アメーバ、その他の考えつく限りのモノとなって、バーチャル世界を体験させることができます。このようなアバターを作成する場合も、快適性を保つためのベストプラクティスガイドラインに従い、ユーザーが直感的に制御できるようにする限りは、問題はありません。
- アバターがバーチャル環境内でプレイヤー自身を表す場合、プレイヤーが下を向いて自身のものとは大きく異なる身体や腕を身に着けていることに気付くと、没入感が損なわれてしまう可能性があります。たとえば、女性が下を向いて男性の腕や身体を身に着けていることに気付くと、没入感が失われる可能性があります。プレイヤーが腕や身体をカスタマイズできるようにすることは劇的に没入感を改善できます。この機能が開発プロジェクトに多額のコストや多くの複雑性を招く場合も、VRと現実世界の不一致を最小化する別の方法を採用できます。たとえば、アバターの目に見える部分では、あからさまに男性的または女性的な体の特徴を避けます。コンテンツのテーマに合致する手袋やユニセックスの衣装を身に着けることで、性、体のタイプ、および肌の色など、アバターのアイデンティティの観点で曖昧さを維持できます。

## 健康および安全

- Riftの使用に伴う注意事項(付録I)をよく読んで実践することで、自身、開発者、そしてユーザーの健康および安全を損なうことがないようにしてください。
- 1~30Hzの範囲での高いコントラストの点滅や色の交互変化は使用しないでください。光過敏性てんかんを持っている人々が、光過敏性発作を起こす可能性があります。
- 高いコントラストで高い空間周波数の格子(例: 微細な白黒の縞模様)を避けてください。この場合も、光過敏性発作を起こす場合があります。

# 両眼視、ステレオ画像、および奥行き手がかり

- 脳は、両眼の視点間の差を用いて奥行きを認識しています。
- テクスチャや照明などの、単眼性の奥行き手がかりも軽視しないでください。
- Riftでユーザーの目に映る最も快適な奥行きの範囲は、0.75mから3.5mです(Unityの1距離単位は1mに相当します)。
- バーチャルカメラ間の距離は、Oculus設定ユーティリティを使用して、ユーザーの瞳孔間の距離と同じ値に設定します。
- それぞれの目に映る画像が、正しく対応して統合されていることを確認します。片方の目にしか効果が現れていなかったり、両方の目で大きく異なっていたりすると、不自然に見えます。

## 基本

両眼視とは、同時に2つの視野で世界を見ているということです。それぞれの目の視野はいくらか異なり、脳がそれらを統合して、単一の3次元のステレオ画像にします。この体験がいわゆる立体視です。左目で見えるものと右目で見えるものの差により、両眼視差が生じます。立体視は、物理世界を異なる視野で見ているときにも、または適切な差(視差)がある2つの平面画像を見ているときにも生じます。

Oculus Riftは、少し離して設置された2つのバーチャルカメラで生成した2つの画像を、それぞれの目で見えるようにします。いくつかの用語の定義を説明します。2つの目の間の距離は、瞳孔間距離(IPD)と呼ばれます。バーチャル環境を写す2つのレンダリングカメラ間の距離は、カメラ間距離(ICD)と呼ばれます。IPDは52~78mm程度で個人差がありますが、平均IPD(約4,000人の米軍兵士を対象とした統計データに基づく)は、約63.5mmです。これはRiftの軸間距離(IAD)、つまりRiftのレンズ中央間の距離と同じです(本ガイドの改訂時点での定義)。

## 単眼性奥行き手がかり

立体視は、脳が処理する多くの奥行き手がかりの1つです。他のほとんどの奥行き手がかりは単眼です。つまり、1つの目のみで見たとしても奥行きが伝わるか、または両方の目で見ても平面画像に見えます。VRの場合、頭の動きによる運動視差を感じるのに立体視は必要ありません。しかし、奥行きを伝え、ユーザーに快適な体験を提供するには、運動視差は非常に重要です。

他の重要な奥行き手がかりには、次のものが含まれます。曲面透視(複数の直線は1点に収束するように伸びる)、相対スケール(オブジェクトは遠ざかると小さく見える)、遮蔽(近くのオブジェクトはより遠くのオブジェクトへの視界を妨げる)、空気遠近法(大気屈折特性により、遠くのオブジェクトは近くのオブジェクトよりもかすんで見える)、テクスチャ識別(反復パターンは後退すると一層ぎっしりと詰まって見える)、および照明(ハイライトとシャドウでオブジェクトの形と位置の認識を助ける)。現行世代のコンピューターにより生成されたコンテンツは、これら多くの奥行き手がかりを既に活用しています。しかし、ステレオ3Dの目新しさに光が当たる一方で、これらの重要性が見過ごされる可能性があるため、ここで取り上げています。

## Rift内での快適な表示距離

目をオブジェクトにしっかりと向ける(すなわち、見る)ときの目の快適さを理解するには、特に重要な2つの事項があります。それらは調節デマンドと輻輳デマンドです。調節デマンドとは、奥行き面に焦点を合わせる(これを「調節」と言います)ために、目のレンズの形状をどのように変化させる必要があるかを意味する用語です。輻輳デマンドとは、両目の視線が特定の奥行き面で交わるように、目をどの程度内側に向ける(寄り目にする)必要があるかを意味する用語です。現実世界では、これら2つは相互に強く関連しており、調節・輻輳反射という、目のレンズの調節度合いと両目の収束度合いが互いに影響することを示す用語もあります。

他のステレオ3D技術(3D映画など)と同じように、Riftは調整デマンドと輻輳デマンドを分離する、特殊な状況を作り出します。具体的には、調整デマンドは固定され、輻輳デマンドは可変となります。これは、ステレオ3Dを作成するための実画像が、光学的に必ず同じ距離のままで画面に表示されながら、それぞれの目に映る別の画像は、さまざまな異なった奥行き面のオブジェクトに視線が集まるように、目を動かすことが求められるからです。

見る側にとって不快を感じだすまでの調整デマンドと輻輳デマンドの程度は、それぞれ異なる可能性があることが研究されてきました[1]。DK2 Riftの現在の光学系は、画面を約1.3m離れたところで見ると等しくなっています(製作公差とRiftレンズの能力により、この数値は単なる概数となります)。目の疲れを防ぐために、ユーザーが長期間目を向けることがわかっている対象(たとえば、メニューや、環境内で関心が向けられるオブジェクト)は、約0.75~3.5mの範囲内でレンダリングする必要があります。

当然ながら、完全なバーチャル環境においては、この光学的に快適な範囲外にも様々なオブジェクトをレンダリングすることが必要です。ユーザーが長期間そのオブジェクトに目の焦点を合わせる必要がない限り、それらはほとんど問題になりません。Unityでのプログラミング時には、1単位は現実世界での約1mに対応します。このため、注意を向けるオブジェクトは、0.75~3.5の距離単位の位置に配置する必要があります。

継続的な研究と開発の一環として、将来リリースされるRiftでは、快適な表示距離の範囲を広げるように光学系が改善される予定です。ただし、この範囲がどれほど変わるとしても、2.5mが快適な距離となるはずですが。これはメニューやGUIなどのユーザーが長時間焦点を合わせる必要がある固定されたアイテムに対して、将来も問題なく見られることが保証される距離です。

未確認ではありますが、一部のRiftユーザーは、目のレンズがバーチャル画面の奥行き面に合わせて調節されていると、世界のすべてのオブジェクトに焦点が合っていることに不自然さを感じると述べているそうです。これは少数のユーザーにとって不快感や眼疲労を招く可能性があります。それらのユーザーは、目を適切に焦点に当てることが困難である可能性があるからです。

一部の開発者によれば、被写界深度エフェクトは、ユーザーが見ている対象が把握されているという状況では、没入感と快適さの両方を実現できます。たとえば、ユーザーが表示するメニューの背景に人為的にブラーをかけたり、調べるために持ち上げられたオブジェクトの奥行き面の範囲外にあるオブジェクトにブラーをかけたりすることができます。これは現実世界での視覚という自然な機能をシミュレーションするだけでなく、ユーザーがその焦点範囲外にある目立ったオブジェクトに目移りするのを避けるためにも機能します。

残念ながら、不合理、異常、または予測不可能な行動を取ることを選ぶユーザーを制御することはできません。VRユーザーによっては、オブジェクトが目の間近にある状態で、1日中眺めることを選択する可能性もあります。これが眼疲労を引き起こしかねないことはわかっていますが、この異例なケースを避けるための思い切った処置(ユーザーがオブジェクトに歩いて近づかないようにするための衝突検出の設定など)を取ったとしても、総合的なユーザー体験を損なうだけとなります。開発者の責任は、快適でないのが明らかな状況に、ユーザーが踏み込む必要性をなくすることです。

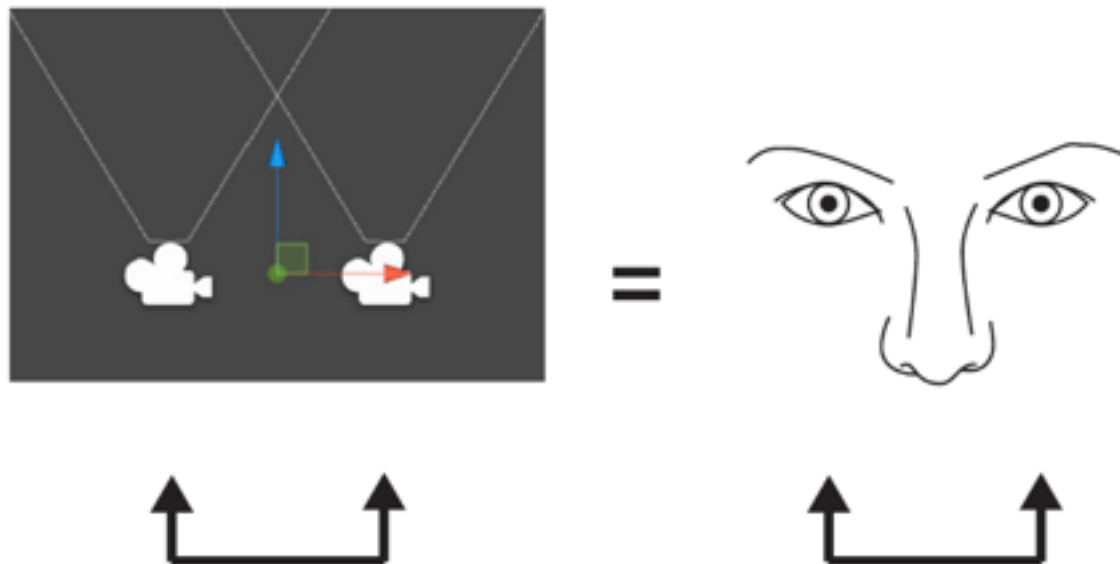
## カメラ間距離効果

カメラ間距離、つまり2つのレンダリングカメラ間距離を変更すると、ユーザーに大きな影響を与える可能性があります。カメラ間距離が広くなると、奥行きが誇張されるハイパーステレオという体験が生み出されます。狭くなると、奥行きは平板になり、この状態はハイポステレオと呼ばれています。カメラ間距離を変えると、ユーザーにはさらに次の2つの効果があります。まず、特定の物体を見るためにどの程度両目を内側に向ける(寄せる)必要があるかが変わります。カメラ間距離を長くすると、同じオブジェクトを見るときもユーザーはより強く寄り目にする必要があり、これは眼疲労の原因となることがあります。2つ目に、これはバーチャル環境内での自己のサイズについての感覚を変える可能性があります。2つ目の点については、後述の「付録」コンテンツ作成: ユーザーと環境のスケール」で詳細に説明しています。

バーチャル環境内で真に迫ったスケールと奥行きを実現するには、カメラ間距離をユーザーの実IPDに設定します。スケーリング効果を適用する場合は、それが頭部モデル全体に適用され、頭を動かす際にユーザーの現

実世界での知覚体験を正確に反映するようにします。距離に関係したすべてのガイドラインについても同様です。

左右の風景カメラ間のカメラ間距離(ICD)(図左)は、ユーザーの瞳孔間距離(IPD)(図右)と比例している必要があります。ICDに適用される倍率は、頭部モデル全体とこのガイドで示されている距離関連のガイドライン全体に適用される必要があります。



## 2つの画像の統合における潜在的な問題

現実世界では、それぞれの目がかなり異なった視点となるという状況にはよく直面しますが、一般にそのことはほとんど問題になりません。片目で物陰からのぞき見するということは、実世界の場合と同じようにVRでもできます。実際に、たとえば背の高い草に隠れている(実世界またはVRでの)特殊作業員であれば、それぞれの目の視点が異なることで利点が得られます。それぞれの目の視点が異なることで、草が目前にないかのように、草の「間」から周囲を見通せます。しかし、2D画面上のビデオゲームで同じことをすると、草の向こうにある世界は、視界から隠されてしまいます。

それでも、VRは(他のステレオ画像と同じく)、ユーザーにとって不快になりかねない、いくつかの不自然な状態を生じさせることがあります。たとえば、レンダリング効果(ライトのディストーション、パーティクル効果、ライトブルームなど)は、両方の目に正しい視差で映る必要があります。これが行われていないと、表示に影響を与える可能性があります。例えば、ちらつき/揺らぎ(片方の目にしか何かが映らない場合)、または間違った奥行きに浮遊して見える(視差が無効である場合、または、後処理効果が対象オブジェクトの持つ奥行きに対してレンダリングされていない場合)など。両眼視差に特有のわずかに異なる視点位置は別として、2つの目の間の画像が異なっていないことを確認するのは重要です。

