

複合現実環境を用いた交通流シミュレーション環境の開発

永尾 雅俊^{1,a)} 安藤 崇央^{1,b)} 福田 晃^{1,c)}

概要：

近年，最先端の情報通信技術などを活用して人と道路と自動車で情報の受発信を行うシステムを構築し，快適な移動の実現に寄与する高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems (ITS)) の発展が進められている．これらの ITS サービスの開発では，そのサービスが交通社会に与える影響を検証することが重要であり，一般的に交通流シミュレータを用いた確認が行われている．そうした交通流シミュレータ環境開発の研究の中には視覚的な効果を考慮して仮想現実 (Virtual Reality (VR)) や複合現実 (Mixed Reality (MR)) を用いて実装を行っているものもあるが，シミュレータと VR/MR デバイスの依存関係について考慮されておらず，シミュレータとデバイス上のモニタリング機能を分離し，別々に開発することは考えられていない．本研究では，交通流シミュレータと複合現実環境を接続する際にマイクロサービスアーキテクチャを適用することで一方の実装に影響されない疎な関係の実装を施し，その問題を解決する．また，UI/UX の考慮が重要となってくる ITS サービス開発に複合現実を活用することで人間がどのように感じるのかという検証にも貢献できる環境の構築を目指している．本稿では，現在開発中の複合現実環境を用いた交通流シミュレーション環境について，マイクロサービスアーキテクチャの適用法など含め概説を行う．

キーワード：スマートモビリティ，ITS，交通流シミュレータ，マイクロサービスアーキテクチャ，複合現実

1. はじめに

近年，IoT (Internet of Things) の発展が目覚ましく，IoT を活用した事例の中には人々の安全・快適で持続可能な交通社会の実現を目指すスマートモビリティがあり，その実現が望まれている [1]．現在，その実現を目指しカーナビゲーションシステムなどの ITS (Intelligent Transport Systems) に関するサービスが数多く開発され，ITS が社会基盤を担うようになってきている．そこで，その基盤システムが社会に与える影響を確認する重要性が高まっており，交通流シミュレータを用いた検証が盛んに行われている．そうした交通流シミュレータ環境開発の研究の中には視覚的な効果を考慮して仮想現実や複合現実を用いて実装を行っているものもあるが，交通流シミュレータとデバイスの依存関係について考慮されておらず，シミュレータとデバイス上のモニタリング機能を分離し，別々に開発することは考えられていない．そこで，本研究では交通流シミュレータと複合現実環境を接続する際の構成としてマイクロ

サービスアーキテクチャを適用することで一方の実装に影響されない疎な関係の実装を施し，その問題の解決を試みている．また，本交通流シミュレーション環境の開発では，車内に次の信号情報を表示して運転者のサポートを行う TLA (Traffic Light Assistant) システムなどの UI/UX に関わる ITS サービスの検証にも貢献できる環境の構築を目指している．

本稿の構成は以下の通りである．2 節では本研究で取り扱う関連技術について，3 節では参考にした関連研究について述べる．4 節では実装したシステムの概要について示し，5 節でそのシステムの詳細部分の説明を行う．6 節では開発した複合現実を用いた交通流シミュレータ環境を実行した様子について紹介し，7 節でまとめとする．

2. 関連技術

本節では，システム構成に適用したマイクロサービスアーキテクチャの説明とシミュレーションのモニタリング機能に用いた複合現実について述べる．また，本研究で使用する交通流シミュレータの SUMO について紹介する．

