

# VR 技術を利用した理科教材のリアルタイム共有システムに関する設計と評価

林原研究室  
g2254252  
中村綺大

# 目次

- 研究背景
- 問題点
- 研究目的
- 提案手法
- 実験目的
- 実験概要
- 計測指標
- 実験結果
- 考察
- まとめ

# 研究背景

- 理科分野には理解が難しい三次元的内容が含まれている
- VR/AR技術の発展により直感的な学習が可能
- VR/ARによる視覚的学習支援が有効



図1 VRデバイスを用いた教育のイメージ

# 問題点

先行研究に目に見えない抽象的概念である

「電気回路実験」の可視化(\*) するAR教材の提案がある  
(上記のようなVR,ARを使用した教材の提案は多く存在する)

- 必要な通信帯域・遅延要件が明確でない
  - 高精細3Dデータにより通信遅延・通信量増大が発生
- MQTTを使用した非同期システムの有用性
  - リアルタイム通信における非同期システムは今後有用である
  - 先行研究にMQTTを使用した非同期システムが少ない

# 研究目的

- 理科教育で用いる AR/VR 教材をリアルタイム共有するための通信特性を明らかにする
- 通信環境の変化がシステム動作に与える影響を評価する
- 教育現場での実運用に必要な通信条件を明確化

# 提案手法(1/3)

- 概要

本研究では、教師が操作する教師用端末、送信された情報を受け取る生徒用端末、データの仲介を行うメッセージブローカで構成される。

- システム概要

- 教師、生徒の両PCに教材データとして同一のシーンを配置
- 教師端末と生徒端末間でリアルタイムに同期
- Pub/Sub型通信モデルを採用し、端末間を疎結合に構成