複雑な3D環境では問題になる可能性は低いですが、画像を正しく統合して解釈する方法を脳が把握するために、ユーザーの眼が十分な情報を受け取っていることを確認することが重要になる場合があります。3Dシーンを構成するには一般的にラインやエッジで十分ですが、広範囲の繰り返しパターンは、目に映る画像が意図したものとは異なって統合される要因となることがあるので注意してください。奥行きによる目の錯覚(凹面が凸面に見える「ホロウマスク錯視」など)が、特に単眼性奥行き手がかりが不足しているような状況では、認識を誤らせる可能性があることにも注意してください。

[1] Shibata, T. Kim, J. Hoffman, D.M. Banks, M.S.(2011)。The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays (快適さのゾーン: ステレオ表示による視覚的不快感の予測)。Journal of Vision, 11(8)、1-29。



# 視野角とスケール

バーチャルカメラのFOV (視野角)は、可視表示領域のものと一致させる必要があります。一般的に、デフォルトのFOVを変更しないことをお勧めします。

FOVにはさまざまな意味があるので、正確性を期すため、用法をきちんと区別することから始めます。ディスプレイFOV (dFOV)は、ユーザーの物理視野角のうちVRコンテンツが占める部分を意味します。これはハードウェアおよび光学系の物理的な特性と言えます。もう1つのFOVとはカメラFOV (cFOV)であり、任意のタイミングでバーチャル世界の中でカメラがレンダリングする範囲を意味します。すべてのFOVは垂直、水平、および/または対角線上で測定される角度によって定義されます。

従来のスクリーンベースのCGではカメラのcFOVを自由に設定することができ、たとえば広角の魚眼レンズから狭角の望遠レンズまで設定できました。画面上でゲームを行うと、視覚誘導性の乗り物酔いに似た症状を経験することもあります[1]、ここでは、画像が視聴者の視野全体の内部にある対象物に限定されるため、多くのユーザーに影響を及ぼしません。コンピューターユーザーの視覚能力は、ディスプレイが置かれている部屋を見わたすことができ、ユーザーが頭を動かしても、一般的には、モニターがそれに反応することはありません。画像に没入感があるとしても、頭脳は画面上に表示されているものが本当に現実のものであると騙されることはありません。また、ほとんどの人にとって、cFOVとdFOVの違いは問題になりません。

バーチャルリアリティでは、外の部屋の景色は見えず、周囲の景観のほとんどはバーチャル世界で満たされます。このため、cFOVとdFOVが正確に一致する必要があります。これら2つの値の比率はスケールと呼ばれ、バーチャルリアリティでは、スケールは常に正確に1.0である必要があります。

Riftでは、最大dFOVは画面、レンズ、および目とレンズの間の距離により決定されます(目とレンズの間の距離が短くなるほど、dFOVが広がります)。設定ユーティリティはユーザーが見ることのできる最大dFOVを測定し、この情報はユーザーのプロファイル内に格納されます。SDKは、この情報に基づいて、dFOVに一致するcFOVを推奨します。



**注：**人によっては片方の目が他方の目よりスクリーンとの距離が近い場合があるため、それぞれの目が異なるdFOVを保有する場合がありますが、これは一般的なことです。

dFOVとcFOVが異なると、不快感が生じることが判明しています[2] (この件に関してさまざまな調査が行われており、異なる結果となったものもあります[3])。スケールが1.0とは異なる場合、ディストーション補正值により、レンダリングされたシーンが歪曲することがあります。cFOVを調整するとシミュレーター酔いが発生することもあり、前庭動眼反射(VOR)の不応答につながり、ひいては頭を動かす際に対象物に対する焦点が安定しなくなることもあります。この不応答によりVR体験の際にユーザーは不快に感じたり、Riftを取り除いた後の視覚運動機能が影響を受けたりすることがあります。

SDKによりスケールを変更せずにcFOVおよびdFOVの補正が可能です。これは、視覚画像の周りに黒い境界を追加することで実現されます。より小さな視覚画像を使用することで、レンダリングのパフォーマンスを向上させたり、特別なエフェクトとして見せたりすることができます。なお注意点として、40度の視覚画像を選択した場合、スクリーンの大部分は黒画面となります(これは仕様どおりでバグではありません)。もうひとつ特筆する必要がある点として、視覚画像のサイズを小さくすると、ユーザーは視覚画像が大きかったときよりも頭部をより大きく動作させる必要が生じるため、筋力の疲れやシミュレーター酔いにつながる可能性があります。

いくつかのゲームでは双眼鏡や狙撃スコープの焦点を合わせるために「ズーム」モードが必要です。これをVRにおいて実現することは非常にトリッキーであり、単純にズームを実装すると頭部運動と見かけ上の世界のモーションの連携が崩れて不快感を生じる場合があるため、多大な注意が必要です。この点については今後のブログ投稿やデモを見逃さないでください。

- [1] Stoffregen, T.A. Faugloire, E. Yoshida, K. Flanagan, M.B. & Merhi, O. (2008)。Motion sickness and postural sway in console video games (コンソールビデオゲームでの乗り物酔いに似た症状と姿勢の傾き)。Human Factors、50、322-331。
- [2] Draper, M.H. Viire, E.S. Furness, T.A. Gawron, V.J.(2001)。Effects of image scale and system time delay on simulator sickness with head-coupled virtual environments (頭部連動のバーチャル環境でのシミュレーター酔いに関する画像スケールとシステム時間遅延の効果)。Human Factors、43(1)、129-146。
- [3] Moss, J. D. & Muth, E. R. (2011)。Characteristics of Head-Mounted Displays and Their Effects on Simulator Sickness (ヘッドマウントディスプレイの特性とシミュレーター酔いへの影響)。Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society (米国人間工学会ジャーナル)、53(3)、308–319。



# レンダリング技法

特に細部を表示する場合は、Riftのスクリーン解像度に留意してください。テキストは読みやすいように十分大きく鮮明にし、ユーザーが注意を向ける部分には、薄いオブジェクトや装飾的なテクスチャを避けてください。

## 表示解像度

DK2 Riftは、1920x1080短残光有機ELディスプレイ(75Hzリフレッシュレート)を備えています。これはあらゆる面で、1280x720フル残光液晶ディスプレイ(60Hzリフレッシュレート)を備えているDK1を超えています。解像度が高くなるということは、画像がよりクリアで鮮明に見えるということです。短残光と高リフレッシュレートにより、DK1で見られた多くのモーションブラー(頭を動かした時に起こる残像)は取り除かれます。

グリッドピクセル構造を使用するDK1パネルは、ピクセル間のスペースにより、「スクリーンドア(網戸)効果」が生じます(網戸越しに見るのと似ているため)。一方、DK2は、ペンタイル構造で、ハニカム型効果が発生します。ディスプレイのサブピクセル別の独特の構造により、赤色でこの効果は大きくなる傾向があります。

レンズディストーション効果と組み合わせると、細かいイメージ(テキストや細かいテクスチャ)によっては、コンピューターモニターとRift内では異なって見えることがあります。開発中には、Riftでのアートワークやアセットの見え方を確認し、高いビジュアル品質を確保するために必要な調整を加えてください。

図 1 : DK1で見られたスクリーンドア(網戸)効果



## 表示のちらつきの理解と回避

短残光のDK2有機ELディスプレイには、長所と短所があります。モーションブラーを低減させるメカニズム(ミリ秒サイクルでスクリーン全体の輝度の明暗を切り替える)も、敏感なユーザーには表示のちらつきを感じる原因になります。90年代にブラウン管モニターに耐えた人々(そして実際には、現在の有機ELディスプレイパネルの一部のユーザー)は、表示のちらつきと、その潜在的な眼疲労につながる作用をご存知でしょう。

表示のちらつきは一般的にスクリーン全体、またはその一部の急激な明暗の「パルス」として認識されます。一部の人々はちらつきにきわめて敏感であり、結果として眼の疲れ、疲労、頭痛などが生じます。そうでない人々は、それに気付くこともなく、不健康な症状が生じることもありません。それでも特定の人が表示のちらつきを感じる可能性を高めたり低めたりする可能性があるいくつかの要素があります。

ユーザーがちらつきを認識する程度は、いくつかの要因の作用が関係します。ディスプレイが「オン」「オフ」モードで切り替えられる割合、「オン」時の発光量、網膜のどの部分が刺激されたか、さらには日中における時間帯や個人の疲労レベルでさえもこの要因に含まれます。

開発者にとって次の2つの情報は重要です。1つ目は、視界の中央より周辺部のほうがちらつきを感じやすくなるということです。2つ目は、スクリーン映像が明るいほどちらつきが大きくなるということです。特に周辺部が明るい映像(明るく白い室内に立っているなど)では、表示のちらつきが出るのがわかりやすい場合があります。特にプレイヤーの視点中央から外れた領域では、できる限り暗めの色を使用してください。

リフレッシュレートが高いほど、ちらつきは感じにくくなります。垂直同期あり、バッファなし、75fpsで稼働することが極めて重要であることの理由の1つはここにあります。時の経過とともにVRハードウェアの完成度が高くなれば、リフレッシュレートおよびフレームレートは75fpsを超える可能性は高くなります。

## レンダリング解像度

DK2のRiftの表示解像度は1920×1080です。しかし、レンズのディストーション(歪み)は、画面上にレンダリングされた画像が通常の表示となるように変換しなければならないことを意味します。変換のための適切なピクセル密度を提供するには、左右の目に、画面の半分の解像度よりも実際には大きなレンダリングされた画像を映すことが必要です。

このような大きなレンダリング対象を処理すると、一部のグラフィックカードではパフォーマンスの問題が生じる可能性があり、フレームレートの低下は質の低いVR体験の原因となります。表示解像度を下げることにはほとんど効果はなく、不自然な映像となる可能性があります。ただし、片目ごとのレンダリングバッファの解像度を下げると、パフォーマンスを向上させながら、認識されるビジュアル品質を維持することができます。

この処理の詳細は、SDKで説明されています。

## 動的にレンダリングされたインポスター/ビルボード

目からの距離が遠くなるほど、奥行き知覚を認識しにくくなります。視点から近いところであれば、立体視によって、机の上にある2つの物体のどちらのほうが近くにあるか、ミリ単位で判別できる場合もあります。視点から遠くなるほど、これは難しくなります。たとえば、公園の反対側にある2本の木を見て、どちらが近いかわたは遠いかを自信を持って判断するには、それらの木が数メートル以上前後方向に離れている必要があるかもしれません。さらに大きなスケールでは、たとえば山脈にある2つの山のどちらがより近いかを判断するには、それらがキロメートル単位で前後方向に離れている必要があるかもしれません。

奥行き知覚のこの相対的な感じ取りにくさを逆に利用して、マシンパワーを節約するために、3Dシーンを完全に作成せずに、「インポスター」(偽物)や「ビルボード」のテクスチャを使用するという方法があります。たとえば、遠くの丘を3Dでレンダリングする代わりに、丘の平坦な映像を、左右の目に映る映像に1つのポリゴンとしてレンダリングするだけで済ませることができる場合があります。これにより従来の3Dゲームで行われていたのと同じ方法で、VR環境で両方の目を騙すことができます。



**注：**インポスターの効果は、関係するオブジェクトの大きさ、それらのオブジェクトの内部および周辺の奥行き手がかり、それが出現する文脈によって異なることに注意してください[1]。インポスターの見た目や感覚が適切であることを確認するには、アセットの個別テストを実施する必要があります。目立たないように紛れ込ませるには、インポスターをカメラから十分に引き離し、実際のシーン要素とインポスターのシーン要素の間のつながりなどが没入感を損なっていないことを慎重に確認してください。

## 法線マッピングと視差マッピングの比較

「法線(ノーマル)マッピング」と呼ばれる技法は、特定の3Dモデルの頂点詳細情報を追加せずに、リアルな照明手がかりを提供することで奥行きとテクスチャを伝達する手法です。この技法は最新のゲームでは幅広く使用されていますが、ステレオ3Dで表示したときは効果が大幅に減少します。法線マッピングは両眼視差や運動視差を生じさせないため、オブジェクトモデルに描画された平坦なテクスチャと同じ種類の映像が生成されます。

「視差（パララックス）マッピング」は法線マッピングの考え方を踏襲しながら、法線マッピングでは生じない奥行き手がかりを生じさせます。視差マッピングは、コンテンツ作成者により提供された追加の高低マップを使用することで、サンプリングした表面テクスチャの座標をシフトします。テクスチャ座標のシフトは、シェーダーレベルで算出されたピクセル単位または頂点単位のビュー方向を使用して適用されます。衝突平面に影響しない、きめ細かなディテールを持つ煉瓦の壁や敷石の通路といった表面を描画する場合に、視差マッピングは最も効果を発揮します。

[1] Allison, R. S., Gillam, B. J. & Vecellio, E. (2009). Binocular depth discrimination and estimation beyond interaction space (相互作用空間を超えた両眼性奥行きの識別および推定)。Journal of Vision (ビジョンジャーナル)、9、1-14。

# 動き

- 最も快適なVR体験は、ユーザーが環境内を見回すために頭や体を動かす以外には、自己運動が存在しない種類のものです。
- 自己運動が必要な場合、新しいユーザーにとっては、比較的ゆっくりした移動速度(歩行/ジョギングのペース)が最も快適です。
- いかなる形の加速も、可能な限り短く、発生頻度を少なくしてください。
- ユーザーの動きとカメラは必ず同期する必要があります。
- 主観視点ゲームで頭を揺らす動作は使用しないでください。
- 可能な限り後ろ向きや横向きに移動しなくて済むように設計されている体験は非常に快適です。
- 画面の大部分を占める、階段や繰り返しパターンなどの、動きを強く意識させる状況に注意します。