2.1 マイクロサービスアーキテクチャ

マイクロサービスアーキテクチャとは，James Lewis 氏，

¹ 九州大学大学院システム情報科学府/研究院
Graduate School / Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

a) nagao@f.ait.kyushu-u.ac.jp

b) ando@f.ait.kyushu-u.ac.jp

c) fukuda@f.ait.kyushu-u.ac.jp

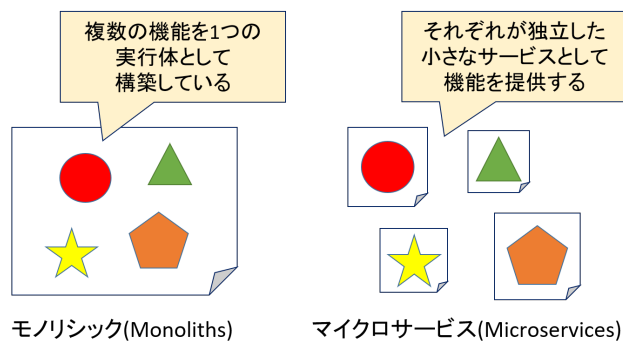


図1 システム構成の代表例

Martin Fowler氏が提唱した、複数の小規模なサービス(マイクロサービス)を合成し、1つのシステムを実現するシステム構成である[2]。各々のマイクロサービスは、それぞれ異なる機能を提供するサービスとなっており、各サービス間の接続は、軽量な通信方式でのデータ送受信により実現される。図1は、モノリシックアーキテクチャ、マイクロサービスアーキテクチャの違いを図で示したものである。図中の各図形はそれぞれ異なるサービスを指す。マイクロサービスアーキテクチャでは機能ごとにマイクロサービスとして独立しており、それぞれの関係が疎な結合となっている。そのため、全体のシステムが1つの機能の欠陥に影響されづらいシステム構成を実装できるという特徴をもつ。

2.2 Mixed Reality (MR) [3]

MRとは複合現実と呼ばれ、ヘッドマウント型ディスプレイを通して現実世界に仮想の情報や物体を投影し、現実世界のオブジェクトと仮想世界のオブジェクトが相互に作用し合う技術である。MRデバイスには、透過型(Holographic)と没入型(Immersive)の2種類のMRヘッドセットが存在する。透過型デバイスはARに近い特徴を持ち、透過レンズを通して現実世界を認識し、仮想情報を本当にその場所にあるかのように見せる。また、没入型デバイスはVRに近い特徴を持ち、現実世界を隠し仮想の体験に取り替えることによって、仮想世界に存在しているように見せる。本研究でモニタリング機能の実装に使用するデバイスは透過型MRデバイスのMicrosoft HoloLensである。

2.3 SUMO [4]

交通流シミュレータSUMO (Simulation of Urban Mobility)とは、ドイツ航空宇宙センター(Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt (DLR))が開発しており、交通に関する車両や歩行者といった移動体の動きや信号などの仕組みを擬似的に表現するものである。交通流シミュレータを用いることで、移動体の流れや渋滞などを観測することができ、ITSサービスの検証などに用いられる。また、以下のような特徴を持つ。

- オープンソースであり、開発が盛んに行われている。

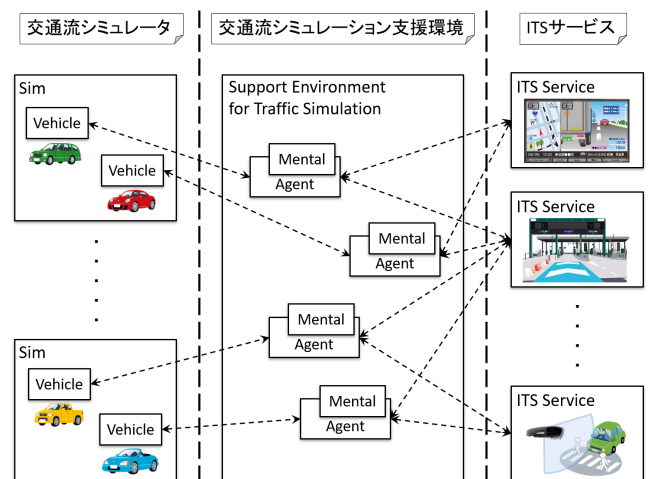


図2 交通流シミュレーション支援環境の全体像

- シミュレータ上のオブジェクトに外部からアクセス可能なAPIが標準で用意されている。
- 道路ネットワークにOpenStreetMap[5]形式のデータを使用できる。

