

Raspberry Piを用いた球体ディスプレイと 全天球画像閲覧システム

鈴木 雄大^{1,a)} 岩井 将行^{1,b)}

概要: 近年, 周囲の 360°空間を撮影できる全天球カメラやアプリケーションの登場により, 全天球画像の作成が容易になっている. 全天球画像の一般的な閲覧方法として, ヘッドマウントディスプレイを用いる方法と, 平面ディスプレイに表示する方法がある. しかし, 平面ディスプレイでは臨場感を得ることが難しく, ヘッドマウントディスプレイでは複数人で視点を共有することが現時点で困難である. 一方で球体全体がスクリーンとなる球体ディスプレイが存在するが, 現在製品化されている物は主に事業者向けであり, 一般向けには高価である. 本研究では, Raspberry Pi と市販の機材から作成した球体ディスプレイと, それを用いた全天球画像閲覧システム MS360 (MultiSphere360) を作成し, 全天球画像の新たな表現方法として球体ディスプレイを用いることを提案する. MS360 では一般向けの球体ディスプレイを備え, Web アプリケーションから Bluetooth 通信を用いて画像情報や操作情報を送信し, 球体ディスプレイの描画や回転を行う. 本稿では, MS360 の提案と実装, 既存システムとの比較と評価について報告する.

Spherical Display Using Raspberry Pi and System for Browsing Omnidirectional Image

1. はじめに

周囲の 360°空間を一枚の画像に収めたものを全天球画像と呼ぶ. RICOH THETA や Insta 360 などの全天球カメラ, 撮影者の周囲の写真を複数枚撮影し繋ぎ合わせる Google Cardboard カメラなどのスマートフォンアプリケーションにより, 全天球画像の作成は容易になっている. 現在では全天球画像投稿サービスの theta360.com をはじめ, 地図サービスの Google ストリートビュー, 動画サービスの YouTube, コミュニケーションサービスの LINE など, 様々なサービスが全天球画像の表示に対応している. theta360.com には写真のみならず, 360°空間を描いた全天球イラストも投稿されており, 様々な用途や表現手段として全天球画像が利用されている.

全天球画像の一般的な閲覧方法として, ヘッドマウントディスプレイを用いる方法と平面ディスプレイを用いる方法がある. ヘッドマウントディスプレイには Google

Cardboard などの安価な製品もあり, 臨場感のある視聴体験を得ることができるが, 複数人で視点を共有することが現時点では困難である. 平面ディスプレイはスマートフォンや PC などの身近な機材を用いて閲覧することができるが, ヘッドマウントディスプレイに比べ視点の操作が直感的ではなく, 臨場感を得ることが難しい. また, これらの閲覧は能動的な体験であり, 写真立てに飾られた写真を閲覧するような受動的な体験とは異なる. 写真立てのように日常生活に溶け込み, 情報を暗示的に表現することをアンビエントと呼ぶ.

その一方で, 球体全体がスクリーンとなる球体ディスプレイが存在する. OmniGlobe[1] や Glomal350[2], 日本科学未来館に展示されている Geo-Cosmos[3] などがあり, 映像をあらゆる方向から閲覧できるため, 新たな映像表現方法として開発が進められている. しかし, 現在製品化されている球体ディスプレイは主に事業者向けであり, 一般向けには高価である.

我々は, あらゆる方向から閲覧できる球体ディスプレイを全天球画像のアンビエントな表現方法に利用することを考えた. 本研究では, Raspberry Pi と市販の機材を用いた一般向けの球体ディスプレイと, それを用いた全天球画像

¹ 東京電機大学未来科学部情報メディア学科
SenjuAsahi 5, Adachi, Tokyo 120-8551, Japan

a) yudai@cps.im.dendai.ac.jp

b) iwai@cps.im.dendai.ac.jp

の閲覧システム MS360 (MultiSphere360) を作成した。また、MS360 と既存ディスプレイを用いた閲覧体験の比較と評価について報告する。

2. 関連研究

球体ディスプレイに関する研究として、湯村らは、市販の機材から球体ディスプレイを作成し、地図の閲覧システムを提案した [4]。球体ディスプレイは、PC とプロジェクターを接続し、魚眼レンズを用いて映像を球体の内側全体へ投影するものである。この方式はリアプロジェクション方式と呼ばれる。市販の機材を用いたため比較的安価で一般向けとして利用できるが、全天球画像の閲覧には用いられていない。