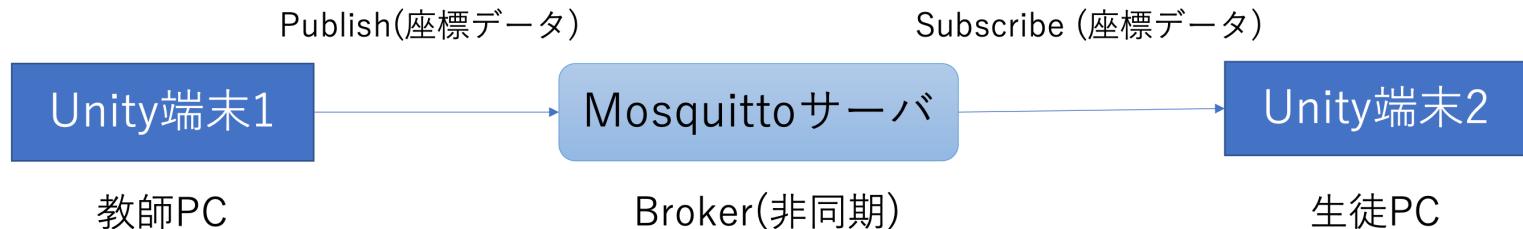


図2 システム概要図

# 提案手法(2/3)

- ・開発環境・使用ツール

## 1. Unity

- ・3次元教材(天体の運動)を構築
- ・クロスプラットフォーム開発が可能
- ・VR/AR機器への実装が容易

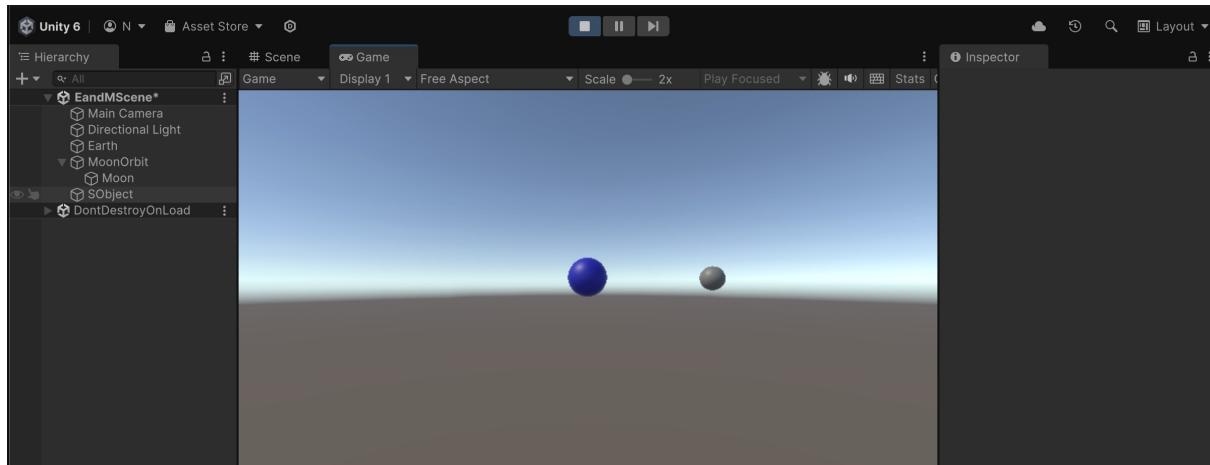


図3 Unity制作画面

# 提案手法(3/3)

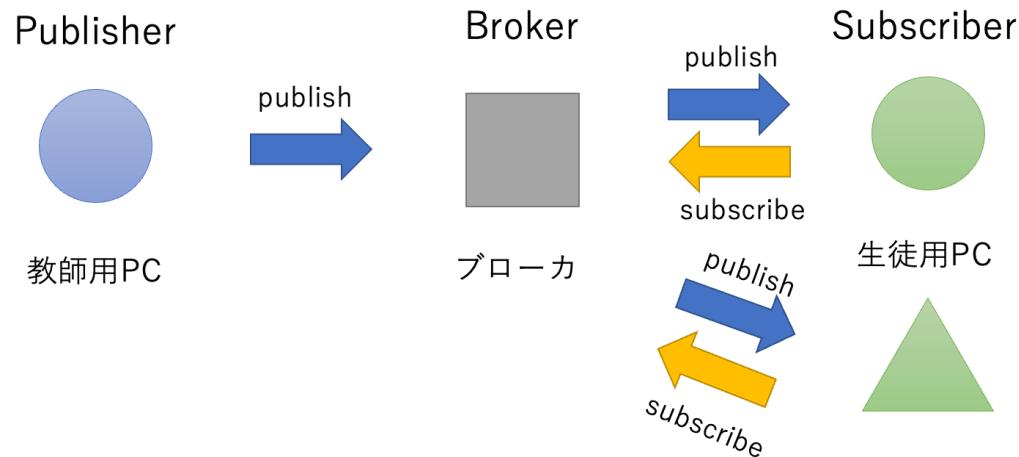
- 開発環境・使用ツール

## 2. MQTT

- 軽量なリアルタイム通信プロトコル

- パブリッシュ/サブスクライブ型通信

- 送信データはJSON形式



## 3. Mosquitto

- MQTTのメッセージブローカ

図4 Pub/Sub通信による教材の共有

- 教材データのリアルタイム中継を担当

# 実験目的

- 本同期システムにおける以下の2項目を評価し、教育現場での実用性を検証する。
  - 通信データ量(帯域幅)
  - 送信頻度の違いによる反映遅延時間の変化

なお、送信頻度は「1秒間に実行されるOperationの回数」とする。

Operationとは1回ごとの同期プロセスであり、データの取得・加工・送出を含む

本研究では operations per second と表し、  
30 ops/sec (高頻度) と 5 ops/sec (低頻度) を比較。

送信間隔を次回の送信 (Operation) が実行されるまでの固定の待機時間  
Send Interval(送信間隔) =  $1 / \text{Ops/Sec}$  とした。

# 実験概要

- 教師側と生徒側の PC 間で三次元オブジェクトの状態をリアルタイムに同期するシステムを構築
- 通信方式にWebSocketを使用
  - 3次元オブジェクト(地球、月...etc)の位置・回転情報をJSON形式で送信
- 本実験は1対1通信(教師1名・生徒1名)で行った。
  - 物体の運動を自動送信
  - 教師が物体を操作する

