

VR コンテンツのための QoS 制御機構の提案

高山昂^{†1} 杉田薫^{†2}

VR (Virtual Reality) コンテンツが表示可能なスマートフォン用 VR ゴーグルの普及や VR-HMD (Virtual Reality-Head Mounted Display) の低価格化に伴い、VR コンテンツは一般利用者にも利用されるようになってきている。現在の VR コンテンツにはダウンロードやインストールを事前に行って利用されるものも存在するが、ストリーミングコンテンツとして提供されるものも増加してきている。このような VR コンテンツは、立体表示とヘッドトラッキングを利用することで高い没入感が実現されており、この利用者は仮想空間上で実際に映像空間にいるかのような仮想体験することが可能である。しかしながら、高い没入感を実現するためには従来の映像コンテンツで要求される高解像度かつ高フレームレートな映像表示に加え、ヘッドトラッキングによる視線の移動をサポート可能な映像表示が必要となるため、高速な 3D グラフィックス表示と大容量のデータ転送能力に対応可能なハードウェア性能が必要となる。このような VR コンテンツが一般利用者のハードウェア環境で再生される場合にはハードウェアの処理能力の限界や混雑時間帯における利用可能な通信帯域の低下といった問題に直面し、VR コンテンツのフレームレートの低下や再生停止、ヘッドトラッキングの遅延が発生するため、没入感を損なわれる場合がある。このため、本研究では、VR コンテンツのストリーミング再生において没入感の維持を優先したデータ転送量および 3D グラフィックス表示の削減を可能とするための QoS 制御機構について検討したので報告する。

Proposal for a framework of QoS Control for Virtual Reality Contents

KO TAKAYAMA^{†1} KAORU SHUGITA^{†2}

Nowadays, a VR (Virtual Reality) goggle attached to smartphone has become to be popular with general users and a VR-HMD (Virtual Reality-Head Mounted Display) has get to low price. Therefore, many VR contents are published and played for general users on the Internet environment. Current VR contents are used for both standalone contents and streaming contents. These VR contents give a user immersive experience with a 3D display and a head tracking function. However, a higher immersive experience is acquired with usual parameters for high quality (high resolution and high frame rate) and omnidirectional image for following at viewpoint. So, high performance computer network environments are expected for high quality 3D graphics and high-speed data transfer in streaming VR contents. At playing a VR contents on general user's computer network environments, the user is faced to such problems caused by limitations of hardware performances and congestion of data transfer as declining a framerate, interrupting a VR content and delaying a head tracking. In order to overcome such problems, we discuss a framework of QoS (Quality of Service) control to decrease overload and over data transmission of computer network environments for keeping a feeling of immersion in streaming VR contents.

1. はじめに

近年、3D 映像や全方位映像の撮影機材の低価格や多数の 3 DCG ソフトウェアが開発されたことによって多数の VR (Virtual Reality) コンテンツが公開されている。一方、このような VR コンテンツの再生環境についても各種センサが搭載されたスマートフォンを装着することで VR (Virtual Reality) コンテンツの表示が可能な VR ゴーグルの普及や VR-HMD (Virtual Reality-Head Mounted Display) の低価格化が進んでおり、一般利用者でもこれらを利用可能な環境が整ってきている。VR コンテンツは事前にダウンロードやインストールを行って利用されるものも存在するが、ストリーミングコンテンツとして提供されるものも増加してきており、立体表示やヘッドトラッキングをサポートする

