

実世界観測による時空間映像データの高度利用 (1)

—基本アーキテクチャの概念設計と第1次システム試作—

山崎 賢人*1 有富 友紀*1 关 斯琨*1 木村 朝子*1 柴田 史久*1

Abstract --- 我々は、カメラや LiDAR などの多種多様なセンサによって実世界を観測し、得られた映像・データを共有した上で、それらを様々な形で高度利用したシステムを構築可能なアプリケーションフレームワークの実現を目指している。共有する映像・データは時間的にも空間的にも広がっており、これらをクラウドコンピューティングで一元管理することを目標とする。本稿では、アプリケーションフレームワークの基本アーキテクチャの概念を設計したことについて報告する。さらに、この設計を基に第1次システムを試作したことについても併せて報告する。

Keywords: 画像, 点群, 木構造, フレームワーク, クラウドコンピューティング

1 はじめに

いたるところに設置された監視カメラや走行する自動車の車載カメラ及び各種センサなど、散在するセンサによって実世界を観測した映像・データが記録されている。さらに今後活躍が期待されている低空を安定して飛行できる UAV (Unmanned Aerial Vehicle; 俗称ドローン) の登場によりセンサは日々増加の一途をたどっている (図 1)。同時に映像が 2K/4K と高解像度になるにつれて、映像の容量も増加する。つまりセンサの数とデータ容量の増加が相まって、データの総量は爆発的に増加する。

これらのセンサはいくつかの目的を有して設置・搭載される場合が多い。例えば自動車に搭載したカメラ映像から背後の映像を提示したり、複数のカメラ映像を基に俯瞰映像を提示したりすることで駐車時の運転支援に寄与している[1]。しかしこれら多くはスタンドアロンなシステムであるため、提供できるシステムの自由度は限定的であった。

そこで、近年では高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems; ITS) やコネクテッドカーなど、情報を共有することで、より高度なシステムを提供可能な環境が整いつつある。

これらの環境を整備するためには、通信網の整備・拡充は不可欠である。5G (第5世代移動通信システム) を始め、今後もさらなる通信網の発展が見込まれ、大容量化が著しい映像であっても輻輳することなく伝送すると予想できる。

このような時代において、情報を共有することが前提となるシステムへのニーズは高まっていく。特に、より高精細な映像・データへの期待が大きい。

KDDI では 5G を利用してスタジアムにおける自由視点映像のリアルタイム配信を可能にし[2]、日産自動車では各自動車のセンサが収集した情報から「見えないものを可視化」する Invisible-to-Visible を発表するなど、映像・データを共有するシステムは注目を集めている[3]。

既存のシステムでは、センサの設置から、アプリケーションの提供までが一つのパッケージとして存在していた。しかしクラウドコンピューティングの登場以来、サービスの提供元を利用者に意識させないシステムが浸透してきている。今後は散在するセンサを意識させず、映像を利用するシステムが登場すると予想している。

我々の研究グループでは、このようなシステムにおいて、時間的にも・空間的にも広がりを持って貯蓄されている映像・データを用いた提示方法を実用化するためのシステム構築を目指している。また刻一刻と変化し、多様化するニーズに応えるためには、サービスを即応的に提供する必要がある。そこで構築したシステムはアプリケーションフレームワークとして提案する。