本研究で開発する複合現実を用いたシミュレーション環境では、交通流シミュレーションの実行エンジンとしてSUMOを利用している。

3. 先行研究, 関連研究

本交通流シミュレーション環境では、交通流シミュレータから情報取得を行い、シミュレーション状況を複合現実環境上に3Dホログラフィックを用いて再構築を行っている。本節では、交通流シミュレータの接続に使用している支援環境に関する研究[6]、及びゲームエンジンを利用して3Dグラフィックを用いた運転シミュレーション環境を構築した研究[7]について紹介する。

3.1 ITSサービス向け交通流シミュレーション支援環境構築に関する研究

文献[6]では、ITSサービスを検証する際に、サービス自身の開発とは別にサービスから受ける影響を反映したモデルをシミュレータ上に作りこむ必要性があることに着目し、その手間を省くため、シミュレータとITSサービスを仲介し情報のやり取りを手助けする環境を整備することを目的とした支援環境(Unified Simulation Field)の構築を行っている(以下、この支援環境のことをUniSimと呼ぶ)。その全体像を図2に示す。この支援環境は、交通流シミュレータSUMOとの接続に対応しており、シミュレータ上の各車両に対応するエージェントが、外部のITSサービスへの情報共有を支援する役割を担う。本研究ではこの支援環境を適用して複合現実を用いた交通流シミュレーション環境の構築を行っている。本シミュレーション環境では、MRデバイスを1つのITSサービスとして支援環境

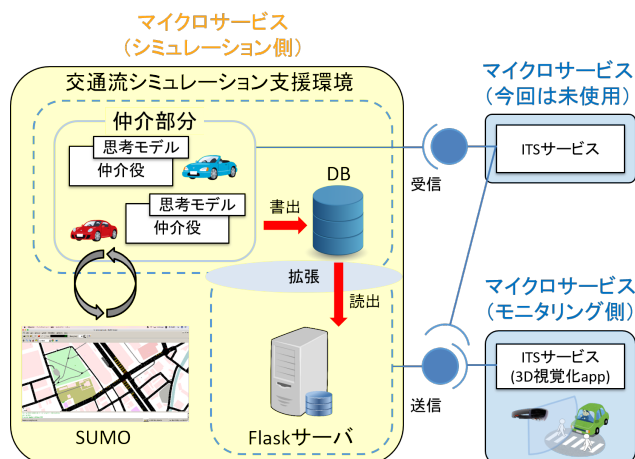


図 3 複合現実を用いた交通流シミュレータ環境のシステム全体像

に接続し、支援環境から取得した車両情報に基づいた 3D オブジェクトを投影することで複合現実環境下での交通流シミュレーションを可能としている。

3.2 ゲームエンジンを活用した V2X 通信ベースシステム検証のための環境構築

文献 [7] では、V2X システム（自動車とその周囲とのデータ交換を行うシステム）が運転者の挙動や運転技術にどのような影響を与えるのかを検証するために、運転者視点で観察ができるシミュレータの開発を行っている。その環境の構築には、現実的な交通流を SUMO を用いて再現し、その自動車データを随時、3D グラフィック表現が可能なゲームエンジン Unity に送信して、現実的な運転状況を再現するといった構成をとっている。また、開発した環境の評価では TLA (Traffic Light Assistance) を用いた使用感の検証を行っており、25 人の被験者に対して約 80% が満足したという結果が報告されている。システム構成などの違いはあるが、我々も同様に SUMO や Unity を使用してシミュレータ環境構築を行っており、データの受け渡しなどの実装中に考慮する必要があった点などを参考にしている。

4. システム概要、事前知識

本節では、現在開発中のシミュレーション環境のシステム全体像について述べる。また、交通流シミュレータと複合現実環境との通信方法や取得するデータ情報についても言及する。