ことで実際に映像空間にいるかのような仮想体験することが可能である。

このような VR コンテンツにおける没入感の実現と向上のためには、従来の映像コンテンツと比較して要求される 2.5K や 4K などの高解像度かつ高フレームレートな映像に加え、両眼視差による立体表示や視線移動に追従可能とするためのヘッドトラッキングのサポートも求められる^{[1] [2]}。しかしながら、これらの要素を全てサポートするためにはコンテンツの再生に利用されるハードウェアに高性能な 3D 表示能力が必要となるとともに、大容量のデータを遅延なく送受信可能なネットワーク環境が必要不可欠となるが、一般利用者がこれらの全ての要件を満たすコンピュータネットワーク環境を確保することは困難である^[3]。このため、VR コンテンツでは没入感の維持が重要となるが、その維持に必要な 3D 表示能力やデータ転送能力が不足する場合にはできる限り没入感を損なわずに利用者が妥協できるようにサービスの品質を制御してコンテンツの再生を継続

^{†1} 福岡工業大学大学院
Fukuoka Institute of Technology

^{†2} 福岡工業大学
Fukuoka Institute of Technology

する必要がある。

VR コンテンツのストリーミングに関する研究としては、モバイルユーザを対象としたユーザの視点に応じたビットレートの制御の研究^[4]や VR コンテンツの QoS パラメータを最適化するためのリソース割り当てのためのフレームワークの導入^[5]が報告されている。しかし、これらの研究では VR コンテンツのストリーミングにおける映像品質の制御を実施した際の没入感の評価については報告されていない。

そこで本研究では、VR コンテンツのストリーミング再生における没入感の維持を目的として、デフォルト品質による再生が維持できない状態になった場合に、没入感に影響が大きい品質を優先して送信し、没入感に影響が小さい映像品質の品質を低下させることで、利用者ができる限り没入感を損なわずに済むための QoS (Quality of Service) 制御機構を導入するため、VR コンテンツの没入感に関わる要素と QoS 制御の対象となる利用者要求と VR コンテンツのパラメータについて検討し、ストリーミング VR コンテンツのための QoS 制御機構について検討したので報告する。

以降、第2章では VR コンテンツの没入感に関わる要素について述べ、第3章では QoS 制御の対象となる利用者要求と VR コンテンツのパラメータについて議論する。次に第4章ではストリーミング VR コンテンツのための QoS 制御機構を提案する。第5章では既存のメディアによる QoS パラメータの予備評価を行うために実装したシステムについて説明し、第6章では既存のメディアによる予備評価とその結果について述べる。第7章ではまとめと今後の課題について記述する。

2. VR コンテンツの没入感

本章ではストリーミング VR コンテンツにおいて QoS 制御の対象となる QoS パラメータを設定するために、VR コンテンツの没入感を構成する要素について議論する。本研究では VR-HMD 及び VR ゴーグルを利用した VR コンテンツのみを対象としている。VR コンテンツの視聴時に利用される VR-HMD や VR ゴーグルには以下の三つの特徴がある。

- (A1) ヘッドトラッキング機能：頭を向けた方向の映像が表示される空間の広がりを感じる事が可能
- (A2) 高解像度・高フレームレートに対応したディスプレイ装置：リアリティの高い映像表示が可能
- (A3) 立体表示：両眼視差による立体映像表示が可能

このような特徴を持つ VR-HMD と VR ゴーグルで視聴される VR コンテンツには没入感に影響を与える要素は次のように分類できる。

- (B1) 360 映像：ヘッドトラッキングによる視点・視線移動への追従

- (B2) 映像品質：高解像度・高フレームレートによる臨場感の向上

- (B3) サイドバイサイド動画：右目用と左目用の映像による両眼視差の提供

以上の各要素が VR コンテンツの没入感に影響を与える要素として挙げられる。しかし、ストリーミング再生時にはこれらの要素は、以下の要因によって 3D 表示能力およびデータ転送能力を必要とされることになる。