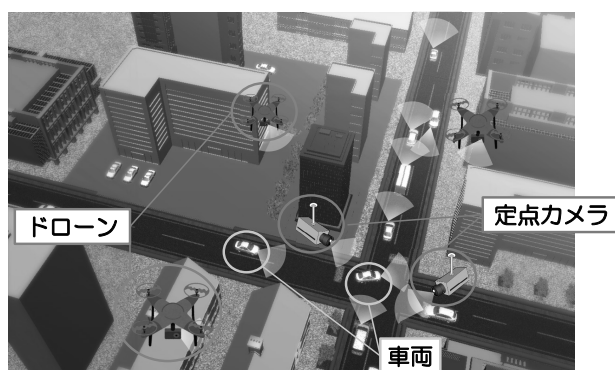


図 1 散在したセンサのイメージ

*1 立命館大学大学院 情報理工学研究所

本稿では、設計した基本アーキテクチャの概念について報告する。基本アーキテクチャを基に第1次システムを試作したことについても併せて報告する。

2 時空間映像データの共有

2.1 基本方針

ITS を実現するためのプラットフォーム構築の取り組みは多い[4]。しかしこれらは自動車を対象とするものである。本研究では自動車に限定せず、実世界を観測して得られた映像・データに注目した。これらの映像・データは一意の場所・時間で得られた映像・データではなく、様々な場所・時間に散在する。本研究では、これらの映像・データを時空間映像データと称した。我々が提案するフレームワークでは時空間映像データを共有する。時空間映像データはサーバで一元管理しており、本フレームワークを使用して開発したアプリケーションはサーバにアクセスすることで自由に時空間映像データを使用できる。しかし自由にアクセスする交換条件として本フレームワークによるアプリケーションからは時空間映像データをアップロードすることを前提する。

2.2 共有範囲

本フレームワークを使用して開発したアプリケーションからは時空間映像データをアップロードするが、無作為に情報を共有するわけではない。図2に示すように、アプリケーションが参加するプロジェクト内でのみ共有するものとする。

例えば、プロジェクトAに参加しているアプリケーション α 、アプリケーション β はアプリケーションの内容に依存せず時空間映像データの共有が可能となる。同じようにプロジェクトBに参加しているアプリケーション γ 、アプリケーション δ 、アプリケーション ε は時空間映像データの共有が可能となる。これにより目的に合わせてセンサを設置するのではなく、散在したセンサから得られた観測データを用いるアプリケーションを開発する。

2.3 時空間映像データの管理方法

時空間映像データは実世界を観測して得られたも

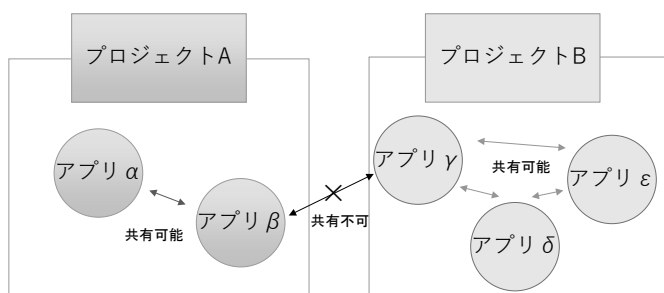


図2 時空間映像データの共有範囲イメージ

のであるため、カメラの画像、LiDARの点群、GNSSの測位情報やジャイロセンサーの角速度など多種多様な情報が想定される。これらの時空間映像データの内、アプリケーションが映像提示するためのものとして画像と点群を重要視することにした。

散在するセンサから得られる画像や点群を無秩序にサーバに蓄積した場合、実世界での関係性が失われてしまう。多くのセンサは一樣ではなく、他のセンサとの関係性が存在する。例えば、自動車に搭載したセンサ群から得られる時空間映像データは、一括りで活用する可能性がある。このことからツリー構造を用いて管理することにした。センサをツリー構造のノードに見立てるのではなく、センサを制御するアプリケーション開発者が、独自に定義する抽象的な「Object」をノードと見なし、各ノードに画像や点群といった「Resource」を関連付けする構造を設計した。ここでセンサをノードとして見なさなかったのは、同一センサであっても、カメラが焦点距離を適宜変更可能なように、パラメータが異なるセンサは同一視しないためである。

Objectには自身のユニークIDであるObject IDと親のノードのIDである親Object IDを付加する。Resourceには画像や点群だけではなく、取得時のセンサのパラメータや位置姿勢・時刻を付加する。図3の例が示すとおり、散在した画像や点群はObjectとResourceによって管理されている。

このルートのObjectを管理している計算機のみがサーバへのアクセスが可能であり、センサから得たResourceは全てサーバへとアップロードする(図4)。

2.4 時空間映像データの加工

散在するResourceを一元管理し、そのままアプリケーションに提供するのではなく、実世界の観測情報を変えることのないデータを作成する。具体的には、自動運転技術などで注目を集めている3次元地図を指す。