## 動作の速度および加速

ここでいう「動作」とは、特にユーザーの現実世界での動きがVRにマッピングされた結果以外での、バーチャル環境でのあらゆる動きを指しています。動作や加速は、現実世界ではユーザーの体は止まっているのに、ユーザーのアバターがバーチャル環境内を(自分の足または乗り物で)移動することにより生じます。このような状況は、ユーザーの視界では空間上を移動していることが示されるものの、身体感覚(前庭覚や自己受容感覚)ではその逆が示されるため、不快な体験となることがあります。視覚のみに基づく、自己運動しているという錯覚は、ベクションと呼ばれ、シミュレーター酔いの主要な根本原因となっています[1]。

シミュレーター酔いを発症するまでの早さは、バーチャル環境内での動作のスピードに比例することがわかっていますが、その後の症状の強さや悪化率は速度と必ずしも関連しません[2]。可能な場合は必ず、デフォルト値、あるいはユーザー構成可能なオプションとして、動作のスピードを標準的な人間の移動速度に近いものとする(歩行は1.4m/秒、ジョギングは3m/秒)を推奨します。

VRコンテンツの場合、加速の視覚認識は、不快の主要な原因です。これは、人間の前庭器官が加速には反応するものの、一定している速度には反応しないために生じます。頭や体への実際の加速が伴わない状態で、視覚的にだけ加速を認識することは、不快の原因となる場合があります(詳細な説明については、シミュレーター酔いに関するセクションを参照してください)。

「加速」とは、ユーザーのバーチャル世界におけるあらゆる方向への、あらゆる速度の変化を表しうることに留意してください。通常は、加速は「前方向への速度の増加」と見なされますが、ここでは移動速度の減少または停止、止まった状態や移動状態からの回転、ひねり、傾き、横方向または縦方向への移動の開始(または移動の終了)なども含まれます。

より快適に感じるのは、時間をかけて徐々に変化する加速よりも瞬間的に変化する加速のほうです。加速の期間は五感の間で矛盾を感じる期間でもあるため、加速の頻度、大きさ、長さにより不快感が増加します。一般的には、加速の期間と頻度を最小限にすることを推奨しています。

## ユーザーによる自主的な制御

ドライバーが同乗者と比べて車酔いしにくいという事実と似て、動きに関するユーザーの自主的な制御権を増やすことで、シミュレーター酔いを防止することができます。乗り物に乗せて連れ出す代わりに、ユーザーが自分の足で動き回るようにします。また、ユーザーが殴られたり撃たれたりしたときにカメラを急に動かしたりしないようにします。これはモニター上では非常に効果的かもしれませんが、VRではひどく酔ってしまいます。同様に、ディスプレイを固定して、ユーザーの頭の動きに反応させないということは避けてください。運動錯視により不快感が生じる可能性があります。一般的に、ユーザーの動きとカメラの動きが同期しないことは、いかなる理由があっても避けてください。



研究によれば、ユーザーにこれから体験しようとしている視覚的な動きを予見または予兆するアバターを提供することで、心の準備ができて不快さが軽減されるということです。これは第三者視点のゲームでは予期せぬ利点であり、プレイヤーのアバターのアクションによってカメラが何をしようとしているのかを的確に予見できる場合(たとえば車がターンする、キャラクターが特定の方向に走り始めるなど)、ユーザーはバーチャル環境で近い将来に行う動作に対する心の準備ができて、より快適な体験ができるようになります。

## 頭揺れをなくす

一部の主観視点ゲームでは、カメラに緩やかな上下移動を適用して、歩行の効果をシミュレーションします。これはコンピューターまたテレビ画面で人間の動作として再現するには効果的かもしれませんが、没入感を伴うヘッドマウントVRでは多くのユーザーにとって問題となる可能性があります。常に上下する動作はユーザーの視界に適用される別の加速であり、既に述べたように不快感を生じさせることになります。頭を揺らすような動作、またはカメラの向きや回転などで、現実世界でユーザーの頭の動きに起因していない動きは使用しないでください。

## 正面および横方向の移動

現実世界では、わたしたちはじっとしているか、前方に動くことが多いものです。後ろに移動することは少なく、横移動するということはほとんどありません。このため、動くことが必須である場合、正面方向へのユーザーの移動が最も快適です。通常、人間は横向きに歩くことがありませんし、左右への横方向の移動はユーザーの目には見慣れないオブティカルフローパターンが映るため、問題となる可能性が高くなります。

一般的には、人間の動作に表れている力学を尊重すべきです。人が現実世界で移動できる程度には限界があり、設計はこのことを考慮すべきです。

階段(または急な坂)に登り降りすることも、不快な体験となる場合があります。不慣れた垂直方向の加速の感覚に加えて、階段の目立つ水平エッジ部分がディスプレイの視野の大部分を占め、すべてが同じ方向に移動します。これは、強烈なベクションを引き起こす非常に強い視覚体験となります。ユーザーは通常は、模様のついた壁または床に沿って歩くときにその壁や床を直接見るというようなまれな状況を除き、このような場面を見ることはありません。開発者には、坂や階段の使用は控えめにすることを推奨します。この警告は、強烈にベクションを生じさせる他の映像にも適用されます。たとえばエレベーターシャフトを上に移動させると、ユーザーの周りの(ライトまたはテクスチャの)縞模様が下向きに流れるといった映像などです。

開発者は、これらのガイドラインが実装においてどのように相互に影響し合うかを考慮するように強くお勧めします。たとえば、横方向や後方への移動を制御スキームから外すことは、理論上は理想的アイデアと思えるかもしれませんが、そのようにすると、同じ位置の変更をするために、ユーザーはより多くの動作をしなければなりません(回転して前を向き、もう一度回転するなど)。これにより、ユーザーは視覚上でより幅広い自己運動を強いられ、結果として、単に後方や横方向に歩くだけの場合と比べて、目にするベクションはより大きくなります。環境や体験は、こうした問題の影響を最小化するように設計する必要があります。

複雑なアクションを単純化することで、ユーザーが体験するベクションの程度を最小化することも検討してください。たとえば、障害物の避けて移動する際の操作の自動化や簡素化などです。ある調査では、2つの制御スキームとして、動作に3自由度(3DOF)を提供するものと6自由度(6DOF)を提供するもののいずれか1つを用いて、プレイヤーにバーチャル障害物コース内を移動させました。3自由度を提供する制御スキームは、ユーザーが制御できる範囲が少なく、したがってシミュレーター酔いが多くなってしまったように最初は感じられるかもしれませんが、実際には余計な視覚的移動を経験する必要がなくなったため、シミュレーター酔いの減少につながりました[1]。

これは、さまざまな種類のコンテンツや状況を対象とした総合的な推奨を行うことができないケースの1つです。ユーザー体験や快適さを最適化するためには、慎重な検討、ユーザーテスト、そして反復的なデザインが重要です。

[2]。Stanney、K.M.& Hash、P. (1998)。Locus of user-initiated control in virtual environments: Influences on cybersickness (バーチャル環境内でのユーザー始動制御の場所: 映像酔いの影響)。Presence (プレゼンス)、7(5)、447-459。



# トラッキング

バーチャルカメラのFOV (視野角)と視覚可能画面領域は、一致させる必要があります。一般的に、デフォルトのFOVを変更しないことをお勧めします。

- Riftセンサーにより、ユーザーのヨー、ピッチ、ロールに関する情報が収集されます。
- Rift DK2では、6自由度(6DOF)のポジショントラッキングが導入されています。
  - ユーザーが自分にとって快適な位置に原点を設定できるようにしてください。また、初期位置設定のためのガイダンスを与えてください。
  - ポジショントラッキングの無効化または変更を行わないでください。ユーザーが現実世界で移動してる場合はなおさらです。
  - ユーザーがカメラのトラッキング範囲から出そうな場合は警告を出し、トラッキング不能となる前に黒い画面にフェードさせるなどの処理を行ってください。
  - ユーザーは、ポジショントラッキングによりバーチャルカメラを事実上どこにでも配置できます。その際に、技術的なショートカットが表示されたり、環境を突き抜けたりすることがないようにしてください。
- ポジショントラッキングが利用可能でない状況では、SDKデモで利用できる「頭部モデル」コードを必ず実装してください。
- エンジンのパイプライン全体を最適化して、ラグおよび遅延を最小化してください。
- 遅延をさらに減らすには、Oculus VRの予測トラッキングコード(SDKデモで利用可能)を実装してください。
- 完全に遅延を避けることがどうしても難しい状況では、一定しないラグではなく一貫したラグが生じるように対応してください。

## 方向トラッキング

Oculus Riftヘッドセットには、ジャイロスコープ、加速度計、地磁気計が搭載されています。これらのセンサーから得られた情報を、センサーフュージョンと呼ばれる処理を経て組み合わせることにより、現実世界におけるユーザーの頭部の方向を判定し、ユーザーのバーチャルな視野をリアルタイムで同期します。これらのセンサーにより、ヨー、ピッチ、ロールの動きを正確にトラッキングして再現するためのデータが提供されます。

ユーザーの頭部と首の部分を非常にシンプルにモデル化することで、頭部の動作からのセンサー情報をカメラの動作に正確に変換するのが容易になりました。本ガイドでは、頭部モデルと表しますが、このモデルは、3方向への頭部の動作は、どれも実際にはほぼ首の位置(喉頭の辺り)を軸にした回転であるという事実に基づいて作成されました。これは、頭部の動作には、目の位置を変化させて運動視差を作ること、奥行き知覚と快適さの両方をもたらす重要な効果があることも意味します。

## ポジショントラッキング

Development Kit 2では、6自由度(DOF)のポジショントラッキングがRiftに導入されています。DK2の赤外線透過させる外装ケースの内部には、小型の赤外LED群が搭載されており、組み込みの赤外線カメラにより実空間でトラッキングが行われます。ポジショントラッキングはカメラのトラッキング範囲に入っている限り、常にユーザーの動作と1:1で対応している必要があります。プレイヤーの動作に合わせてポジショントラッキングの反応を増強することは、不快感につながる可能性があります。

SDKでは、いくつかの点やベクトルに基づき、空間におけるユーザーの頭部の位置をおおまかにモデル化して報告します。モデルは原点を中心にして定義されています。この原点は、ユーザーがカメラの前で楽な姿勢で座っているときの頭および首の回転軸の辺りを中心としています。

ユーザーが座っている位置やRiftのセットアップ方法に基づいて、頭部モデルの原点をユーザーがリセットできるようにする必要があります。また、ユーザーはゲームプレイ中に位置を変えたり移動したりすることがある

ため、原点をいつでもリセットできるようにする必要もあります。しかし、その際にユーザーが、カメラの前の最適な位置(体験中にトラッキング範囲を出ることなく自由に動ける位置)を見つけられるようにするためのガイダンスを何らかの手段で提供する必要があります。そうしないと、ユーザーはうっかりカメラのトラッキング範囲の境界に原点をセットしてしまい、移動した瞬間にポジショントラッキング不能となる可能性があります。そのためには、ゲームプレイとは別のセットアップツールやキャリブレーションツールを提供するなどの方法が考えられます。

頭部モデルは主に3つのベクトルから構成されます。1つのベクトルはおおよそユーザーの首の位置にマッピングされて、ポジショントラッキング空間の原点を始点とし、「目の中央」、すなわちほぼユーザーの鼻筋の位置を終点としています。残り2つのベクトルは目の中央を原点とし、片方は右目、片方は左目を終点としています。ユーザーポジションデータに関する詳細なドキュメンテーションは、SDKで確認できます。

ポジショントラッキングにより、より快適で没入感のあるゲームプレイの要素が新たに実現されます。プレイヤーは身を前に乗り出してコクピットのコンソールを見たり、壁の角から覗きこんだり、身をかがめて銃弾を回避したりなど、多くのことが可能です。

ポジショントラッキングは潜在的に大きな可能性を秘めているものの、新たに多くの課題ももたらします。まず、ユーザーはトラッキングカメラの表示領域から出ることができるので、ポジショントラッキング不能になる可能性があります。これは非常に不快な体験となるかもしれません(方向トラッキングは、DK1からの独自のIMU技術により、カメラのトラッキング範囲の中でも外でも機能し、新しいカメラに基づく方向・ポジショントラッキングを補完しています)。安定的で途切れることのない体験を維持するためには、ユーザーがポジショントラッキング不能となる前に、カメラのトラッキング範囲の境界に近づき始めた段階で警告を表示する必要があります。さらに、ユーザーに何らかのフィードバックを送り、カメラの前のトラッキングが可能な、より良い位置に移動できるようにアドバイスを提供する必要があります。

トラッキング不能となる前に、シーンを黒い画面にフェードさせることを推奨します。なぜなら、その方が移動中にポジショントラッキング不能となった状態で環境が表示される場合と比べて、方向感覚を失ったり、不快な視界となったりすることがはるかに少ないからです。SDKは、ポジショントラッキング不能となったときに、デフォルトでは方向トラッキングおよび頭部モデルを使用します。この対応により、DK1を使用する場合と同等の体験が再現されますが、ポジショントラッキングを期待して移動しているのにシーンのレンダリングがそれに反応しないことは、不快感を生む可能性があります。

ポジショントラッキングにより生じる2つ目の課題は、ユーザーがバーチャルカメラの位置を、過去には不可能であった不自然な位置に移動できるようになったことです。たとえば、ユーザーはカメラを移動させてオブジェクトの下を見たり、障害物を迂回して覗き込んだりすることができるようになり、従来のビデオゲームであれば隠されるはずの環境内の部分が見えてしまう可能性があります。一方で、これによって新たなインタラクションの手法が生じるという側面もあります。たとえば、物理的に移動して遮蔽物を迂回しながら覗き込む動作や環境にあるオブジェクトを観察するといった動作が可能になります。またその一方で、環境をデザインする際にポジショントラッキングがなければ通常は隠されるはずの技術的なショートカットが、ユーザーに見つかってしまう場合が出てきます。このように、アートやアセットによってバーチャル環境におけるユーザーの没入感が損なわれることがないように注意を払ってください。