- (OVL1) 全方位映像では広い範囲の映像を一枚のフレームに収めるため、高解像度の映像であることが必要

- (OVL2) 映像品質では臨場感を高めるため、高解像度・高フレームレート映像が必要

- (OVL3) 立体表示では奥行きを認識させるための両眼視差を提供するために左右の目に独立した映像表示が必要

特に映像は高解像化になれば 2D の映像においても臨場感や立体感が向上すると言われており、立体表示においても奥行き方法の解像度を高めるためには個々の映像の解像度を高めることによって両眼視差を高精度に提供する必要があるが、立体表示では左右の目に独立した映像表示が必要となるため、2D の映像と比較しておおよそ倍のデータ量を処理する必要がある。以上の理由から、VR コンテンツでは通常の動画よりも 3D 表示に必要なデータ量が増加するため、3D 表示能力とデータ通信に必要なグラフィック表示能力やネットワークの実効スループットの要件が高くなる傾向にある。

また、VR コンテンツのストリーミング特有の問題点として、時間帯によって通信が集中するため、ネットワークの実効スループットが低下することが挙げられる。

3. VR コンテンツのための QoS パラメータ

VR コンテンツは再生中断によって没入感が著しく損なわれるが、ネットワークの実行スループットの低下時には再生に必要なデータの不足が発生する。そこで、本研究ではストリーミングによる VR コンテンツの再生システムに QoS 制御機構を導入し、VR コンテンツの再生時に利用者の要求に従ってメディアの品質に関わるパラメータに優先順位をつけてその再生を維持することにした。

表1は VR コンテンツのストリーミング再生時における没入感に関係する要素をメディアの品質に関わるパラメータとして設定した例である。この表では各パラメータを 4 パターン (High、Normal、Low、None) で指定しており、これらのパラメータで指定される値や状態は VR コンテンツの再生時に維持を目指す目標値や状態を示している。ここで、ステレオ表示と全方位映像で設定される各状態は下記を示している。

- (MP1) 常時：ステレオ表示や全方位映像を常に維持
- (MP2) 積極的：ステレオ表示や全方位映像を他のパラメータよりも優先的に維持
- (MP3) 受動的：ステレオ表示や全方位映像を他のパラメータの維持に支障がない場合に維持
- (MP4) 無効：ステレオ表示や全方位映像を常に無効化

また、メディアパラメータの”None”は下記の設定を示している。

- (MPN1) フレームレート：静止画像の表示
- (MPN2) フレームサイズ：動画表示の無効
- (MPN3) ビットレート：静止画像の表示
- (MPN4) ステレオ画像：通常のビデオ表示（ステレオ動画の無効）
- (MPN5) 全方位映像：ヘッドトラッキングおよび視点操作の無効

これらのメディアパラメータは利用者からの要求に従って QoS パラメータとして設定される。表 2 に示す QoS パラメータは次の利用者要求を満たすためのメディアパラメータを設定している。

(QoSP1) 3D 表示優先：3D 表示のリアリティを優先するため、フレームサイズとステレオ表示を優先度上げ、全方位映像を無効化する

(QoSP2) 操作性優先：ヘッドトラッキングを優先するため、全方位映像の優先度を上げ、ステレオ表示の優先度を下げる

(QoSP3) 動作優先：コンテンツのオブジェクトの動きを追従できるようにするため、フレームレートとビットレートの優先度を上げ、ステレオ表示の優先度を下げる

(QoSP4) 詳細度優先：コンテンツのオブジェクトを正確に表示できるようにするため、フレームサイズとフレームレートの優先度を上げ、ステレオ表示の優先度を下げる

表 1. メディアパラメータの例

メディアパラメータ	High	Normal	Low	None
フレームレート	60fps	30fps	15fps	静止画像
フレームサイズ	FHD オーバー	FHD	HD	無効
ビットレート	15Mbps	8Mbps	4Mbps	静止画像
ステレオ表示	常時	積極的	受動的	無効
全方位映像	常時	積極的	受動的	無効

表 2. QoS パラメータの例

QoS パラメータ	3D 表示優先	操作性優先	動作優先	詳細度優先
フレームレート	Normal	Normal	High	Normal
フレームサイズ	High	Normal	Normal	High
ビットレート	Normal	Normal	High	High
ステレオ表示	High	Low	Low	Low
全方位映像	Low	High	Normal	Normal