3次元地図とは、道路や建造物といった静的な物

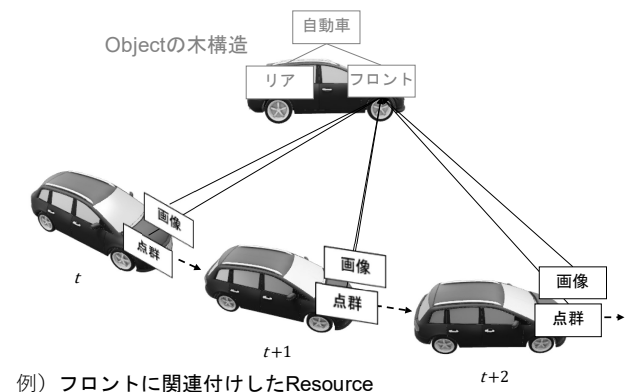


図3 木構造における Object と Resource

体を点群で表現する3次元の地図であり、モバイルマッピングシステム (Mobile Mapping System; MMS) によって作成することが多い。MMS ではGNSS やカメラ・LiDAR などの様々なセンサを搭載した自動車を道路で走行させながら実空間を観測するため、散在する Resource を統合することと同義になる。

Resource がアップロードされた時点では実世界を観測したときの情報のままであるが、サーバ内で、観測情報を変えることなく、加工することは許容する。また作成された3次元地図は Resource として扱い、アプリケーション開発者が定義した Object に関連付ける。例えば、ルート上の Object は日本、一つ下の階層の Object は〇〇県のように定義することが可能である。

3 基本アーキテクチャ

3.1 基本アーキテクチャの概念設計

散在した Resource は複数の画像から作成するパノラマ映像[5]や、3次元空間上に物体・周辺環境を再構成するための映像に使用したりできる。また、実世界に電子的な情報を付加する複合現実感 (Mixed Reality)[6]への利用も想定しており、これらの利用を本研究では高度利用と称する。したがって2章で述べた仕様に基づき、散在した Resource を一元管理し、高度利用可能なフレームワークを設計する。

まず、サーバとクライアントとの間は図5に示すとおり、通信機能によってデータをやり取りする。

クライアントから Resource をサーバにアップロード方法はストリーミングを前提としているため、コ

ネクションレス型通信とする。サーバはアップロードされた Resource をリソースデータベースに蓄積する。したがって、サーバにはリソース受信機能を、クライアントにはリソース送信機能を有する。

次に、クライアントはサーバに任意の Resource を要求する。そのため、クライアントからサーバにリクエストを送信し、サーバはこのリクエストに応じて、リソースデータベースに蓄積してある Resource をクライアントに送信する。リクエストはロストしないためにコネクション型通信となるが、サーバからクライアントに送信する Resource はその限りではない。したがって、クライアントはコネクション型通信で行えるリクエスト送信機能とコネクション型/コネクションレス型通信の両方に対応したリソース受信機能を有する。サーバもこれらに対応するリクエスト受信機能とリソース送信機能を有する。

クライアントからサーバへ送信する Resource は伝送速度向上かつリソースデータベースに貯蓄時の容量削減のため、圧縮する。ただし、リソースデータベースに貯蓄する Resource は高度利用時の要求水準が一意に決まらないため可逆圧縮を必要条件とする。一方、サーバからクライアントへ送信する Resource はクライアントで受信後に展開するため、圧縮されたままでよい。しかし、貯蓄した Resource の圧縮状態では対応できないコーデックを要求されたり、2.4で述べたとおり、サーバで Resource を加工したりするため、データの圧縮・展開機能はクライアントとサーバ両方に持つ。

3.2 クライアントのモジュール構成

3.1で述べたシステム・アーキテクチャに基づくクライアント側のモジュール構成について設計する。モジュール構成は図6に示す。本研究は実世界を観測して得られた時空間映像データを共有可能なフレームワークを提案することを目的としているため、我々が提供するシステム・レイヤとアプリケーション