もう1つの関連する問題は、ポジショントラッキングを使用すると、ユーザーが壁やオブジェクトに向かって体を前後に倒すことで、バーチャル環境を突き抜ける可能性があるということです。1つの対処方法は、ユーザーがカメラのトラッキング範囲にいる間はオブジェクトを突き抜けることができないように環境をデザインすることです。上記の推奨事項を遵守すると、ユーザーが何かを突き抜ける前に、シーンを黒い画面にフェードさせることになります。しかし、これはユーザーが視覚的な快適ゾーンである0.75~3.5mの範囲より近くまでオブジェクトに近づかないようにする方法と同様、見ている側からすると、すべてのものから遠ざけられて、透明のバリアーに囲まれているように感じるかもしれません。実験やテストを通して、ユーザビリティと快適さのバランスをとった最適な解決策を見つけることが必要です。

こうしたポジショントラッキングによる課題に対して新しい革新的な解決策を模索することを開発者に推奨する一方で、ユーザーからポジショントラッキングの方法を奪ったり、バーチャル環境が見えているときにポジショントラッキングの挙動を変更したりすることは、いかなる形でも推奨していません。バーチャル環境がポ

ジショントラッキングに対して反応しないこと(または違和感をもって反応すること)は、特に現実世界で移動したときにユーザーにとって不快な体験につながります。この課題に取り組むためにどんな方法を用いるとしても、何が起きているのかを適切にユーザーにフィードバックして、通常のインタラクションを取り戻せるようにする必要があります。

## 遅延

遅延とは、ユーザーの頭の動作が画面に表示される画像に反映されるまで(「運動-表示間」)の時間と定義されます。これにはセンサーの反応、センサーフュージョン、レンダリング、画像転送、そして画面レスポンスが含まれます。

遅延を最小化することは、没入感と快適性を持つVRにとって極めて重要であり、Riftが実現する低遅延のヘッドトラッキングは、まさに他のテクノロジーとの大きな差別化要因と言えます。ゲームの中で運動-表示間の遅延を低減すればするほど、ユーザーにとって一層没入感があり、快適なVR体験が実現されます。

遅延の影響に対処するアプローチの1つとして、予測トラッキングテクノロジーがあります。運動-表示間のパイプラインの長さを実際には縮めないものの、現在パイプラインにある情報を使用して、次にユーザーが見ると考えられる場所を予測します。この際に、センサーの読み取りから画面へのレンダリングに伴う遅延を考慮するために、センサーの読み取りが行われる時点でユーザーが実際に見ていた場所ではなく、レンダリングするタイミングにユーザーが見ると考えられる場所を予測して、その環境の該当する部分を画面に描画します。開発者には、SDKで提供されている予測トラッキングのコードを実装することが推奨されています。このしくみの詳細については、Steve LaValleのブログ記事である [The Latent Power of Prediction \(予測の潜在能力\)](#) を参照するとともに、関連するSDKドキュメンテーションをご確認ください。

Oculusでは、リアリティあるVRの実現には、20ms以下の遅延がボーダーラインになると考えています。ボーダーラインの値を超えると、ユーザーは没入感や快適さをそれほど感じられなくなります。さらに遅延が60msを超えると、頭の動作とバーチャル世界のモーションの分離により、ユーザーは同期していないように感じ始め、不快感と方向感覚の喪失につながります。遅延が大きいことはシミュレーター酔いの主要な要因となると考えられています[1]。快適さの問題を別にしても、遅延はユーザーの操作感や存在感に悪影響を与える可能性があります。理想としては、0msに近ければ近いほどよい、ということは疑う余地がありません。遅延が不可避の場合、遅延が一定しないと不快感が増します。この理由から、遅延はできる限り最小化し、可變的に発生しないことを目指す必要があります。

[1] Kolasinski, E.M.(1995). Simulator sickness in virtual environments (バーチャル環境におけるシミュレーター酔い) (ARTI-TR-1027). Alexandria, VA: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences (陸軍行動科学社会科学研究所)。参照元: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA295861>

# シミュレーター酔い

- 「シミュレーター酔い」はシミュレートされた環境の利用によって発生する不快感のことを指します。
- 視覚と体の感覚の相違が酔いの原因です。
- シミュレーター酔いの要因とその解決法の一部を以下に示します。
  - 加速度: 加速の強さと頻度を最小化してください。
  - 制御の度合い: ユーザーから制御を奪わないでください。
  - シミュレーター使用時間: ユーザーが休憩をとることを推奨してください。
  - 高度: 視野すべてを地面で覆うことを避けてください。
  - 両眼視差: 人によってはステレオ画像が不快な場合があります。
  - 視野角: バーチャル環境での視野角を小さくすると、不快感が大きくなる場合があります。
  - 遅延: 遅延を最小化してください。ラグやフレーム落ちはVRにおいて不快な体験です。
  - ディストーション補正: Oculus VRのディストーションシェーダーを利用してください。
  - 明滅: 明滅する画像や繰り返される繊細なテクスチャを表示しないでください。
  - 経験: VRの経験を蓄積することでシミュレーター酔いしにくくなります(これは開発者がテスターとして最悪であることを意味します)。
- 背景をプレイヤーの慣性系にロックすることにより、シミュレーター酔いが改善することが判明しています。
- VR体験をより快適なものにするために、現在、さまざまな方法が研究されています。
- 体験がどれほど快適であるかに関するデータを収集するための手段として、SSQを使用できます。

## 説明

シミュレーター酔いは視覚により引き起こされる移動酔いで、日常的な乗り物酔いとは決定的に異なります。多くの人々が知っている乗り物酔いは実際の移動(ボートの揺れによる船酔いなど)により引き起こされますが、シミュレーター酔いの主な不快感は、ユーザーが実際には移動していないにもかかわらず、シミュレートされた環境の視覚情報が移動の感覚を引き起こすことにより発生します。どちらの場合にも、視覚、前庭感覚(バランス感覚)、自己受容感覚(体の位置の感覚)の間に不一致が存在し、不快感を引き起こします。さらにシミュレーター酔いは、眼疲労などバーチャル環境の利用に特有の症状も含みます(体の不調を引き起こす原因とは必ずしも一致しません)。一部のユーザーが短時間のヘッドセット利用でシミュレーター酔いを感じる一方、まったくシミュレーター酔いを感じないユーザーも存在します。

シミュレーター酔いはユーザーと開発者双方にとって大きな問題です。ユーザーが極めて体験したいと思う非常に魅力的なコンテンツであっても、シミュレーター酔いの不快感を耐えたいと思うことはありません。そのため、シミュレーター酔いの原因を理解し、低減するための対策を講じることは極めて重要です。しかし残念ながら、シミュレーター酔い(に限らずすべての移動酔い)の真の原因は研究の途上にあります。シミュレーター酔いと多くの要因の間には複雑な因果関係があり、ある要因が不快感を発生させる場合もあればそうでない場合もあるので、不快感を真になくするためにはすべての要因に対処する必要があります。

シミュレーター酔いは多くの症状を示しますが、主な特徴は方向感覚の喪失(運動失調を含む)や、吐き気(自己移動の錯覚、すなわちベクションから生じると考えられている)、および眼球運動上の不快感(例: 眼疲労)です。これらは、シミュレーター酔いアンケート(Simulator Sickness Questionnaire: SSQ)[1]と呼ばれるアンケートの項目にも含まれており、バーチャル環境におけるユーザーの症候学的な研究に用いられています。



## シミュレーター酔いの要因

シミュレーター酔いが起きる原因を探しだすのは困難です。異なるユーザーは異なる体験をしますし、異なる種類の刺激に対する過敏性も様々ですし、症状が現れる時間も数分から数時間とさまざまです。VRデザイナーとして、長い時間VRに没入し、バーチャル環境にさらされていると、脳は(VRの)効果に敏感でなくなっていくます[2]。このため、VRに特化した開発者は他のユーザーよりもシミュレーター酔いにかかりにくくなります。コンテンツからユーザーが不快感を経験するかどうかを客観的に判断するには、VR初心者からフィードバックを得ることが非常に重要になります。

乗り物酔いのなりやすさの度合いは人により大きくバラつきがあり、シミュレーター酔いが起きやすい体験の強度と相関があります。[3]すなわち車両、遊具およびその他の状況で乗り物酔いを起こしやすい人は、Oculus Riftについても慎重に使用する必要があります。このマニュアル全体にある注意事項に気をつけることも役に立つでしょう。

次のセクションは、潜在的にシミュレーター酔いを引き起こすという調査結果が出ている要因を一覧しています。いくつかの要因では設計者が制御しにくいものもありますが、理解することで不快感を最小化することができます。また、ここの情報の一部は他のセクションとも重複しますが、このセクションはシミュレーター酔いにおける役割についてより詳細に説明しています。

## 動作の速度および加速

動作の速度はシミュレーター酔いになるまでの早さに比例しますが、必ずしもその度合いや増加度合いとは相関しません[4]。より遅い動作のほうが一般的により快適ですが、本当に気をつける必要があるのは加速です。それは、内耳の中の前庭器官が感じとる加速度です。前庭器官が感じないが視覚により感じられる加速度(直線であっても、任意の角度方向へのものであっても)は感覚不一致を生じるため不快感につながるがあります。同じ移動速度に達するのに、長い時間かけて徐々に加速するよりも、瞬間的に加速することで、快適性が増します。

不快感の増加度は加速の頻度、大きさ、時間の長さを変数とした関数と言えます。視覚的に認識されるどのような加速であっても、加速している間は感覚の間で不一致が発生するため、できる限り避けることがベストです。



**注：**前庭器官は等速運動には反応しないため、一定速度の動作では感覚の不一致はより小さくなることに留意してください。

## ユーザーによる自主的な制御

ユーザーからカメラの制御を奪ったり、ユーザーによって主導されたのではない方向にカメラを動かしたりすると、シミュレーター酔いを引き起こすことがあります。いくつかの理論は、体感する動きを予期して制御する能力が乗り物酔いを防止する役割を果たすことを示唆しており[5]、この原則はシミュレーター酔いにおいても同様であると思われます。したがって、ユーザーの制御とは異なる予想外のカメラの動き(あるいは動きの停止)は、不快感をもたらします。アバターがカメラの動作を予見できるようにすることで、ユーザーは視覚的な動作に対する準備ができるようになり、潜在的に体験の快適度が向上します[6]。

もしユーザーに見せる重要なイベント(カットシーンや重大な環境イベント)がある場合は、ユーザーの注視点を勝手に動かすことは避けて、代わりに、ユーザー自身が自分で注視点を動かすように促すサインを提供することを試みてください。たとえば、ノンプレイヤーキャラクター(NPC)に目標の方向を向けさせたり、効果音によってイベントの合図をしたり、目標の近くにタスクに関係のあるターゲット(敵やアイテムのような)を配置したりすることができます。

繰り返しますが、バーチャル環境ではユーザーの動きとカメラの動きを切り離さないでください。

## 期間

バーチャル環境により長く留まるほど、よりシミュレーター酔いを体験しやすくなります。ゲームはいつでも中断でき、ユーザーの都合の良いときにそのポイントから再開できるようにする必要があります。たとえばセーブポイントやアクションの休止を挟むことにより、適切なタイミングで休憩を提案することは、経過時間を忘れがちなユーザーへの良い合図になります。

## 高度

ユーザーの高度、すなわちユーザーの視点(POV)の高さは、シミュレーター酔いにおける間接的な要因となり得ます。ユーザーのPOVが低くなるほど、地平面の変化が高速になってユーザーの視界を占め、より激しい視覚の流れを引き起こします。これは不快感をもたらすことがあります。同じ理由で、階段を上することも、視野を覆う強烈な視覚の流れを引き起こし、不快なものとなります。

## 両眼ディスプレイ

両眼視差はRiftの根幹のひとつであり、奥行き手がかりを引き出すものですが、代償がないわけではありません。付録Cで説明しているように、ステレオ画像は、左右の目に1つの場所へ視点を収束させることを強いる一方で、目のレンズは別の場所に調節する(焦点を合わせる)ことを強いています。VRの中では奥行きを最大幅に活用できますが、ユーザーが長い時間注目するメニューや第三者のアバターなどのコンテンツは、0.75から3.5のUnity単位(メートル)の中で配置する必要があります。

一部の人はステレオ画像を見ることに不快感を覚えます。研究により、映像の間の視差の度合いを減らし(つまり、カメラ間距離を小さくして)、モノスコピック[7](カメラ間距離がゼロ)またはマイクロステレオスコピック[8](つまり、小さなカメラ間距離)な画面を作成することにより、体験をより快適にできることが示唆されています。Rift内では、IPDのあらゆるスケール変更は頭部モデル全体に適用される必要があります。

他でも言及されているように、Rift内ではカメラ間距離を設定ツールから得られるユーザーのIPDと同一になるよう設定し、実際の奥行き感およびスケール感を実現する必要があります。目の間の距離(カメラの距離)にスケールを適用した場合はそれを頭部モデル全体にも適用して、頭部の動作をバーチャルのレンダリングカメラの適切な動作と連動させる必要があります。

## 視野角

視野角には2種類あります。ディスプレイに対する視野角の領域(このガイドで「表示視野角」またはdFOVと呼ぶ)と、グラフィックエンジンがディスプレイに描画するバーチャル環境の領域(「カメラFOV」またはcFOVと呼ぶ)です。