以上のパラメータを考慮した場合、VR コンテンツの再生時にコンピュータネットワークへの負荷が低い場合にはオリジナルコンテンツが VR コンテンツとして再生される。一方、コンピュータネットワークへの負荷が高くなった場合には表 2 のように指定された QoS パラメータに従ってメディアパラメータが設定され、利用可能なリソースの範囲で VR コンテンツの再生維持を試みる。

4. ストリーミング VR コンテンツのための QoS 制御機構

本研究で対象とするストリーミング VR コンテンツはインターネット上の E2E (End-to-End)環境でストリーミング再生される VR コンテンツを想定している。本研究における QoS 制御では、利用者からの要求とアプリケーションに要求されるリアルタイム性 (VR コンテンツのリアルタイム再生、実世界からの入力と仮想世界の同期のリアルタイム性) に基づいて利用可能なコンピュータリソースの割り当てを制御するため、通信状態とメディアの優先度に基づいて VR コンテンツの操作性、メディアの品質、メディアを構成するデータ転送を制御することにした。図 1 はストリーミング VR コンテンツに QoS 制御を導入するためのシステム構成を示している。

本システムは RTP/RTCP^[6]上に構築され、RTCP によって通信状態 (送出パケット数、受信パケット数、パケット損失率、ジッタ値) を監視し、RTP によってメディアデータの転送を行う。クライアントアプリケーションでは利用者から QoS パラメータを取得し、サーバアプリケーションから送信された VR コンテンツのストリーミング再生を行う。プレゼンテーションパフォーマンスモニタは VR コンテンツのレンダリング性能とヘッドトラッキングや各種入力デバイスからの入力に対する応答性を監視し、プレゼンテーション品質制御はこの監視結果と QoS パラメータに基づいて VR コンテンツのレンダリング品質やヘッドトラッキングや各種入力デバイスからの入力と仮想世界を同期するために必要なメディアパラメータの設定やステレオ表示と全方位映像の有効/無効や優先度の設定に関わるプレゼンテーション品質の制御を行う。

メディア品質モニタはメディアの受信フレームレートと再生フレームレートを監視し、メディア品質制御はこの監視結果に基づいて VR コンテンツとして再生されるメディア同期を考慮してフレームレート、フレームサイズといったメディアの品質に関わる制御を行う。

ストリームモニタは RTCP から得られる通信状態を利用してフレームレートの維持に必要なパケットレート、パケットの再送と輻輳を監視し、メディアフロー制御はこれらの監視結果に基づいて E2E 間におけるメディアのビットレート制御と再送・輻輳制御を行う。

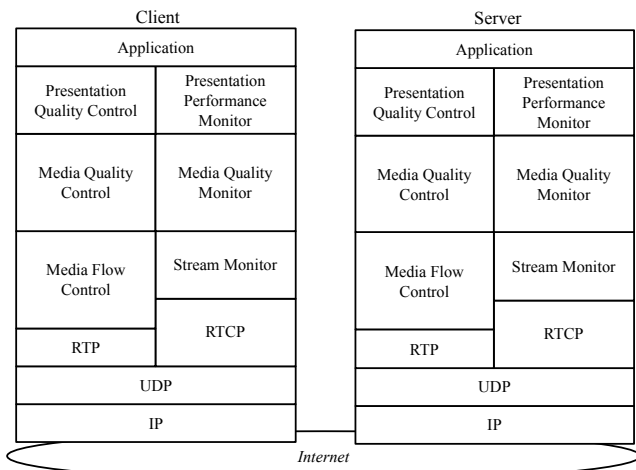


図 1. システム構成

5. 実装

本研究で提案する QoS 制御機構の QoS パラメータを検討するために、Web アプリケーションを開発し、表 3~5 に示す環境で予備評価実験を行なった。

表 3. クライアント環境

Types of Client	クライアント (送信側)	クライアント (受信側)
Hardware	MacBook (Retina, 13-inch, Late2013)	AQUOS SERIE mini SHV38
OS	mac OS Sierra	Android7.0
CPU	Intel Core i5	Snapdragon617
GPU	Intel Iris 1536MB	Adreno 405
RAM	DDR3 16GB 1600 MHz	16 GB
Display	2560 x 1600 pixel	1080 x 1920 pixel