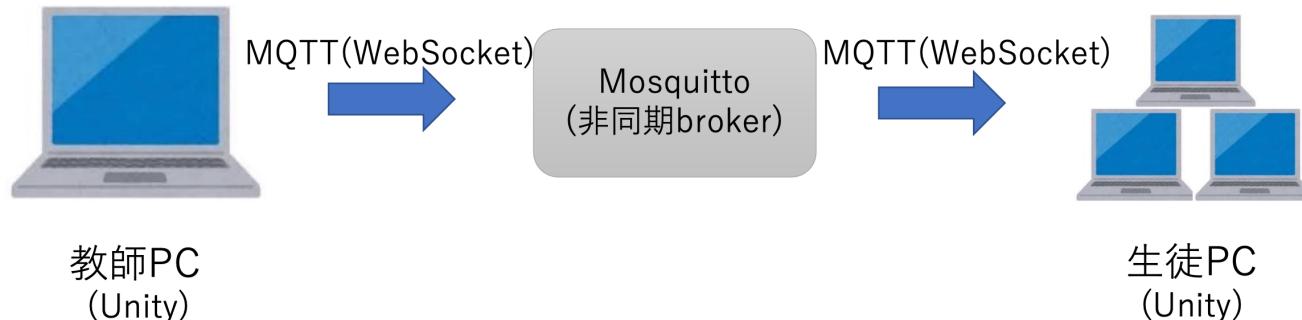


図5 実験概要図

# 計測指標(1/2)

- 帯域幅

帯域幅 = 1回の送信で送られるデータ量 × 1秒間に送信される回数

$$\text{Bandwidth [B/s]} = \text{DataSize} \times f_{\text{send}}$$

本実験では文字列データのUTF-8バイト数を測定し、1秒間の合計を計算

$$\text{Bandwidth [B/s]} = \sum_{i=1}^N \text{Bytes}_i$$

\* ここで N は1秒間に送信されたメッセージ数、Bytes\_i は i 番目のメッセージのバイト数である。

# 計測指標(2/2)

- 更新(反映)遅延

- 端末間の時刻同期のズレに影響されない正確な遅延を測定するため、RTT (Round Trip Time : 往復時間) を用いた計測を行った。
1. 教師端末から送信するデータに送信時刻  $t_{start}$  を付加。
  2. 生徒端末はデータを受信した直後、そのデータを教師端末へ送り返す。
  3. 教師端末がデータを受け取った時刻  $t_{end}$  との差（往復時間）を算出し、その半分を「遅延実測値（片道）」と定義

$$\text{Delay [ms]} = \frac{(t_{end} - t_{start})}{2} \times 1000$$

更新(反映)遅延は

Delay + Send Interval で求めることができる。

# 実験結果(1/2)

- 低頻度 (5ops/sec)

反応遅延 : 207.8 ms

帯域幅 : 4.4 KB/s

- 高頻度 (30ops/sec)

反応遅延 : 41.7 ms

帯域幅 : 26.5 KB/s

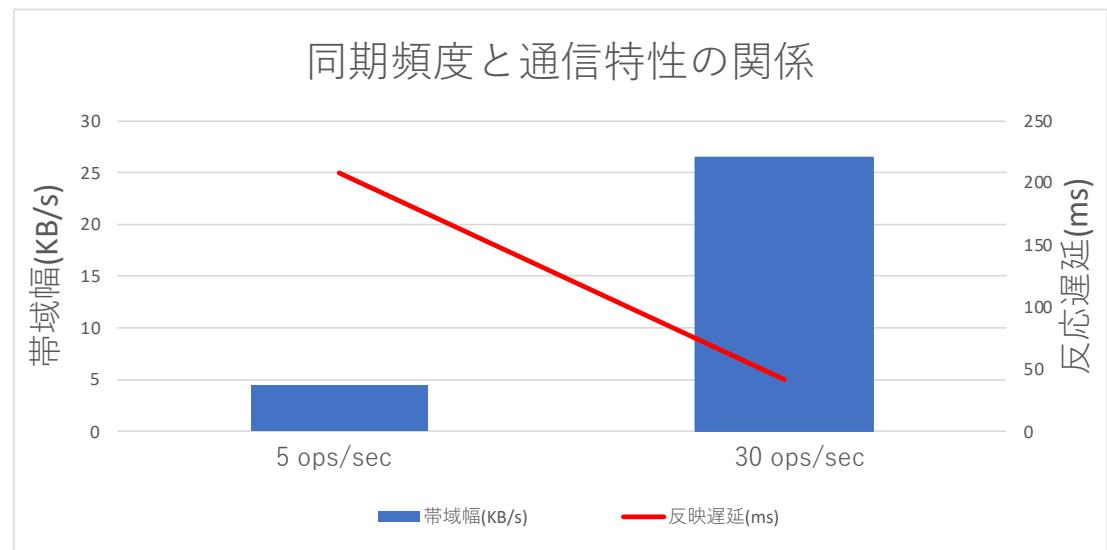


図6 同期頻度と通信特性の関係

# 実験結果(2/2)

- 自動運動時

低頻度：207.6 ms ( $\pm 5$ )  
高頻度：41.4 ms ( $\pm 5$ )