動きの知覚に関する2つの理由により、dFOVが広いほど、シミュレーター酔いを引き起こす可能性が大きくなります。まず、動きの知覚は周辺においてより敏感であるため、特に周辺領域のオブティカルフローと微妙なちらつきの両方から影響を受けやすくなります。次に、dFOVが広い場合にその全体が使用されると、狭いdFOVに比べてより多くの入力が見覚系に与えられます。そのような多くの入力はユーザーに動いている感覚を与え、身体(平衡感覚と自己受容感覚)との間で不一致を発生させ、不快感を発生させます。

dFOVを小さくすることで、シミュレーター酔いを軽減できますが[9]、Riftの没入感と状況認識もまた減少します。それでも構わないと考えるかもしれない、シミュレーター酔いに敏感なユーザーに対応するには、dFOVの調整機能を提供すると良いでしょう。画面上のコンテンツの視認性が、dFOVの調整により悪影響を受けないように注意してください。

同じ理由により、コックピットや乗り物の車体を使って、ベクションを引き起こす周辺風景の動きを遮ってしまうと、同じようなメリットがもたらされることがあります。なお、ユーザーにとって見える環境の範囲を小さくすると、状況認識を維持するために頭やバーチャルカメラをより大きく動かすことが必要になるので、結果的に不快感を増大させてしまう場合があります。



cFOVを調整すると、頭の動きに対してバーチャル環境が不自然に動くことがあります(たとえば、もし10度の頭の回転が、現実においては通常15度の回転が必要なはずのバーチャル世界の回転をもたらした場合)。不快な体験となることに加えて、これは、前庭動眼反射(VOR)のゲイン適応と呼ばれる、一時的ながら不適応な状態をもたらすこともあります[10]。人の目と前庭器官は、通常、物体を注視し続けるために、頭を動かす間にどれほど目を動かす必要があるかを定めるため協調して働きます。バーチャル環境により反射運動が注視を維持できなくなる状態が引き起こされた場合、Riftの使用中小および使用後に不快な目の再調整現象が発生する可能性があります。

## 遅延およびラグ

開発者はシステムの遅延の多くの部分について制御できませんが(たとえばディスプレイの更新頻度やハードウェア遅延など)、最小要求スペックを満たすシステムでのVR体験において、遅延やフレーム落ちが発生しないようにする必要があります。多くのゲームは、たくさんの、あるいは複雑な要素を処理してレンダリングすると、処理落ちを引き起こします。これは従来のビデオゲームにおいてはささいな苛立ちですが、VRのユーザーには強烈な不快感として影響することがあります。

遅延の影響に関する過去の研究では、さまざまな結果が報告されています。多くの専門家は、シミュレーター酔いを低減するために遅延を最小限にすることを推奨しています。なぜなら、頭の動きと対応するディスプレイの更新の間のラグは、感覚不一致や、前庭動眼反射のエラーを引き起こすためです。このため、遅延をできる限り最小化することが推奨されます。

注目すべき点として、ヘッドマウントディスプレイに関する一部の調査は、遅延が48ms程度であっても300ms程度であっても、遅延の長さが固定されている限りにおいては、同じ程度のシミュレーター酔いが発生することを示唆しています[11]。一方、コックピットや自動車運転のシミュレーターにおける可変で予測できない遅延は、平均時間が長くなるほど不快感を増大させます[12]。これは、人間は予測可能で一貫性のある少しのラグには慣れるが、変動する予測不可能なラグは平均時間が長くなるほど強い不快感を感じることを示しています。

それでも、遅延(および、その他の現実世界とVRの差異)に適応するのは不快なプロセスですし、Riftを外した際に現実世界に戻るための再適応で更なる不快感を感じる原因にもなります。その経験は、客船に乗り降りする状況に似ています。一定期間船のゆれによる船酔いを経験した後は、多くの人は、定期的な振動運動に慣れ、船酔いは治まります。しかし、陸地に戻ったときに、多くの人は新しい環境に再度慣れるために、「陸酔い」の症状を経験します[13]。

VRに出入りするときのそのような体の調整の必要性は、少なければ少ないほど良いでしょう。開発者はDK2の内蔵遅延テスターを使用して運動-表示間遅延を計測し、可能な限り短く一貫性を持たせるよう努めてください。詳細については、SDKに付属のドキュメントを参照してください。

## ディストーション補正

Riftのレンズはディスプレイに表示される画像を歪めますが、これはSDKが提供するポストプロセスのステップによって補正されます。ディストーション(歪み)を補正する操作は、SDKのガイドラインと提供されているサンプルデモに従って正しく行うことが極めて重要です。ディストーションが適切に補正されていなくても、人の目には「なんとなく正しく見える」こともあります。それでもなお、感覚の混乱と不快感を引き起こします。このため、細部にわたって注意を払うことが非常に重要です。すべてのディストーション補正の数値は物理デバイスと一致する必要があります。これらはユーザーが一切調整できないようにしてください(SDKデモでは数値を変更出来ますが、それはただ内部で何が起きているかを示すために変更可能としてあるだけで、変更することに意味があるからそうになっているわけではありません)。

私たちはディストーション補正の設定をRiftの光学系にあわせて注意深く調整しており、補正の調整をさらに向上させる方法の研究を続けています。Riftでコンテンツを正しく表示するため、すべての開発者は、Oculus VRの公式なディストーション補正の設定を使用しなければなりません。

## ちらつき

ちらつきは、眼球運動にまつわるシミュレーター酔いの大部分を引き起こします。これは高い輝度レベルによって悪化し、視野の周辺において最も強く認識されます。ちらつきは時間とともに意識的には認識されなくなりえますが、それでもなお頭痛と目の疲れを発生させます。

有機ELディスプレイはVRに多くの利点をもたらしますが、CRTディスプレイと同様のちらつきも、ある程度発生します。人それぞれで感度は違いますが、DK2の75Hzのディスプレイパネルは、大多数の人がちらつきを感じない程度に高速です。今後のバージョンではより高いリフレッシュレートとなり、したがって、更にちらつきを感じにくくなります。これは開発者の責任の範囲外ですが、完全を期してここに含めています。

あなたの責任としては、意図的にちらつくコンテンツを制作することを控えてください。高いコントラストの点滅(あるいは高速な変化)の刺激は、とりわけ1~30Hzの範囲では光過敏性てんかんを持っている人々に光過敏性発作を引き起こす可能性があります。これに関連して、規則的なパターンが多いテクスチャ(細かい白黒の縞模様など)も、てんかんを持つ人々に光過敏性発作を引き起こす可能性があります。

## 利用体験

バーチャル環境に慣れ親しむに従って、シミュレーター酔いが起きにくくなります[14]。この効果の仮説として、(無意識のうちに)習得したメカニズムにより、VRの新たな体験にユーザーがよりよく対処できるようになることが挙げられます。たとえば、脳は以前には不快感を生じた視覚的な異常を再解釈することを学習しますし、ユーザーの動作はより安定して、ベクションを避けるのに効果的な動きとなります。良い面としては、開発者はヘビーユーザー向けに強力に視覚的な体験を設計することに対して遠慮する必要はない、ということです。逆に悪い面としては、大多数のユーザーはRiftおよびゲームに順応して体験を楽しむことができるまでに時間がかかるということです。

これはいくつかの重要な点につながります。1つ目として、自ら開発したゲームを繰り返しテストした開発者は新しいユーザーと比べてシミュレーター酔いに耐性ができるため、シミュレーター酔いのしやすさの異なるさまざまな初心者ユーザーに対して、体験が実際に快適であるかどうかをテストする必要があります。2つ目として、初心者ユーザーにいきなり強烈なゲームを体験させることは避け、最初はより穏やかでゆっくりとした体験を通して、ゲームの世界に入りやすくしてください。より良い方法としては、このガイドで推奨事項として説明されているように、体験の強度をユーザー自身が調節できるようにするオプションを実装してください。3つ目として、ゲームが強烈なバーチャル体験を実際に含む場合、ゲームコンテンツに関する警告をユーザーに通知することで、ユーザーが最も体調の良いときに楽しめるようにしてください。

## シミュレーター酔い対策

### プレイヤー固定の背景(別名、独立した視覚的背景)

シミュレーター酔いの研究論文により、VRコンテンツに実装できる、シミュレーター酔いを減少させる視覚的な手法が少なくとも1つは確立されています。実験では、人々を「独立した視覚的背景」と呼ばれるものがあるバーチャル環境、またはないバーチャル環境のいずれかに配置して、シミュレーター酔いの発生度を比較しました[15]。独立した視覚的背景は、グリッドやスカイボックスなどの簡単な図案から構成され、シミュレーター内の主要なコンテンツから見通すことができる背景ですが、ユーザーがいる安定した現実世界の環境の挙動と一致した挙動を見せます。例を挙げると、ドライブシミュレーターでは、通過する地平面、樹木、およびビルの動きを通して、環境内で移動していることを示します。しかし、いくつかの雲を含むスカイボックスは、独立した視覚的背景として機能するため、たとえ車が曲がってもユーザーの前で固定されています[16]。独立した視覚的背景を持つバーチャル環境を使用することは、独立した視覚的背景を持たない一般的な動作を示す背景と比較して、シミュレーター酔いを著しく減少させることがわかってきました。

視覚と前庭感覚が整合性を保っているという解釈が脳の中で形成されることにより、通常は不快感につながる感覚不一致が解消されます。すなわちユーザーは事実、背景の環境とともに静止しており、前景の環境の方がユーザーの周りを移動していることになります。

Oculusが行った実装では、プレイヤーに固定されたスカイボックスがあり、プレイヤーが動き回るメイン環境よりも遠い位置にレンダリングされます。予備実験の結果から、現実的なもの(海、水平線、雲の多い空)から人工的なもの(グリッド付きの黒い箱)までのさまざまな背景のタイプで、これは有効であることが判明しています。プレイヤーがコントローラーまたはキーボードにより前景環境内で移動または回転を始めるやいなや、遠くの背景がプレイヤーの体の位置に対して固定されていることに気づきます。しかし、頭を動かすことにより、いつでも背景を見回すことができます。総合的な効果として、プレイヤーは背景により作りだされた巨大な「部屋」のようなものの中にいる気持ちとなり、主要な前景の環境が自分の周りを動いているだけであるかのように感じます。

この手法は様々なテクノロジーにおいてシミュレーター酔いを減少させるのに有効であることがわかっており、Riftも例外ではありません。しかし、この手法も万能なわけではありません。シミュレーター酔い削減効果は、2つの要素に依存します。背景が見えていることと、背景が前景からどれだけ離れているかをプレイヤーが知覚できる度合いです。すべてのバーチャル環境が、屋外などの、プレイヤー固定の背景を違和感なく見渡せるような環境であるとは限りません。

これらの現実的な制約事項から、私達は、ある方法で、グリッド線付きの「部屋」をあらゆる環境に適用することを試みました。それは、部屋パターンを半透明なオーバーレイとして適用し、その際グリッドがはるか遠くに離れていることを示す奥行き手がかりとして、両眼視差と空気遠近法(たとえば、フォグ)を利用する、という方法です。この方法は全般的には有効ですが、潜在的にユーザーの没入感を損なう可能性があります。加えて、グリッドが目と前景環境との間にあるとプレイヤーに認識してしまうような奥行き手がかりが存在すると(グリッドを不透明にするなど)、すべてのメリットが失われてしまうことが判明しました。

それでも、この手法を正しく使用すれば、開発者はプレイヤーに対して快適性を最大限維持しながらより幅広い体験を提供できるようになります。また、ユーザーがバーチャル環境に慣れるのにも役立ちます。プレイヤーは初めてコンテンツを体験するときには固定された背景を有効にし、慣れるに従って、固定された背景を無効にするかその効果を減らすことができます。最も魅力的なVR体験であっても快適に楽しむことができないが無意味です。プレイヤーに固定された背景を使用することにより、ユーザーの裾野を広げることができ、この工夫をしなければコンテンツを体験できないような敏感なユーザーにも受け入れてもらえるようになります。独立した視覚的背景をコンテンツで効果的に実装できる場合は、プレイヤーが設定できるオプションとして実装することをお勧めします。

## 新たなアプローチ

開発者たちは、コンピューター画面での従来のゲーム体験をVRでも同じように快適にするための手法を模索し始めています。次に紹介するのは、これまでに開発されてきたいくつかの手法です。特定のコンテンツに適合しない場合や効果のない場合もありますが、検討の対象として活用できるよう紹介します。

移動はベクシオンを発生させ、結果として不快な体験につながるため、一部の開発者はさまざまな手法によるテレポート効果を使用して、プレイヤーを空間上で異なる位置に瞬間移動させる手法を実験してきました。この手法はシミュレーター酔いを減少させるのに有効である可能性がありますが、ユーザーは方向感覚を失って混乱する可能性もあります[17]。

カメラを操作することによってユーザーが体験するベクシオンの度合いを減少させることはできないかという研究も行われています。「テレポート」モデルの代替策として、ユーザーの視点を主観視点から環境を見渡す「神の視点」へと切り替え、その中にユーザーのアバターを配置する方法があります。プレイヤーは新しい位置へとアバターを移動させ、そこで、「神の視点」から再び(新しい位置での)主観視点に戻ります。

さらに別のアプローチでは、ユーザーがバーチャル環境で方向転換する方法に注目しています。スムーズに旋回する代わりに、コントローラーの左か右のボタンを押すことにより意図した方向にカメラが固定角度(たとえば30度)だけ瞬間的に旋回します。この方法の重要な点は、ユーザーが方向転換時にさらされるベクシオンの度合いを最小化することであり、混乱を避けるために一定で予測可能な動作を作り出すことです。



**注：**このセクションで述べてきたすべての手法は不快な体験を減らすために、バーチャル環境における、より実際に近い「現実的な」体験を犠牲にしています。これら手法のうちのどれを実装するかは開



発者自身の判断に任せられますが、コンテンツが快適なほど、多くのユーザーが利用し、大きな実利につながることを心に留め置く必要があります。現実的であることを最大化するか、または快適な体験であることを最大化するかの妥協点として、開発者は、これらの手法を有効または無効にできるユーザー設定可能なオプションとして提供することができます。不快感を覚えにくいユーザーはより実際に近い体験を選択できますし、敏感なユーザーはコンテンツを楽しむためのオプションを有効にできます。

## 測定方法およびテスト手法

シミュレーター酔いの測定と評価には幅広い手法が用いられてきました。より技術的な側面からは、電気皮膚反応、脳波図、胃筋電図、および姿勢の安定性といった間接的な測定も行われてきました。研究論文の中でおそらく最も頻繁に使用されている手法は、シミュレーター酔いアンケート(SSQ)と呼ばれるシンプルなサーベイです。

他のアンケートと同様に、シミュレーター酔いアンケートにも、自身の精神や身体の状態に関して回答者自身が判断して報告した内容の有効性に関して、本質的な制約があります。ただし、シミュレーター酔いアンケートには数々の利点もあります。間接的な生理学的手法と異なり、シミュレーター酔いアンケートは特殊器具やトレーニングを必要としません。鉛筆、紙とわずかな計算で事足ります。誰もがアンケートの実施や点数計算、過去データに基づいた解釈を行うことができます。回答者にとってアンケートは短く簡単であり、体験テスト期間内にわずか1分間で完了します。シミュレーター酔いアンケートはテスターにとってわずかなコストで多くの情報が得られるものであり、プレイテストでの快適性を評価するための潜在的な選択肢の1つです。

[1] Kennedy, R. S. Lane, N. E. Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire (シミュレーター酔いアンケート): An enhanced method for quantifying simulator sickness (シミュレーター酔いを評価するための改善された手法). The International Journal of Aviation Psychology (航空心理学国際ジャーナル), 3(3), 203-220.