表 4. Web サーバ環境 (ハードウェア)

Hardware	Mac mini (Late 2014)
OS	macOS Sierra
Processor	Intel Core i5
Memory	DDR3 16 GB 1600 MHz

表 5. Web サーバ環境(ソフトウェア)

Type of software	Product
Virtualization software	Virtual Box 5.0.40r115130
Management software for guest OSs	Vagrant 1.7.4
Guest OS	Ubuntu 16.04.3 LTS
Java script environment on the server	Node.js v6.11.1
Web application frame work	Express 4.13.0

開発した Web アプリケーションは利用者に以下の機能を提供するために、WebRTC を使用して一対一のリアルタイムストリーミングを実現する。

- WebRTC による P2P 接続
- サイドバイサイド動画形式の読み込みと再生
- 再生されている動画のストリーミング

「WebRTC による P2P 接続」では、同一 LAN 内にあるサーバーとクライアントで接続が可能であり、クライアントは二台まで接続が可能である。

「再生されている動画のストリーミング」では、P2P 接続されると自動で動画のストリーミングが始まる。

次に、実装及び予備評価実験時のネットワーク構成図を図 2 に、この Web アプリケーションの処理の流れを図 3 に示す。Web サーバがクライアントの要求に応じて Web アプリケーションの提供を行う。

- (1) 動画送信側で動画を読み込む
- (2) Web サイト上で、接続先を選択する。
- (3) シグナリング
- (4) P2P 接続の確立
- (5) 動画のストリーミング開始

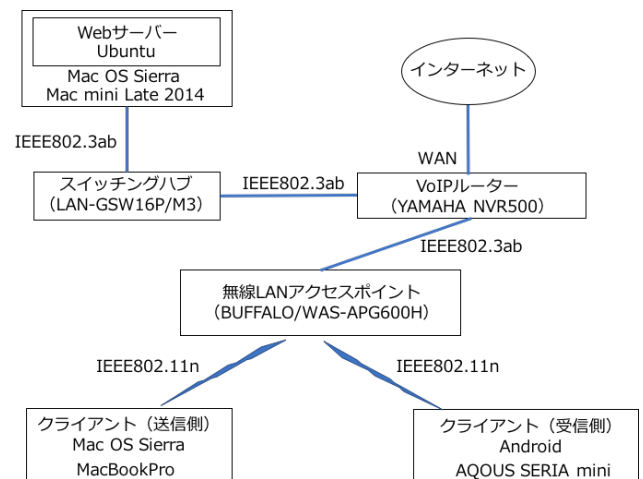


図 2. ネットワーク構成図

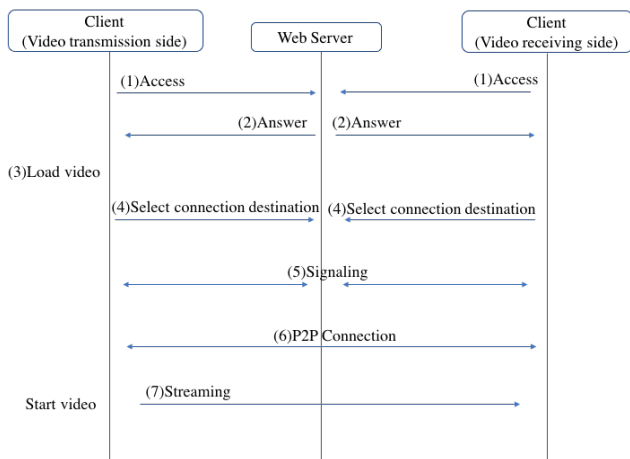


図 3. Web アプリケーションの処理の流れ

6. 予備評価

6.1 予備評価手順

提案する QoS 制御機構の QoS パラメータを設定するために、表 3~5 に示す実装環境上で、開発した Web アプリケーションを使用して、表 6 に示すサイドバイサイド形式の動画のストリーミングを行なった。開発した Web アプリケーションには動画の品質を制御する機能は実装されていないため、表 6 の各パラメータに対応する動画ファイルをそれぞれ用意することで、動画ストリーミング時の各パラメータの維持の可否を評価する。測定手順を以下に示す。