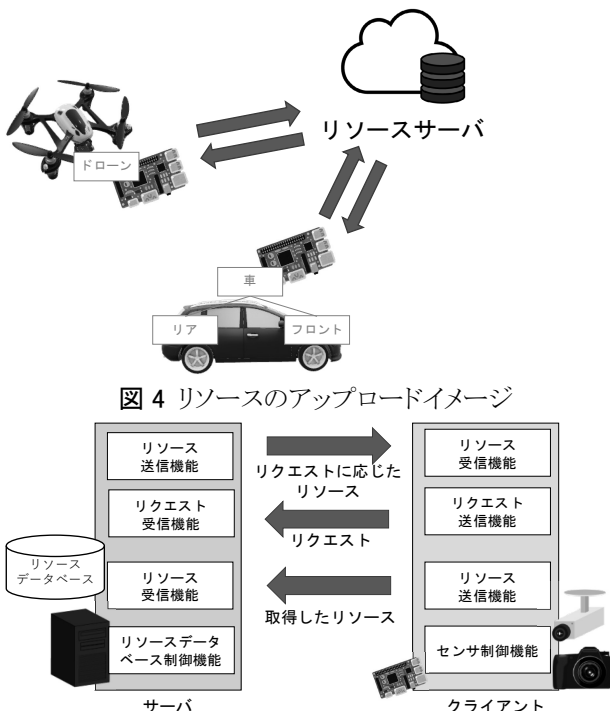


図4 リソースのアップロードイメージ

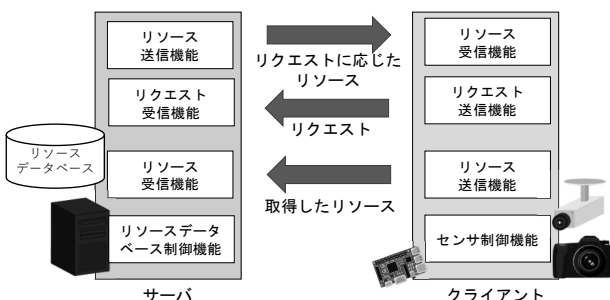


図5 システム・アーキテクチャ

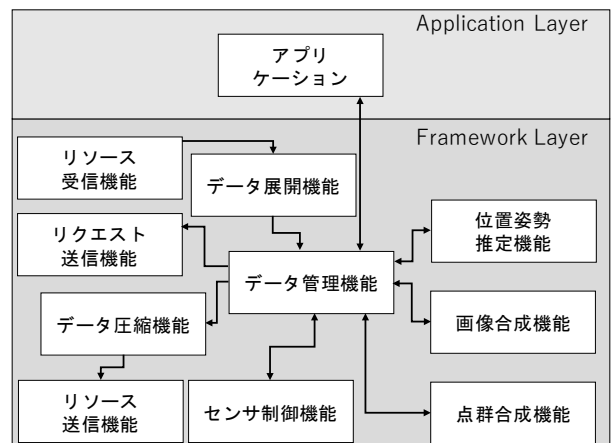


図6 クライアントのモジュール構成

ン開発者が作成するアプリケーション・レイヤに分割する必要がある。

アプリケーション独自の処理はすべてアプリケーションモジュールとして、アプリケーション開発者が実装する。

システム・レイヤでは、時空間映像データを高度利用するための処理機能として次の3モジュールを提供する。

(1) 位置姿勢推定機能

Resource を基に位置と姿勢を推定

(2) 画像合成機能

複数の画像を合成

(3) 点群合成機能

複数の点群を合成

3.3 サーバのモジュール構成

3.1 で述べたシステム・アーキテクチャに基づくサーバ側のモジュール構成について設計する。サーバ側は 2.4 で述べた 3 次元地図を生成するモジュールが必要となるため、図 7 で示すとおりモジュール構成となる。

4 第1次システム試作

4.1 リソースデータベースの概念設計

3 章で述べたシステム・アーキテクチャに基づき、一部の機能を概念設計から機能設計を試みる。今回、対象としたのはリソースデータベース制御機能である。したがって本章では、リソースデータベースとリソースデータベース制御機能を設計し、試作したことについて述べる。

2 章で定義した Resource をデータベースに蓄積し、要求に応じて検索するためには、Resource が関連付けられている Object の構造を損ねることなく貯蓄する必要がある。これらの要求を満たすため、関係型

データベース (Relational Database; RDB) を用いることにした。

リソースデータベースでの検索は次の2つに大別できる。

検索方法 1: Resource を基に検索

検索方法 2: Object を基に検索

検索方法 1 は図 8(a)(b)に示すとおり、散在した Resource の時間・位置を基に検索し、該当した Resource のみを抽出する。このとき、時間は任意の幅を、位置は任意のエリアを検索してもよい。