[2] Kennedy, R. Stanney, K. & Dunlap, W. (2000). Duration and exposure to virtual environments (バーチャル環境への露出とその期間): Sickness curves during and across sessions (セッション中および休止期間での病状曲線). Presence (プレゼンス), 9(5), 463-472.

[3] Stanney, K. M. Hale, K. S. Nahmens, I. & Kennedy, R. S. (2003). What to expect from immersive virtual environment exposure: influences of gender, body mass index, and past experience (没入型バーチャル環境への露出がもたらすもの: 性別、BMI、および過去の経験の影響). Human factors, 45(3), 504-20.

[4] So, R.H.Y. Lo, W.T. & Ho, A.T.K. (2001). Effects of navigation speed on motion sickness caused by an immersive virtual environment (バーチャル環境への没入により引き起こされる乗り物酔いに似た症状に対する移動速度の影響). Human factors, 43(3), 452-461.

[5] Rolnick, a. & Lubow, R. E. (1991). Why is the driver rarely motion sick? (運転手が乗り物酔いを発症しない理由) The role of controllability in motion sickness (乗り物酔いでの制御機能の役割). Ergonomics (人間工学), 34(7), 867-79.

[6] Lin, J. J. Abi-Rached, H. & Lahav, M. (2004, April). Virtual guiding avatar (バーチャルガイドの-avatar): An effective procedure to reduce simulator sickness in virtual environments (バーチャル環境でシミュレーター酔いを軽減する効果的な方法). In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (コンピューティングシステムでのヒューマンファクターに関するSIGCHIカンファレンスの討議内容) (pp. 719-726). ACM.

[7] Ehrlich, J.A. & Singer, M.J. (1996). Simulator sickness in stereoscopic vs. monoscopic helmet mounted displays (ステレオスコピックとモノスコピックのヘルメット装着ディスプレイでのシミュレーター酔いの比較). 収容: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting (ヒューマンファクターと人間工学社会に関する第40回年次総会の討議内容).

- [8] Siegel, M. & Nagata, S. (2000). Just Enough Reality (丁度十分なリアリティ): Comfortable 3-D Viewing (快適な3-D鑑賞). IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (ビデオテクノロジーの回路とシステムに関するIEEEトランザクション)、10(3)、387-396。
- [9] Draper, M.H. Viire, E.S. Furness, T.A. & Gawron, V.J.(2001). Effects of image scale and system time delay on simulator sickness within head-coupled virtual environments (頭部装着のバーチャル環境でのシミュレーター酔いに関する画像スケールとシステム時間遅延の効果)。Human Factors、43 (1)、129-146。
- [10] Stoffregen, T.A. Draper, M.H. Kennedy, R.S. & Compton, D. (2002). Vestibular adaptation and aftereffects (前庭適応と後作用)。Stanney, K.M.(ed.)、Handbook of virtual environments (バーチャル環境のハンドブック): Design, implementation, and applications (設計、実装、および適用) (pp.773-790)。Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates (出版元)。
- [11] Draper, M.H. Viire, E.S. Furness, T.A. Gawron, V.J.(2001). Effects of image scale and system time delay on simulator sickness with head-coupled virtual environments (頭部装着のバーチャル環境でのシミュレーター酔いに関する画像スケールとシステム時間遅延の効果)。Human Factors、43(1)、129-146。
- [12] Kolasinski, E.M.(1995)。Simulator sickness in virtual environments (バーチャル環境におけるシミュレーター酔い) (ARTI-TR-1027)。Alexandria, VA: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences (陸軍行動科学社会科学研究所)。参照元: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA295861>
- [13] Reason, J.T.& Brand, J.J.(1975)。Motion Sickness (乗り物酔い)。Academic Press, Inc.
- [14] Welch, R.B.(2002)。Adapting to virtual environments (バーチャル環境への適応)。Stanney, K.M. (ed.)、Handbook of Virtual Environments (バーチャル環境のハンドブック): Design, Implementation, and Application (設計、実装、および適用)。Lawrence Erlbaum Associates (出版元): Mahwah, NJ.
- [15] Prothero, J.D. Draper, M.H. Furness, T.A. Parker, D.E. & Wells, M.J.(1999)。The use of an independent visual background to reduce simulator side-effects (独立した視覚的背景を使用したシミュレーター副作用の軽減)。Aviation, Space, and Environmental Medicine (航空、宇宙、および環境の治療薬)、70(3)、135-187。
- [16] Lin, J. J.-W. Abi-Rached, H. Kim, D.-H. Parker, D.E. & Furness, T.A.(2002)。A "natural" independent visual background reduced simulator sickness (「自然な」独立した視覚的背景により軽減されるシミュレーター酔い)。Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (ヒューマンファクターと人間工学社会に関する年次総会の討議内容)、46, 2124-2128。
- [17] Bowman, D. Koller, D. & Hodges, L.F.(1997)。Travel in immersive virtual environments: an evaluation of viewpoint motion control techniques (没入感のあるバーチャル環境での旅行: 視点移動制御テクニックの評価)。Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (バーチャルリアリティ年次国際シンポジウムの討議内容)、pp. 45-52。

# ユーザーインタフェース

- ヘッズアップディスプレイ(HUD)
  - HUDを使用しないで、情報を環境の中に統合することが理想的です。
  - 照準はターゲット上に直接描画してください。描画先の奥行き面を固定しないでください。
  - 近い位置にある武器およびツールは眼疲労につながります。使用しないときは、アバターの一部にして隠してください。
- アバターには長所と短所があります。バーチャル世界にユーザーを引き込む一方で、現実世界での体の動きとの差異が出ると違和感を生じます。

## ヘッズアップディスプレイ(HUD)

一般に、Oculusでは従来のHUDを使用することを推奨していません。その代わりに、開発者が環境そのものに情報を埋め込むことを推奨しています。従来の手法は、立体視の要求をよく考慮した再設計を行えば場合により機能するものの(後に言及する照準の例を参照)、非VRのゲームからVRコンテンツにHUDを単純に移植すると、新たな問題が生じて、現実的でなかったり、場合によっては不快にさえなる事があります。

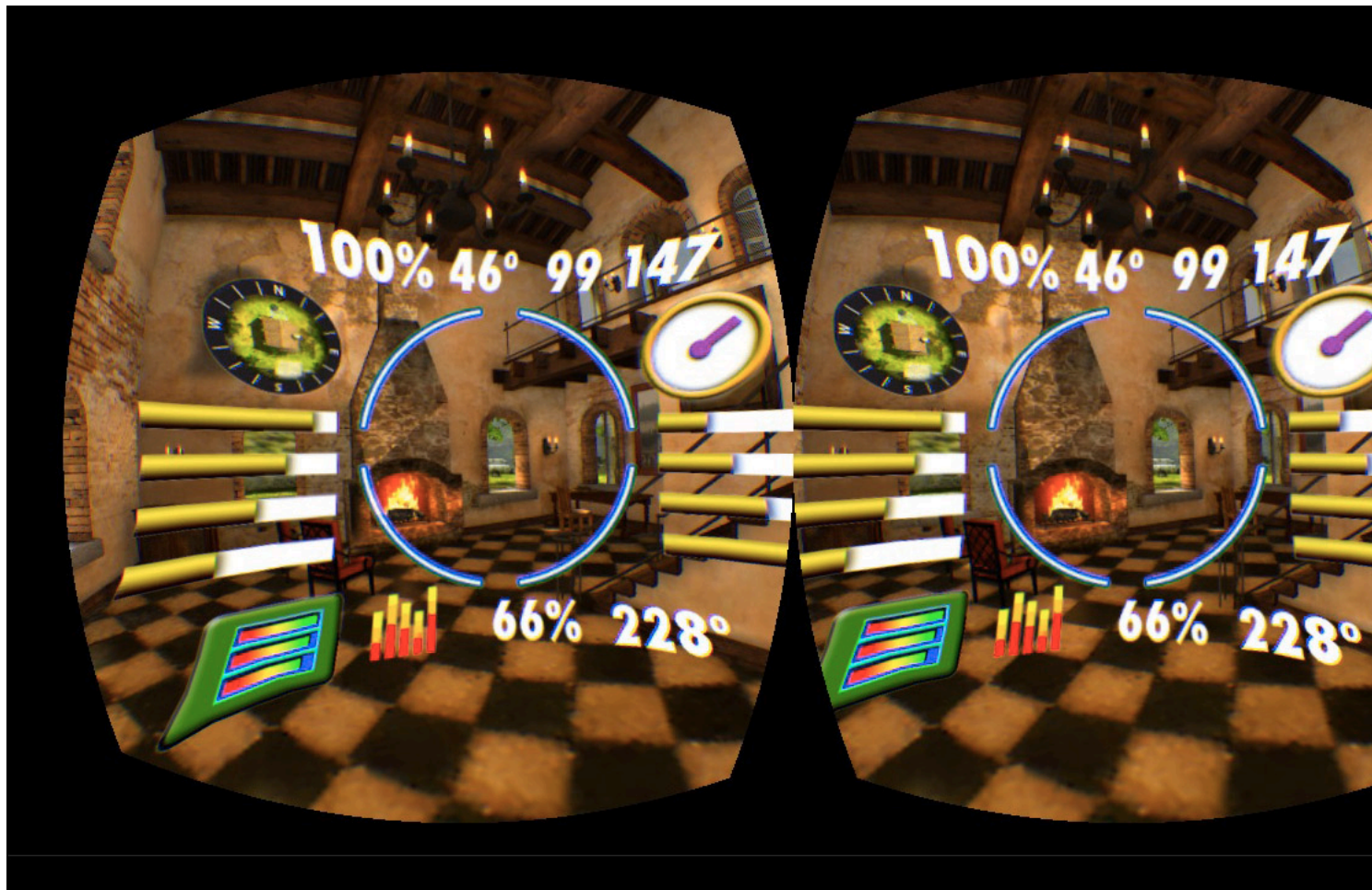
まず、HUDは3Dシーンの中のすべてのものを遮蔽(手前に表示)します。これは非立体視のゲームでは問題になりません。なぜなら、ユーザーはHUDが実際に他のすべてのものの手前にあるものだとして推測できるからです。残念ながら、両眼視差(各々の目に投影される映像のわずかな差)を奥行き手がかりとして加えることで、シーンの要素がHUDの奥行き面よりもユーザーから見て近い位置に来る場合は、矛盾が生じることがあります。遮蔽に基づいて、HUDはシーン要素よりも近いものとして認識され、後ろにあるオブジェクトを隠しますが、それでも両眼視差により、HUDはそれが遮蔽しているシーン要素より遠方にあると示されます。これは、HUDまたは環境全体の各々の目の映像を統合しようとするのを困難にしたり、さらに場合によっては不快感を生じさせたりする可能性があります。

HUDをユーザーに極めて近い位置に配置することにより、遮蔽の視覚的な矛盾と視差が解決される場合がありますが、問題を避けるために近くに配置すると、推奨されている最低限の快適な距離である75cmよりインタフェースが近づいてしまう可能性があります。プレイヤーのクリッピング境界をHUDの奥行きにすることでも問題が生じることがあります。この場合、ユーザーが環境上のオブジェクトから不自然に切り離されていると感じます。特定の状況下ではこれらの問題が回避できて機能するかもしれませんが、HUDはVRにおいて魅力の



ない時代後れのものとすぐさま感じるかもしれません。一般論としては、別の方法で置き換えて廃止していくべきものであり、よりユーザーフレンドリーな選択肢を採用する必要があります。