- (1) サーバを起動
- (2) Android と MacBookPro の両方から Chrome 上で Web サーバにアクセス
- (3) Android と MacBookPro の両方から Chrome 上で別タブを開き、chrome://webrtc-internals/にアクセス
- (4) MacBookPro 上でローカル動画ファイルを読み込む
- (5) 再生と同時に Android に映像を送信
- (6) 接続と同時に計測を開始
- (7) 両方で動画の再生が終了した後、P2P 接続をした状態で chrome://webrtc-internals/において以下のボタンをクリックし、結果をテキストファイルで出力
- (8) webrtc-dump-importer^[7] で取得したテキストファイルを読み込み、グラフ化

6.2 予備評価対象

予備評価の動画のストリーミングに利用した動画を表 6 に示す。フレームサイズとフレームレートを変更した再生時間 60 秒の動画を 9 種類用意した。全ての動画がサイドバイサイド形式で、エンコードは H.264 である。動画の内容としては、3D キャラクターが走ってジャンプする動画である。動画送信側から受信側にストリーミングされる際のエンコードは VP8 である。

6.3 予備評価結果

予備評価の測定結果を作成した動画において最も高品質な再生時間 60 秒の解像度 2560×1440 フレームレート 60fps の動画をストリーミングした時の測定結果を図 4 から図 6 に示す。

図 4 より、動画のフレームレートが 60 [fps] から 30 [fps] に低下していることが確認できる。フレームレートが 30 [fps] になる現象は 15 [fps] の動画も含めて、全ての動画で確認された。

図 5 より、フレームサイズは送信時は動画の元々のフレームサイズを維持していたが、その後は段階的に低下していることが確認できる。1280×720 [pixel] まで低下している。

図 6 より、ビットレートは送信開始時から送信終了までほぼ一定という結果になった。

また、図 4 および図 5 より、送信開始時にはフレームレートが低下し、フレームサイズが優先されているが、開始 10 秒後に、フレームサイズが低下し、フレームレートが上昇している。このことから、Chrome ブラウザが通信を安定させるために、フレームサイズを低下させ、フレームレートを優先していることがわかる。このこととビットレートが変化していないことからビットレートを基準にフレームサイズとフレームレートの制御が行われていることが推測される。

表 6. 予備評価対象の動画

フレームサイズ	フレームレート [fps]	ビットレート [Mbps]	データ容量 [MB]
HD 1280×720	15	3.59	27
	30	3.59	26.9
	60	3.59	27
FHD 1920×1080	15	8.08	60.7
	30	8.07	60.6
	60	8.08	60.6
QHD 2560×1440	15	14.37	107.9
	30	14.35	107.7
	60	14.34	107.6