4.1 システムの全体像

開発を行っている複合現実を用いた交通流シミュレータ環境のシステム全体像は図 3 のようになる。システム構築ではマイクロサービスアーキテクチャの考えに基づいており、各々が独立して開発・動作ができるマイクロサービスを組み合わせることで 1 つのサービスを成している。マイクロサービスとして、以下の 2 つが存在する。

表 1 REST API の操作

操作の種類	処理内容	CRUD 操作の対応
POST	データ作成	Create
GET	データ取得	Read
PUT	データ更新	Update
DELETE	データ消去	Delete

- 交通流シミュレーションを行い、その結果を提供する機能
- 自動車データを基に 3D 車両オブジェクトを生成し、用意された 3D 地図オブジェクトの中を走行する様子を見ることができる 3D 視覚化機能

マイクロサービス間の通信方法については、マイクロサービスアーキテクチャで主に用いられる REST API の考えに基づいた HTTP 通信で行っている。今回は UniSim と接続する ITS サービスとして 3D 視覚化アプリケーションのみとなっているが、他の ITS サービスとの複合接続も十分可能な実装としている。

4.2 REST API

REST (REpresentational State Transfer) API は、Web サービス設計モデルの一種である。マイクロサービスアーキテクチャを適用したときのマイクロサービス間のデータのやり取りの通信手段として主に用いられている考え方である。送受信されるデータの形式は JSON (JavaScript Object Notation) や XML などがあるが、一般的に JSON が使われることが多い。仕様は以下の通りである。

- 個々のリソースは URL で参照でき、HTTP メソッドを用いて通信する。
- 表 1 に示す 4 つの主な操作がある。
- HTTP ステータスコードにより結果を通知する。

4.3 交通流シミュレータ支援環境の追加機能実装

UniSim にはシミュレーションの 1 ステップ (1 チック) 毎に交通情報を保存するデータベース機能が搭載されている。本研究で開発している複合現実を用いた交通流シミュレータ環境で必要となる情報を選別し、以下の情報を記録させている。

- 車両のエージェント ID (agentid)
- 車両のシミュレータ ID (vehid)
- 車両のスピード (speed)
- 車両の角度 (angle)
- 車両の経度 (lng)
- 車両の緯度 (lat)

文献 [6] の支援環境では、各々の車両情報にアクセスするときには常に接続して観察していなければいけない実装となっていたが、データベースの情報を提供するサーバを追加することで、外部からの HTTP リクエストでの情報

表 2 UniSim が提供する API

目的	エンドポイント	メソッド
全データを取得する	http://<IP アドレス>/ticks	GET
1tick の車両情報を取得する	http://<IP アドレス>/ticks/<tick の値>/vehicles	GET
1 台の車両の情報取得	http://<IP アドレス>/ticks/<tick の値>/vehicles/<vehId の値>	GET
1 台の車両情報の更新	http://<IP アドレス>/ticks/<tick の値>/vehicles/<vehId の値>	PUT
1 台の車両情報の削除	http://<IP アドレス>/ticks/<tick の値>/vehicles/<vehId の値>	DELETE

受け渡しを可能とした。サーバの実装には Python 用ウェブアプリケーションフレームワークである Flask を用いて行った。JSON 形式で表される実際の送信データについては 5.1.2 節で紹介する。

5. 実装詳細

本節では、本シミュレーション環境を構成する 2 つのマイクロサービスについてそれぞれ概説を行う。

5.1 交通流シミュレーションを担当するサービス (シミュレーション側)

交通流シミュレーション側の実装では支援環境 UniSim を操作する際に Python を用いた。実装において考慮した内容を以下で述べていく。

5.1.1 UniSim が提供する API

UniSim が提供しているデータベース中のデータにアクセスする手段として、表 2 のような API 設計を行っている。現状では 3D 視覚化を行うアプリケーション側で必要となる GET メソッドを用いた情報取得までの実装を優先しており、今後 POST/PUT/DELETE メソッドを用いた実装についても順次行う予定である。

5.1.2 データ形式・構造

支援環境 UniSim から REST API を通して取得できるデータの形式は {key: value} で表現される JSON を用いている。ここでは書籍 [8] を参考にし、以下のようなことを考慮した上でデータ構造の設計を行った。