図 2 : Riftの内部から見た雑然としたHUDの例



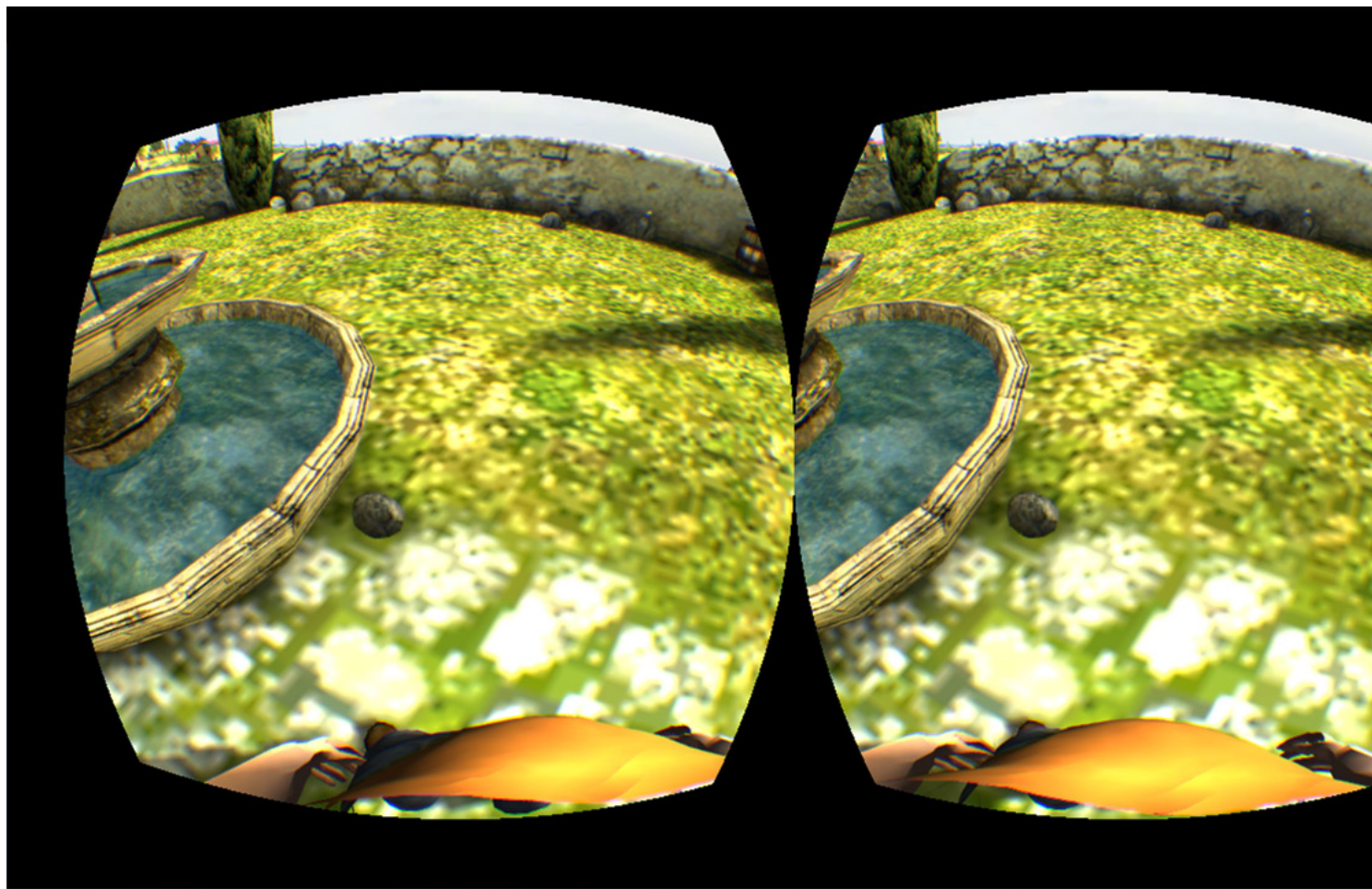
その代わりに、情報デバイスを環境そのものに統合する方法を検討してください。従来のビデオゲームでは機能しない方法であっても、ユーザーの頭の動作により自然で直観的な方法で情報を得られることを覚えておく必要があります。たとえば、プレイヤーは、HUD上のミニマップやコンパスの代わりに、アバターの手やコクピットの中にある実際のマップやコンパスに目を落とせば、周囲の状況を把握できるかもしれません。これはリアリティが必要という意味ではなく、敵の体力ゲージが頭の上に魔法のように浮かび上がるといった方法もあるでしょう。重要なことは、プレイヤーを阻害せず、情報を明確かつ快適な方法で提示することです。これは周囲の環境や得ようとしている情報を、単一の明確なイメージとして認識できるようになることにつながります。

ターゲットを狙うための照準は、従来のパラダイムをVRに採用することの優れた実例です。照準は目標を正確に定めるのに極めて重要ですが、固定された奥行き面に単に貼り付けただけでは、プレイヤーがゲーム中に期待しているような動作をしません。視線の焦点を合わせている場所と別の奥行き面に照準が描画された場合、ぼやけてにじむように見えてしまいます。照準を従来のビデオゲームと同様の方法で機能させるためには、画面上でターゲットとするオブジェクトに直接描画する必要があります。これはユーザーが狙いを定めるときに視線の焦点を合わせている位置であると推定されます。照準そのものは固定の大きさだったとしても、距離により大きく表示したり、小さく表示したりすることができます。また、ユーザーから見たときに常に一定の大きさに見えるようプログラミングしておくこともできます。これは主にデザイナーの美的判断に任せられます。これは、いくつかの従来のパラダイムをVRに移行することは可能であることを示しますが、その際も新しいメディアの要求事項に合わせて注意深く修正してデザインすることが必要不可欠です。

## アバター

アバターとは、バーチャル世界におけるユーザーの身体の視覚的な表現で、通常はユーザーの位置、動作、およびジェスチャーに対応します。ユーザーは自身のバーチャル身体を見ることができますし、他のユーザーがどのように見えるか、またどう作用するかを観察できます。VRは主観視点の体験であることが多いため、多くのVRアプリケーションはユーザーの表現を一切排除することとなり、結果的にユーザーはバーチャル空間上で単に身体がないという状態になります。

図 3 : 画面の下部に映っているユーザーアバター



アバターには長所と短所があります。アバターにより、ユーザーはバーチャル世界における縮尺や体の大きさを強く認識できます。逆に、アバターを現実的に提示することによって、ユーザーの自己受容感覚(ずっと座っているのにゲームでは歩行する、など)と矛盾することは奇妙に感じる可能性があります。Riftの公開デモにおいて、一般にユーザーは自身のバーチャルな身体を見ることができることにに対して肯定する反応が多く、少なくとも美的な感情を引き出す手段としての役割を果たすことが可能です。この新しいメディアにおける他の要素と同様、体験にとって何が最善なのかを調べるために、ユーザーテストおよび評価がアバターに対しても必要です。

**注：**現時点では首を曲げることしかできないため、アバターの身体は画像のかなり端の方にしか映りません(図4)。武器やツールはアバターに統合し、実際に手に持っていることをユーザーが認識できるようにする必要があります。開発者がボディトラッキング用の入力デバイスを使用する場合、ユーザーの手や他の身体の部分をトラッキングし、遅延をできる限り少なく抑えてアバターを更新する必要があります。



## 武器やツール

ファーストパーソンシューティングでは、武器は通常、画面の下の方に表示され、あたかもユーザーが持っていて照準を合わせているかのように配置されています。位置関係から言うと、武器はシーン上のどんなものよりも視点に近いことになります。典型的な非立体視のゲームでは、それは何ら問題がなく、通常の距離で間近の大きいオブジェクトがシーン上に重ね合わせて表示されることは受け入れられます。

しかし、これを立体視の実装とした場合、状況はやや複雑になります。武器やツールのレンダリングをカメラの間近にすることで、武器と残りのシーンとの間を見る際に、ユーザーは眼の輻輳を大きく変化させる必要があります。さらに、武器が視点にあまりに近いために左右のビューが著しく異なり、結果的に1つの3次元ビューに解像することが難しくなる可能性があります。

最も快適と考えられるアプローチは、既に述べたように、頭はないが身体は完全にあるアバターの首のすぐ上にカメラを配置することです。武器およびツールはユーザーアバターの一部としてレンダリングされます。武器を使用するときは持ち上げることができますが、通常はビューに表示されません。

武器およびツールをプレイヤーのビュー上でレンダリングするという技術的な擬似表現技法はありますが、推奨されているわけではありません。ただ、コンテンツによってはこの種のバリエーションが必要である場合や状況に合うような場合があるかもしれません。取りうる1つの方法に2Dで武器をレンダリングすることがあります。しかも、HUDがある場合はその奥に描画することです。この場合、武器が平らで不自然に見えますが、既に見てきた輻輳や映像の統合の問題はある程度回避できます。

もう1つの方法はマルチリギングを用いることです。その場合、間近にあるオブジェクト(コクピット、ヘルメット、銃など)を主要な環境から切り離して、異なるカメラ間距離を持つ別のカメラリグを用いて表示します。この方法は視覚的な不具合、たとえば手前にあるオブジェクトが奥にあるオブジェクトよりも立体感が遠くに見えるってしまうなどのリスクが発生するので、推奨されません。

実験およびユーザーテストを繰り返すことにより、ここで挙げるもの以外の方法を使ったコンテンツにとっての最適な解決策が判明するかもしれませんが、現時点で推奨される方法は、武器およびツールをユーザーアバターのコンポーネントとして実装することです。

# ユーザー入力とナビゲーション

- 従来の入力方法でVRに理想的なものはありませんが、現状ではゲームパッドが最善の選択です。この分野では、イノベーションと研究が必要です(Oculusでも行っています)。
- ユーザーはRiftの装着中に入力デバイスを見ることができません。そのため、見えなくても操作できる、使い慣れた入力デバイスをユーザーが使用できるようにする必要があります。
- Riftのセンサーをコントロールの入力に活用してください(例: 頭を傾けて照準を合わせるなど)。ただし、頭の動作とバーチャルな動きとの作用によって生じることがある不快感に注意してください。
- 移動は、VRならではの新たな問題を作り出す可能性があります。
- 切り替え可能な「戦車モード」移動スタイルの提供を検討してください。正面方向を現在向いている方向にリセットする手段を含めてください。

## マウス、キーボード、ゲームパッド

ユーザーがOculus Riftを装着すると、キーボード、マウス、ゲームパッド、モニターのいずれも見ることができないことを把握しておくことは重要です。いったんVRに入ると、これらのデバイスは触覚だけで操作することになります。もちろん、これはそれほど珍しい状況ではありません。しかし、入力デバイスを触覚だけで操作することに慣れているとはいえ、最初に位置を決めるときや位置を修正するときには視覚を使うものです(キーボード上で手の位置を変えるときなど)。これはインタラクションデザインにおいて、重要な影響をもたらします。たとえば、ユーザーは個々のキーの位置やホームポジションを手探りで探す必要があるため、入力手段としてキーボードを使用することは面倒なものになります。マウスは多少使いやすとはいえ、ユーザーはヘッドセットを装着する前にマウスの位置をしっかりと覚えておく必要があります。

根本的な解決策とは言えないものの、現時点で既存の入力デバイスの中で最も一般的なのはゲームパッドです。ユーザーは両手でゲームパッドを握ることができ、机の上のより複雑な入力デバイスを使う上での人間工学的な配慮とは無縁です。入力デバイスに慣れれば慣れるほど、視覚的な頼り無しで利用する際の安心感が大きくなります。

ゲームパッドは、キーボードやマウスの入力より好ましいと言えます。しかし、いずれの入力方法もVRにとって理想的ではないことを強調しなければなりません。Oculusでは、幅広いVRコンテンツに対応する革新的で直感的な方法を研究中です。

## 新たな入力方法

いくつかのVRコンテンツでは、マウスやコントローラーで照準を合わせる代わりに、頭の向きを使うことができます。たとえば、ユーザーが現在向いている方向の中心にある照準やカーソルを使って狙いを定めることが出来ます。Oculusにおいては、この方法をレイキャスティングと呼んでいます。Oculusでのユーザーテストの結果は、レイキャストは直観的でユーザーフレンドリーな対話の方法となり得ることを示しています。このためには、ユーザーに対してターゲットのカーソルを明瞭に表示し(ターゲット先のオブジェクトの奥行きでレンダリング)、見ている方向によって生じる効果を示す適切な視覚的フィードバックを返す必要があります。たとえば、メニューからアイテムを選択するためにこの方法を使用した場合、ターゲットの照準またはカーソルが合ったときに、要素は、アニメーションやハイライトなど視覚的に目立つ方法で反応する必要があります。また、頭部の動作により照準を合わせる場合、精度には限界があることを覚えておいてください。メニューの場合には、項目は大きくして、ユーザーが正確に照準を合わせられるように十分な領域を確保する必要があります。さらに、ユーザーはターゲットを変更する意思がない場合も頭を動かす場合があります。たとえば、レイキャスティングによる操作の対象となっているメニューの外側にヒントが表示された場合などです。レイキャストが開発中のコンテンツに合うかどうかを判断するには、最終的にはユーザーテストが必要となります。



Riftのセンサーは、方向、加速度、および位置に関する情報を使用して、バーチャルカメラの向きを決め、制御します。しかし、これらの情報は、注視、頭部、および胴体による移動など、新たなコントロール方式にも活用できます。たとえば、ユーザーが移動したい方向を向いて前傾姿勢を取るとその方向に動くなどです。いくつかのコンテンツではそのようなコントロール方法が実装されていますが、従来の入力方法と比較した場合の快適さやユーザビリティはまだ不明です。

結論として、開発者は新たなコントロール方式を評価して、初心者ユーザーに意図せずにストレスや不快感を与えないようにする必要があります。たとえば、頭を傾ける動作は理論上、合理的なコントロール方式に思えますが、VRで回転中に頭の回転軸が身体の回転軸からずれる場合、「疑似コリオリ効果」が発生します。この「疑似コリオリ効果」により、乗り物酔いに似た症状が発生することが被験者実験の結果として報告されています[1]。そのため、頭を傾ける動作を用いたコントロール方式においてこういったずれは避ける必要があります。このように、新しい入力方法には知らないうちに意図しない効果は入り込んでいることがあり、ユーザーテストの必要性を浮き彫りにしています。