検索方法 2 は Object ID を指定することで該当する Object をルートとした木 (部分木でも可) と、それに関連付けされた Resource を抽出する。しかし Object 自体には時間・位置の情報は付加されていない。そこで、時間・位置のみを所持した「Geometry」を定義する。Geometry の位置には GNSS 情報のような位置を取得できる情報を記述し、時間には取得時間を記述する。任意の時間・位置を基に Geometry を検索することで Object とそれに関連した Resource を抽出可能となる。

4.2 リソースデータベースの試作

4.1 で設計したリソースデータベースを試作してみた。本研究で使用した RDB は MySQL である[7]。

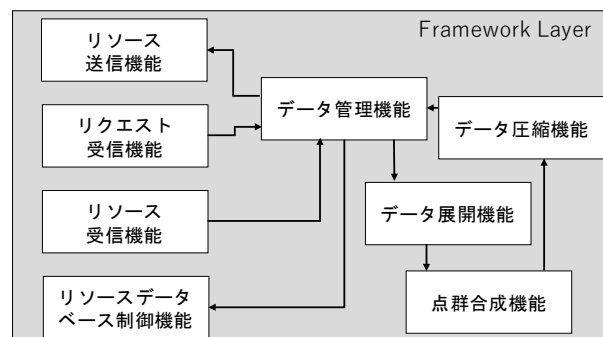


図 7 サーバのモジュール構成

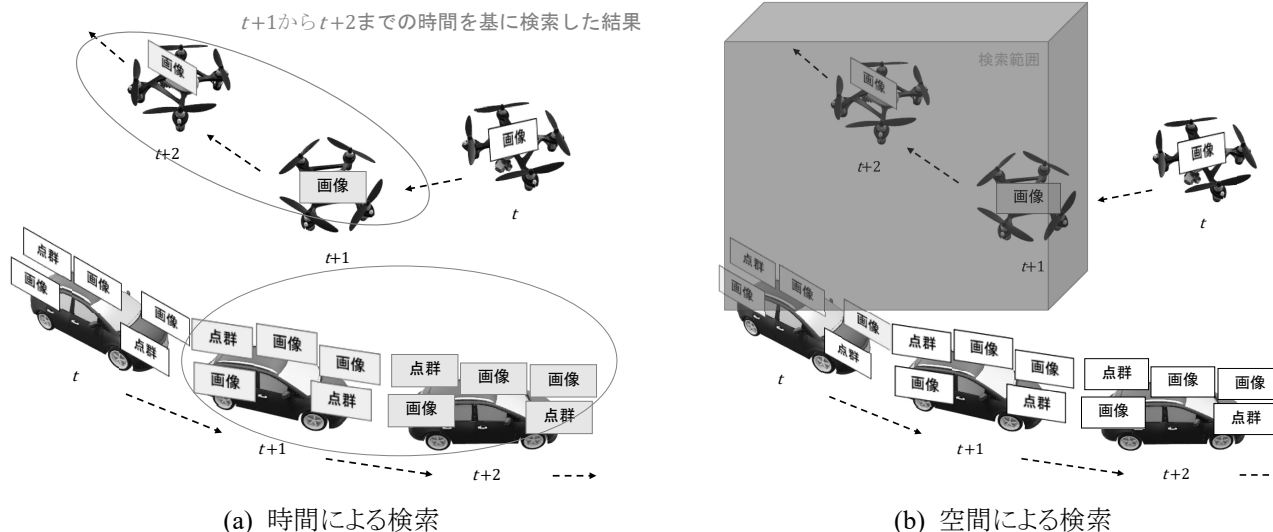


図 8 検索方法

表 1 Object テーブル

Object ID	親の Object ID
-----------	--------------

表 2 Geometry テーブル

Geometry ID	位置	姿勢	時間
-------------	----	----	----

表 3 Object-Geometry テーブル

Object ID	Geometry ID
-----------	-------------

表 4 Resource テーブル

Resource ID	Object ID	リソースのパス	位置	姿勢	時間	パラメータ	種類
-------------	-----------	---------	----	----	----	-------	----