- レスポンスデータが何を示しているものか分かりやすい構造にする
データを必要とする側がどの部分が使用したいデータなのかがひと目で分かるような構造及び名前にする。不要な階層化はすべきではないが状況次第では用いる。
- レスポンスデータを配列ではなくオブジェクトに統一する
レスポンスデータは複数データとなる場合も考えられるが、返却値として配列とオブジェクトが混在していると扱いにくい。統一する。返却値が配列になる場合は、その配列に key を付与してオブジェクトで包む。
- レスポンスデータの粒度をユーザーが選択できるようにする
必要とするデータが複数あった場合に、その都度アク

セスさせるのではなく、1 つ上の階層を選択することで対象データの全部を取得可能な仕組みにする。

上記の項目を考慮し、実際に以下のようなデータ構造を用いている。

```
{ "ticks": [
  { "tick": 0,
    "vehicles": [
      { "agentId": "ecd67e3c3d6a45fc82fd",
        "vehId": "veh_0.0",
        "speed": 22.4144992285,
        ... },
      { "agentId": "4e84a294949046dcacdc",
        "vehId": "veh_0.1",
        "speed": 20.036358744,
        ... },
      :
    ],
    :
  },
  { "tick": 1, ... }
  { "tick": 2, ... }
  :
]}
}
```

5.2 3D 視覚化を担当するサービス (モニタリング側)

3D 視覚化を行う機能であるアプリケーション側の開発にはゲームエンジン Unity を用いている。アプリケーションの実装において考慮した内容を以下で述べる。

5.2.1 使用する 3D 地図オブジェクト

複合現実環境上で、シミュレーション状況を表現するため、シミュレーション対象地域の 3D 地図オブジェクトが必要となる。本シミュレーション環境の開発において実際に試した 3D 地図オブジェクトの準備方法について、利用したツールならびにサービスの紹介を共に以下に示す。

- utymap [9]
Apache ライセンスで提供されており、OpenStreetMap データから 3D オブジェクトを生成できるツールである。多くのウェブ地図 API が対応している地理院タイル仕様に従った実装になっており、ズームレベルとタイル座標を指定して 3D オブジェクトを作成する。SUMO でも OpenStreetMap 形式のデータを用いることができるため、対象の 3D 地図オブジェクトを生成

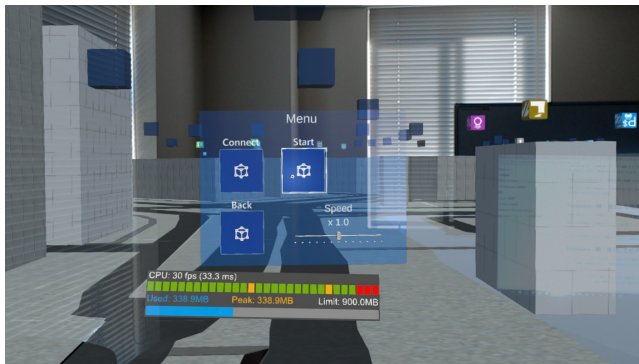


図 4 メニューパネルの様子

しやすい。

- OSM2World [10]

GNU LGPL ライセンスで提供されており，こちらも OpenStreetMap データから 3D オブジェクトを生成できるツールである．こちらは SUMO で使用している OpenStreetMap データをそのまま使用して 3D オブジェクトを作成することが可能である．

- ゼンリン 3D 地図データオンライン提供サービス [11]

地図データを提供している企業である株式会社ゼンリンより提供されるサービスである．Unity で利用できる非常に詳細度の高い 3D 地図オブジェクトが提供されている．

5.2.2 Unity 上での車両位置合わせ

交通流シミュレータ SUMO 上の車両の位置情報からゲームエンジン Unity 上の 3D 車両オブジェクトの配置位置へ変換する方法として以下の 2 つが考えられる．