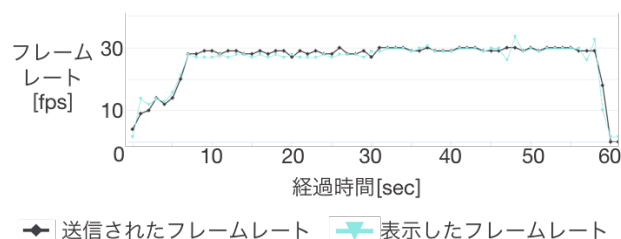


図 4. QHD/60 [fps] の動画ストリーミング時のフレームレート変化

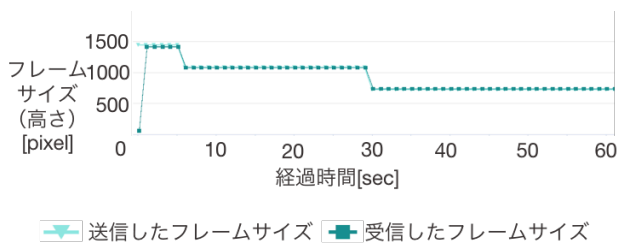


図 5. QHD・60[fps]の動画ストリーミング時の解像度変化の比較

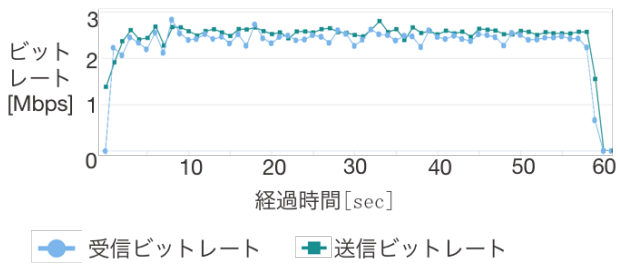


図 6. QHD・60[fps]の動画ストリーミング時のビットレート変化の比較

7. まとめと今後の課題

本稿では、VR コンテンツの没入感に関わる要素について述べ、QoS 制御の対象となる利用者要求と VR コンテンツのパラメータについて議論した。そして、ストリーミング VR コンテンツのための QoS 制御機構を提案し、既存のメディアによる QoS パラメータの予備評価を行った。

結果から、どの動画においてもフレームサイズが 1280×720[pixel]に、フレームレートが 30[fps]に変化した。フレームサイズが大きく低下した場合、表示できるピクセル数が減少し、両眼視差による立体視は維持が困難になることが推測される。そのため、フレームサイズがある一定の基準より低下した場合にサイドバイサイド形式の有効・無効を切り替える QoS パラメータを検討する必要がある。

今後の課題として、今回の予備実験ではヘッドトラッキングと全方位映像に対応していないため、その機能と提案する QoS 制御機構を実装した VR コンテンツの作成を行う。また、3D 映像表示と 2D 映像表示におけるフレームサイズの違いによる没入感への影響の評価と VR コンテンツの利用者が体感した没入感の評価方法の検討をする予定である。

参考文献

- 1) Huyen T. T. Tran, Nam Pham Ngoc, Cuong T. Pham, Yong Ju Jung, Truong Cong Thang, : A Subjective Study on QoE of 360 Video for VR Communication. 2017 IEEE 19th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), (2017)
- 2)Oculus, :Oculus ベストプラクティス, (<https://s3.amazonaws.com/static.oculus.com/documentation/pdfs/ja-jp/intro-vr/latest/bp.pdf>), 2016
- 3) Ejder, B., Mehdi, B., Muriel, M., Mérouane, D.: Toward Interconnected Virtual Reality: Opportunities, Challenges, and Enablers. IEEE Communications Magazine, Vol. 55, Issue: 6, pp.110-117. (2017)

- 4) Hamed, A., Omar, E., Mohamed, H.: Adaptive Multicast Streaming of Virtual Reality Content to Mobile Users. Proceedings of the on Thematic Workshops of ACM Multimedia 2017. pp170-178. (2017)
- 5) Mingzhe. C., Walid, S., Changchuan, Y.: Resource Management for Wireless Virtual Reality: Machine Learning Meets Multi-Attribute Utility, IEEE Global Communications Conference 2017.
- 6) 加藤 寧, 西山 大樹.: 5章 RTP と RTCP: 3 群 4 編, トランスポートサービス: 電子情報通信学会知識ベース知識の森 (http://ieice-hbkb.org/portal/doc_610.html) (2018.7.13)
- 7) Import webrtc-internals dumps.(<https://fippo.github.io/webrtc-dump-importer/>) (2018.07.11)