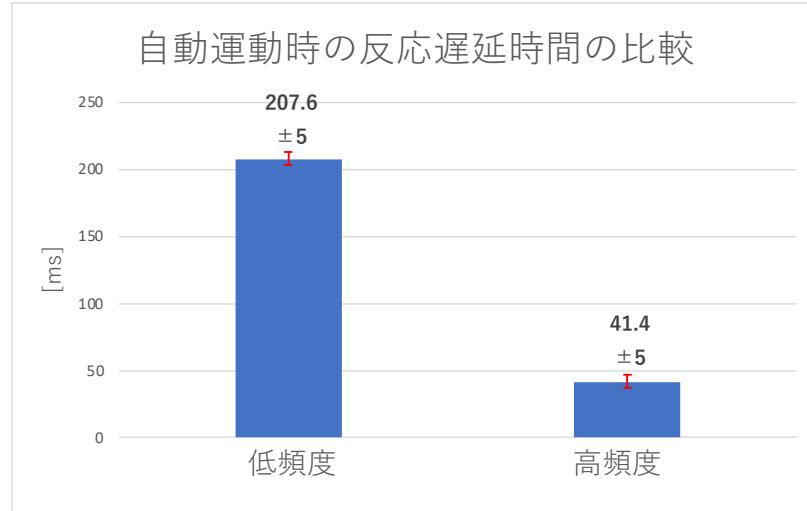


図7 自動運動時の反応遅延時間

- 手動操作時

低頻度：208.0 ms ( $\pm 4.8$ )  
高頻度：42.0 ms ( $\pm 4.8$ )

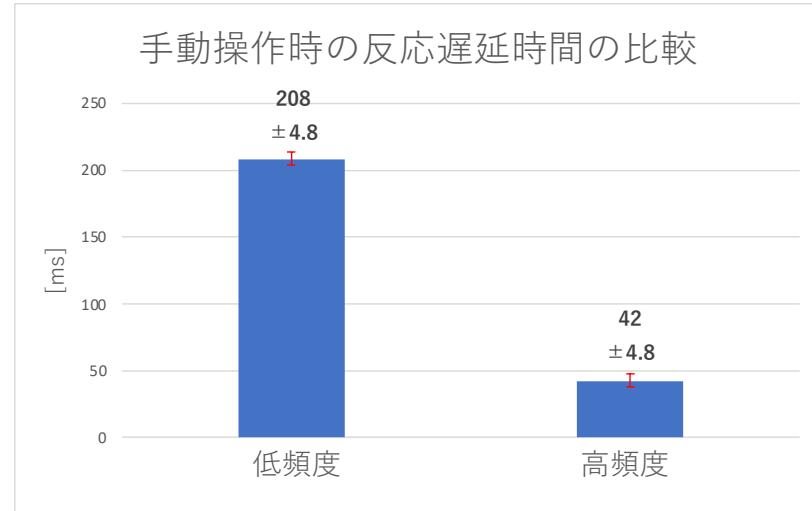


図8 手動操作時の反応遅延時間

- 操作形態に依存しない安定した特性
- 安定した同期

## 考察(1/2)

- 送信頻度が高いほど通信遅延は低い
  - 低頻度(5 ops/sec):約 208 ms
  - 高頻度(30 ops/sec):約 42 ms

反映遅延は「通信回線の性能」だけでなく、  
システムの「送信間隔（設計）」に大きく依存する。

- 教師の操作をリアルタイムに共有する上で、実用的な性能

## 考察(2/2)

- 教育現場での実運用可能性

- 1対1通信における帯域幅

高頻度同期(30 ops/sec)においても、**約 26.5 KB/s** という低帯域での教材同期が可能。

- 講義環境(教師1 対 生徒40)を想定

**必要帯域：約1.06 MB/s**

一般的な学内ネットワーク(Wi-Fi環境など)で十分対応可能

対多数の教育現場でも実現可能性が高く

VR/AR理科教材として活躍できる可能性がある

# まとめ

本研究で理科教材のリアルタイム同期を行い、

- ・操作形態に依存しない安定した同期の実現

- ・低帯域での教材同期の実現

送信頻度を高頻度としても1対1通信の帯域幅は26.5KB/s

- ・教育現場での実運用可能性

1クラス40名を想定した推定帯域幅は**約 1.06MB/s**

一般的な学内LAN環境で十分に運用可能

## 今後の課題

クラス単位(40名規模)の実環境における多人数同時接続実験 など