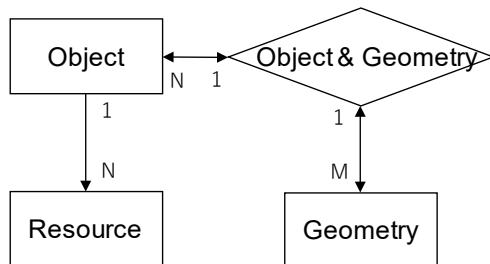


図 9 テーブルの関係

図 9 に示すとおり、4 つのテーブルを用意した。

各テーブルのフィールドは表 1~4 に示すとおりである。時間は UNIX 時間、位置は任意の世界座標系における (x, y, z) 、姿勢は位置と同様の世界座標系における四元数 (x, y, z, w) で表している。表 4 のパラメータは画像・点群が取得したときのセンサのパラメータを指す。例えば、画像を取得したカメラの場合、焦点距離や主点の座標値である。リソースのパスは画像や点群が保存されている補助記憶装置のファイルパスである。画像は png 形式、点群・3 次元地図は pcd 形式を想定している。

これらのテーブルを用いて検索・登録するための API を策定した。策定した API を用いて動作確認をするため、FLIR Systems 社製 Flea (解像度: SXGA) で撮影した画像を 2,714 枚、Velodyne LiDAR 社製 VLP-16 (約 300,000 点/sec, 5~20Hz) で取得した点群を 368 個用意した。これらをリソースデータベースに登録し、動作を確認した。表 5 には抽出した Resource の数を示す。

5 むすび

本稿では、散在した時空間映像データを共有し、高度利用するためのシステム・アーキテクチャを概念設計したことについて述べた。また第1次システム試作として、基本アーキテクチャで設計した機能の一部であるリソースデータベースの制御手法についても併せて報告した。

今後は、本研究で設計した概念設計をより深化させ、機能設計、詳細設計と進める予定である。また、アプリケーションを開発し、本設計の妥当性・実用性を確認する。

特に、高度利用のひとつとして隠消現実感 (Diminished Reality ; DR) 技術に注目している[7]。例えば Rameau らは前方車両を映像から除去することでドライバーの視野を広げる技術を発表し[8]、樋口らは DR 技術を想定した車載カメラによる映像通信フレームワークを提案した[9]。有富らは文献[9]の応用

表 5 検索結果

	位置		時間
	立方体	球	
画像	700	1314	638
点群	168	168	154

例として DR 技術を試行している[10]。

本研究では DR 技術への応用も可能な汎用的な本フレームワークの開発を目指す。

謝辞

本研究の一部は、科研費: 基盤研究(B)課題番号 17H01747 による。

参考文献

- [1] 酒井: 世界初アラウンドビューモニター, 自動車技術, Vol. 62, No. 3, pp. 100 - 101, 2008.
- [2] 野村, 渡邊, 内藤: リアルタイム超臨場感体験に向けた xR 技術の最新動向と自由視点の取り組み, 2018-AVM-102, No. 3, pp. 1 - 4, 2018.
- [3] 日産自動車ニュースルーム: <https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/190104-01-j?source=nng&lang=ja-JP>
- [4] 北山: クルマからのデータを活用による新サービスとプラットフォーム, 情報処理, Vol. 54, No. 4, pp. 337 - 343, 2013.
- [5] M. Brown and D. G. Lowe: Automatic panoramic image stitching using invariant features, *International journal of computer vision*, Vol. 74, No. 1, pp.59 - 73, 2007.
- [6] H. Tamura and Y. Ohta: *Mixed Reality-Merging Real and Worlds*, Ohm-sha & Springer-Verlag, 1999.
- [7] 森, 一刈, 柴田, 木村, 田村: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題~現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について~, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
- [8] F. Rameau, H. Ha, K. Joo, J. Choi, K. Park, and I. S. Kweon: A Real-Time Augmented Reality System to see-Through Car, *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 11, pp. 2395 - 2404, 2016.
- [9] 樋口, 平野, 柴田, 木村, 田村: 車載カメラ利用に適した映像通信フレームワークの基本設計と試作, DICOM2015 シンポジウム, pp. 1756 - 1763, 2015.
- [10] 有富, 竹村, 池田, 木村, 柴田: 自動運転ソフトウェアを活用した周辺車両の半隠消表示, *SCI'19 講演論文集*, OS15-3, pp. 438 - 439, 2019.

© 2019 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)