## ナビゲーション

ほとんどのユーザーは、移動の際に実際に立って歩くのではなく、何らかの入力手段を使用します。一般的な方法は、現在使用されている主観視点ゲームのナビゲーション方法(ゲームパッド、キーボード、マウスなどによる)をそのまま使うことです。残念ながら、このような従来型の操作方法は、ビデオゲーム環境での移動には効果的ですが、没入感の高いVRでは不快に感じる場合があります。たとえば、前述したように、サイドステップや後ろ歩きなどによるシミュレーター酔いは、ゲーム機やPCゲームでは発生しませんが、VRでは発生します。現在、Oculusでは、VR内での新しいナビゲーションコントロール方式を開発中です。

移動中のユーザーの快適性を向上させるため、新たなコントロール方式が検討されています。従来のコントロール方式では、「前進」ボタンを押すと、通常は、カメラが向いている方向に進みます。しかし開発者は、ナビゲーションにおいて「戦車モード」や「戦車ビュー」を使うことができるかもしれません。この場合、入力デバイスで移動方向をコントロールし、それとは関係なく、カメラの向きをユーザーの頭の動きでコントロールします。たとえば、ユーザーが「前進」だけを押し続けている間は直線状に進み、その間に頭を動かすことで進行方向を変えずに周囲を見渡すことができる、といった具合です。その状況は、店の中で商品棚を見て回るときに、脚では通路を真っ直ぐに歩いているものの、歩いている向きとは関係なく、頭は右へ左へと見回しているという状況にたとえられます。

この新しいコントロール方式には、利点もありますが欠点もあります。Oculus社の従業員の数名(とおそらくこの手法を実在のコンテンツに実装した開発者)は、このコントロール方法は従来のナビゲーションモデルより快適だと感じました。しかし、それと同時に不快感やユーザー体験に関する新たな問題も生じます。特に、頭の向きと移動の向きがずれてしまう場合などです。たとえば、ユーザーは自分が見ている方向をまっすぐ前に進みたいと思っているのに、椅子に座って身体と頭の向きが変わってしまったせいで、実際には斜め方向に移動している場合があります。そのため、このナビゲーション方法を用いる開発者は、「戦車」の向きとユーザーの見ている方向が一致するように、アナログスティックの押し込みやボタン操作などで簡単にリセットする方法を組み込んでおく必要があります。

さまざまな使用例において「戦車モード」の快適性と有効性が完全に解明されるには、さらなる研究が必要ですが、開発者は従来のコントロール方式の他に、ユーザーが選択できるオプションとしてこの手法を取り入れることも可能です。

現状では、開発者がこのガイドで述べられている既知の問題の回避策を考慮したうえであれば、従来型の入力方法は安全で、多くのユーザーにとって利用しやすい選択肢と言えます。

コンテンツによっては、バーチャル空間内でプレイヤーを移動させる新しい手段も使用可能です。たとえば、ユーザーが異なるステージに進むたびに、異なる位置から始まるなどです。いくつかのゲームでは、暗闇にフェードアウトする表現を使用して、ユーザーが睡眠状態や意識の喪失に陥ることを表しており、ストーリーの進行に沿ってユーザーは別の位置で目覚めます。これらの従来の方法は、特に問題なくVRでも用いることができます。しかし、ユーザーがコントロールできない状態のままバーチャル空間で移動させることは(ユーザー

を90°右にパッと回転させ、マップ内の別の位置に移すなど)、方向感覚を失わせる可能性があり、それに伴って映る映像によっては気分が悪く感じるかもしれません。

[1] Dichgans, J. & Brandt, T. (1973). Optokinetic motion sickness and pseudo-coriolis effects induced by moving visual stimuli (視覚刺激の移動によって生じる視運動性の乗り物酔いに似た症状および擬似コリオリ効果)。Acta Oto-laryngologica、76, 339-348。

# 効果的なVRについての考察

Riftを利用することで、ユーザーの視覚的現実に対して、過去には不可能だったような制御が行えますが、これは開発者にとって未踏の挑戦となります。

「効果的なVRをどうすれば実現できるか」という問いは、本が数冊書けるほど多くの文脈を持つ広範なものです。VRはほとんど未開拓のメディアで、アーティストや開発者が最大限のポテンシャルを発揮してくれるのを待っています。

まず、VRは空間、大きさ、没入、インタラクションとナビゲーションについての新しい考え方を必要とします。たとえば、スクリーンのあるメディアは、直角や直進運動に重きを置いており、スクリーンの縁が常に存在します。これは、撮影監督が言うところの、ショットの「フレーム」です。しかし、VRにはスクリーンも、物理的な境界もなく、直角に特別な意味也没有。そして、ドアや窓のようなユーザーが覗くことのできる実世界の要素を使わない限り、「フレーム」は存在しないのです。

あらゆるメディアの中で、VRはおそらく最も現実世界での体験に近いものでしょう。まるで物理世界にいるかのような、完全に没入感のある環境がユーザーを包み込みます。VRを使用することで、他のメディアでは不可能な体験を創造できます。私たちは、平らなスクリーンの前にあまりにも長く座りすぎました。ユーザーの上、下、そして背後の空間を活用することはこれまで以上に楽しくもあり、そして望まれていることなのです。

VRは物理的な実世界での体験を模倣しようとするメディアであるために、ユーザーはVR内でも外の現実と同じように振る舞えることを期待します。これは利点でもあり欠点でもあります。開発者はユーザーが慣れ親しんだ実世界の事象を使って誘導を行えますが、同時に、ユーザーの期待は現在可能なVR体験を上回ってしまうこともあるのです。没入感、操作性、そして体験のバランスをとることは、VRに向けたデザインの多くの課題の1つに過ぎません。

このガイドは、最も基本的な基盤情報を開発者に提供するために記述されています。これらの情報は、魅力的で快適なVR体験を適切に設計するために非常に重要です。VRが真に輝く体験を、そして世界を作り出せるかはあなたにかかっています。早く見てみたいですね。みんなが待っています！

RiftでのVRコンテンツデザインの情報やディスカッションに関しては、[developer.oculus.com](https://developer.oculus.com)に是非アクセスしてください。

# 健康と安全のための警告

これらの健康と安全のための警告は正確性と完全性のため定期的に更新されます。



**健康と安全のための警告:** 負傷、不快な体験、物的損害のリスクを低減するため、ヘッドセットを利用する前に以下の警告をよく読んでください。健康と安全のための警告の最新版については、[www.oculus.com/warnings](http://www.oculus.com/warnings) を参照してください。



## ヘッドセットを使用する前に:

- ヘッドセットに付属する、セットアップおよびその使用に関する操作ガイドをよく読み、そのすべての指示に従ってください。
- ヘッドセットについては、VR利用開始の前に設定ソフトウェアを使用して、ユーザーごとに設定を行ってください。ヘッドセットの設定を正しく行わないと、不快感とシミュレーション酔いを体験する可能性が増加します。
- また、現実世界で乗り物酔いしやすい人は、ヘッドセットの使用中でも不快感を覚えやすくなります。このような方は本章の警告をよく読んでその内容に従ってください。
- 妊婦、高齢者、両眼視異常症、精神疾患、心不全もしくは他の重要な疾患を持つ人は、ヘッドセットを使用する前に医師に相談してください。



**光過敏性発作:** まれに(4000人に1人程度の割合)、強い光や画面の点滅といった刺激によって、強いめまい、光過敏性発作、てんかん発作、失神などが起きることがあります。このような症状はテレビを見たり、ビデオゲームで遊んだり、バーチャルリアリティを体験したりしている間に起きることがあり、過去に光過敏性発作や失神を起こした経験がない人、てんかん発作の既往症がない人にも起きることがあります。また、20歳未満の子供や若者に比較的起きやすいとされています。過去に光過敏性発作や失神を起こした経験がある人、またはてんかんに関連する症状を経験した人は、ヘッドセットを使用する前に医師に相談してください。



**子供による利用:** 13歳未満の児童は、視覚の発達段階の重要な時期にあるため、この製品を使用させないでください。13歳以上の子供の保護者は、ヘッドセットを利用中、あるいは利用後に子供を監視し、次のいずれかの症状がないことを確認してください。また子供がヘッドセットを利用する時間を制限し、定期的に休憩するようにさせてください。長時間連続して使用させないでください。目と手の協調、平衡感覚、複数のことを同時に行う能力に影響することがあります。保護者は、利用中および利用後に子供から目を離さず、これらの能力が低下していないかどうかを確認してください。



**一般的な説明と注意事項:** 傷病または不快感の発生のリスクを低減するために、ヘッドセットの利用中は常に次の説明に従って、注意事項を遵守する必要があります。

**安全な状況でのみ利用してください:** ヘッドセット向けのコンテンツは没入的なバーチャルリアリティ体験を発生させるため、周囲の実際の環境を把握することが困難になります。**ヘッドセット利用時には常に周囲の環境に注意し、必ず座った状態で利用してください。**人が近くにいないこと、物、階段、バルコニー、窓、家具などが近くに無いことに、特に注意してください。また、ヘッドセットの利用中または利用直後に、衝突する、または横転させる可能性のある物が周囲に無いことを確認してください。ヘッドセット利用中は鋭利な物体やその他の危険な物体を扱わないでください。歩行時やサイクリング、車の運転時などのように注意を要する状況ではヘッドセットを絶対に装着しないでください。



- ヘッドセットが水平かつ快適に頭に装着されていることを確認し、はっきりとした、ぶれていない映像が見えていることを確認してください。
- 身体が慣れるようにヘッドセットを利用する際は徐々に行ってください。最初は数分だけ使用し、バーチャルリアリティに慣れるに従って、徐々に利用時間を増やしてください。バーチャルリアリティに入ったら、初めに周囲を見回すようにすると、現実の自分の動きとバーチャルリアリティの反応の微妙な違いに早く慣れることができます。
- 快適なバーチャルリアリティ体験を得るには運動感覚と平衡感覚が正常である必要があります。疲労時、睡眠不足時、飲酒や薬の影響があるとき、二日酔い時、消化器系に問題があるとき、精神的なストレスや不安のあるとき、風邪、インフルエンザのとき、頭痛時、偏頭痛時、耳の痛みがあるときは症状を悪化させる可能性があるため、ヘッドセットを利用しないでください。
- 必要だと思わなくても、少なくとも10分から15分の休憩を30分おきにとってください。個人差があるため、不快に感じるときはより頻繁により長時間、ご自分の体調に応じた休憩をおとりください。
- 大音量で音声を聞くと、回復できないダメージを聴力に及ぼすことがあります。周囲に雑音が多い状態や、騒がしい環境に長時間さらされた状態では、音声が実際より小さく感じられることがあります。バーチャルリアリティ体験には没入感という特性があるため、周囲の環境への注意を持ち続けられるように、ヘッドセットは大音量で使用しないようにし、聴力へのダメージが発生しないようにしてください。



**不快感**

ヘッドセット利用者に次のいずれかの症状が生じた場合、ただちに利用を中止してください。光過敏性発作、意識喪失、眼疲労、目や筋肉の痙攣、不随意運動、視覚の変化、ぼやけ、二重に見える、視覚異常、めまい、方向感覚の喪失、平衡感覚の喪失、手と視覚の協調関係の障害、過度の発汗、唾液の増加、吐き気、立ちくらみ、頭または目の不快感や痛み、眠気、倦怠感、乗り物酔いに近い症状。

- バーチャルリアリティにさらされたときの症状は船酔いの体験と類似しており、使用してから数時間後に症状が顕著になる場合があります。上記の症状に加え、強い眠気を感じたり、物事を同時に行う能力が一時的に低下したりすることもあります。このような症状が治まらないうちに現実世界で通常の活動に従事すると、負傷しやすくなる可能性があります。
- 症状が完全に治まるまで、運転や機械の操作など、注意力や肉体的負担が要求され、誤りが深刻な事故につながる可能性のある活動はしないでください(症状が治まらないうちにこのような活動を行うと、死亡、負傷、物的損害を招くおそれがあります)。同様に、万全の平衡感覚や手と目の連携が求められる活動(各種スポーツ、自転車に乗るなど)も避けてください。
- 全ての症状が数時間にわたって完全に現れなくなるまで、ヘッドセットを利用しないでください。使用を再開する前に、ヘッドセットをきちんと設定してください。
- 症状が出やすいコンテンツの種類は個人により異なるため、症状の出る直前に利用したコンテンツには特に注意してください。
- 深刻または持続的な症状が出る場合は医師の診察を受けてください。



**反復運動過多損傷:** ゲーム中、筋肉や関節、皮膚などに痛みが発生する場合があります。使用中に体が疲れたり痛くなってきたりした場合、または体の一部がチクチクする、しびれる、腫れる、こわばるといった症状を感じた場合は、いったん中断し、数時間の休憩をおいて再開するようにしてください。もしプレイ中やプレイ後にも上記の症状や不快感が続く場合、プレイを中止し医師の診察を受けてください。



**無線周波数干渉:** ヘッドセットはペースメーカーを含む周辺の電子機器に影響を与える可能性のある電磁波を発生させる場合があります。ペースメーカーやその他の医療インプラントを使用している場合、ヘッドセットを利用する前に、医師もしくは医療機器の製造者へ問い合わせてください。



**感電:** 感電を防ぐために、下記の注意事項を守ってください。

- 電源アダプターを水中や湿気のある場所で使用しないでください。
- 電源アダプターを掃除する場合は、その前に、電源を抜き、乾いた布のみを使用してください。
- 電源アダプターを炎やその他の熱源に近づけないでください。
- 提供されている機器のいずれも、改造あるいは分解しないでください。
- コードが損傷していたり電線がむき出しになっていたりする製品は使用しないでください。
- 電源アダプターはヘッドセット付属のものだけを使用してください。



**日光によるダメージ:** ヘッドセットを直射日光の下に放置しないでください。ヘッドセットが損傷する恐れがあります。