- SUMO の xy 座標値を Unity の xz 座標値に変換する
こちらの方法では，サーバ側で用いる SUMO の地図原点座標がどの位置に当たるのかを予めアプリケーション側で知っておく必要がある．これは，片方のマイクロサービスに依存した実装となってしまう，マイクロサービスアーキテクチャに沿わないと考え，採用しなかった．
- SUMO の緯度経度情報を Unity の座標値に変換する
前者の方法と異なり，緯度経度情報の受け渡しであればサーバ側の実装に影響されないと考えたため，本研究ではこちらの方法を採用した．Unity 上で車両を配置する際には，緯度経度情報から平面直角座標系 [12] に変換する必要がある，国土地理院に掲載されている変換方法 [13] を参照した．

5.2.3 User Interface

複合現実を用いた交通流シミュレーション環境の中をよ



図 5 車両視点で観察したシミュレーション環境の様子

り快適に観察することができるよう以下のような実装を施している．

- メニューパネルによる制御

作成したメニューパネルを図 4 に示す．MR デバイスの画面越しに，視点を対象のパネルに合わせてタップイベントを発することで操作する．現在はサーバ側から情報を受け取る Connect ボタン，シミュレーションを始める Start ボタン，逆再生を始める Back ボタン，シミュレーション速度を変更する Speed スライダーといった必要最低限の機能だけを搭載しているが，必要に応じ拡張していく予定である．

- コントローラを用いた地図移動

本環境では MR デバイスに接続されたゲームコントローラのボタンを押すことで地図移動ができる．上下左右のボタンは，それぞれ順に前進，後退，左移動，右移動に対応している．実装時には MR デバイスの向いている角度を用いることで違和感なく移動できるようにした．

- 車両情報表示/車両追従機能

車両の上部に設置されている球体をタップすることで，車両情報が記載されたパネルを表示できる．また，パネルには対象の車両視点で追従することが可能なボタンが設置されている．図 5 は，車両視点で追従しながら前方にある車両の情報を確認している様子を示している．

6. 実行内容

本研究では表 3 の環境で実装を行った．開発した複合現実環境を用いた交通流シミュレーション環境の様子を図 7 に示す．このシミュレーション環境は，SUMO で実行したシミュレーション状況 (図 6) が支援環境のデータベースに格納され，そのデータベースの中身を参照してシミュレーション状況を 3D で表現している．また，この環境の中では自由に歩き回ることができ，メニューパネルやコントローラを使って観察条件も変更可能となっている．

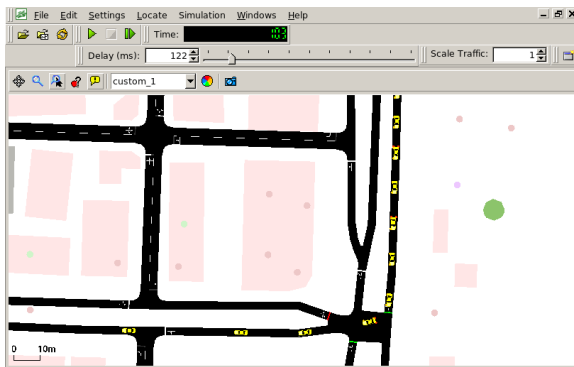


図 6 交通流シミュレーション環境の様子 (シミュレーション側)

表 3 実装/実行環境

交通流シミュレータ側	
OS	Ubuntu 18.04.2 LTS (WSL)
CPU	Intel Core i7-8650U
メモリ	16.0 GB
SUMO	1.1.0
Python	2.7.15rc1
複合現実環境側	
MR デバイス	Microsoft HoloLens
Software	Windows Holographic
OS Build	10.0.17763.806
Unity	2018.4.2f1
MixedRealityToolkit [14]	v2.0.0

7. まとめ

本稿では現在開発を行っている複合現実を用いた交通流シミュレーション環境についての報告を行った。実装部分では、マイクロサービスアーキテクチャを適用することで、交通流シミュレーションを行う機能と 3D 視覚化を行う機能それぞれが一方のマイクロサービスに依存せずに開発を行うことを可能とした。

今後の展望として、本シミュレーション環境がどの程度の車両数まで問題なく投影することができるのかなどといった耐用性の観点からの評価を行う必要があると考えている。また、複合現実の利点である現実世界を確認できる点を活かし複数台の MR デバイスでのシミュレーション状況の視界共有を実装したいと考えている。これにより、会議などで複数人で同じシミュレーション状況を別々の視点で観察することが可能となり、新しい気付きの獲得にも寄与できると考える。

謝辞 本研究は、科研費 JP15H05708 の助成を受けたものです

参考文献

[1] Fukuda, A., Hisazumi, K., Ishida, S., Mine, T., Nakanishi, T., Furusho, H., Tagashira, S., Arakawa, Y., Kaneko, K. and Kong, W.: Towards Sustainable Information Infrastructure Platform for Smart Mobility -

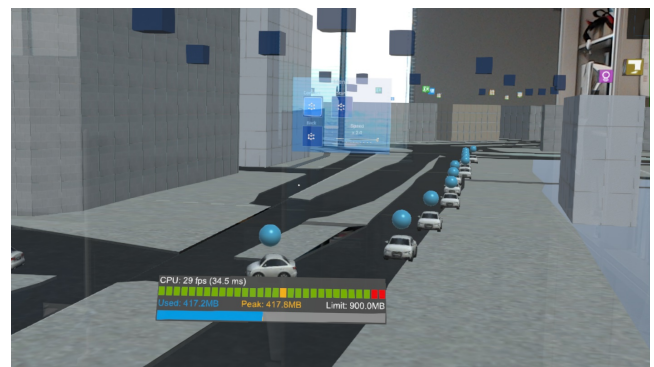


図 7 交通流シミュレーション環境の様子 (モニタリング側)

Project Overview, *2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, pp. 211–214 (online), DOI: 10.1109/IIAI-AAI.2016.110 (2016).

[2] Lewis, J. and Fowler, M.: Microservices, <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (2014).

[3] Microsoft: What is mixed reality?, <https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/mixed-reality/mixed-reality> (2018).

[4] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M. and Bieker, L.: Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility, *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, Vol. 5, No. 3&4, pp. 128–138 (online), available from <http://elib.dlr.de/80483/> (2012).

[5] contributors, O.: Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>, <https://www.openstreetmap.org> (2017).

[6] Fujii, R., Ando, T., Hisazumi, K., Mine, T., Nakanishi, T. and Fukuda, A.: Support Environment for Traffic Simulation of ITS Services, *Int'l Conf. Software Engineering Research and Practice (SERP'17)*, pp. 98–103 (2017).

[7] Olaverri-Monreal, C., Errea-Moreno, J., Díaz-Álvarez, A., Biurrun-Quel, C., Serrano-Arriazu, L. and Kuba, M.: Connection of the SUMO Microscopic Traffic Simulator and the Unity 3D Game Engine to Evaluate V2X Communication-Based Systems, *Sensors*, Vol. 18, No. 12 (online), DOI: 10.3390/s18124399 (2018).

[8] 水野貴明: *Web API: The Good Parts*, オーム社 (2014).

[9] Builuk, I.: utymap ver2.3, <https://github.com/reinterpretcat/utymap> (2017).

[10] Knerr, T.: OSM2World 0.2.0, <http://osm2world.org/> (2019).

[11] 株式会社ゼンリン: ゼンリン 3D 地図データオンライン提供サービス, <https://www.zenrin.co.jp/product/category/gis/contents/3d/index.html> (2019).

[12] 国土交通省: 平面直角座標系 (平成十四年国土交通省告示第九号), <https://www.gsi.go.jp/LAW/heimencho.html> (2002).

[13] 国土地理院: 経緯度を換算して平面直角座標、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算, <https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2xy/bl2xy.htm> (2013).

[14] Microsoft: Microsoft Mixed Reality Toolkit v2.0.0, <https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity/releases> (2019).