また、Li らは市販の機材から球体ディスプレイを作成し、それを用いたビデオチャットシステム OmnieyeBall[5] を提案した。球体ディスプレイは、複数箇所に設置したプロジェクターから映像を球体の表面全体へ投影するものである。この方式はフロントプロジェクション方式と呼ばれる。数箇所に設置したカメラから取得した映像をビデオチャット相手に送信し、プロジェクターを用いて投影することでビデオチャットを実現している。しかし、プロジェクターを数箇所に固定するため使用場所が限定されること、大きな場所を必要とすることなど、一般向けとして利用するには制約がある。

同者らは、OmnieyeBall の作成に商用の球体ディスプレイ Glomal350 も使用した [6]。RICOH THETA から取得した全天球映像を Glomal350 で表示する。Glomal350 はリアプロジェクション方式を採用した球体ディスプレイであり、先行の OmnieyeBall と比較して省スペースである。しかし、Glomal350 は一般向けとしては高価である。

山田らは、LED の残像を用いた浮遊球体ドローンディスプレイを提案した [7]。球体ディスプレイは残像ディスプレイを応用し、球状にしたものである。ドローンに複数個の LED テープを貼り、モーターで回転させることで空中に球体映像を表示する。しかし、LED テープが光源となるため解像度が低いこと、ドローンの動作音が大きいことなどの課題がある。現在、浮遊球体ドローンディスプレイは一般向けではなく、事業者やイベント向けとして開発が進められている。

球体ディスプレイの既成品としては、Geo-Cosmos や Glomal350, OmniGlobe などが存在する。Geo-Cosmos は全面に有機 EL を用いた発光方式、Glomal350 と OmniGlobe はプロジェクターを内蔵したリアプロジェクション方式を用いている。しかしこれらは主に事業者向けであり、一般向けとして利用するには高価である。

3. 提案システム

本研究で提案するシステム MS360 は、市販の機材を用

いて作成できる球体ディスプレイに、全天球画像を表示し閲覧することができるものである。これにより、全天球画像をあらゆる方向から閲覧し、複数人で視点を共有することができる。また、市販の機材を用いることで比較的安価な球体ディスプレイを実現できる。球体ディスプレイの制御に Raspberry Pi を、システムの操作に Web アプリケーションを用いる。システムからの球体ディスプレイ操作は Bluetooth 通信を用いるため、操作端末と球体ディスプレイは常時接続する必要がない。操作時以外はシステムを意識する必要がないため、インテリアや写真立てのように配置し、全天球画像を表示しておくことができる。また、インターネットに接続し全天球画像を投稿できるため、様々な全天球画像を表示することができる。MS360 の全体の概要図を図 1 に示す。

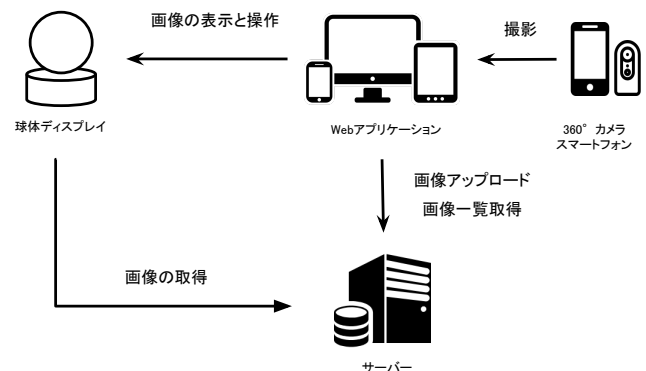


図 1 MS360 の概要図

4. MultiSphere360 : MS360 の構成

MS360 は球体ディスプレイと全天球画像の閲覧のための Web アプリケーションから成る。それぞれの構成について説明する。

4.1 球体ディスプレイの構成

球体ディスプレイの構成図を図 2 に示す。また、本デバイスの外観図を図 3 に示す。

球体ディスプレイはリアプロジェクション方式を用いる。球体ディスプレイを作成するために使用した機材の一覧を表 1 に示す。

表 1 使用機器一覧

機器の名称	機器の用途	製造元
ファード テーブルランプ	白色球	IKEA International Group
T03S	魚眼レンズ	トダ精光株式会社
PH550G	プロジェクター	LG Electronics Incorporated
Raspberry Pi 3 Model B	映像出力装置	Raspberry Pi Foundation

ディスプレイ本体となる白色球には、IKEA のファード テーブルランプに付属している白色球を用いた。省スペース化のため、プロジェクターは小型かつバッテリー内蔵式

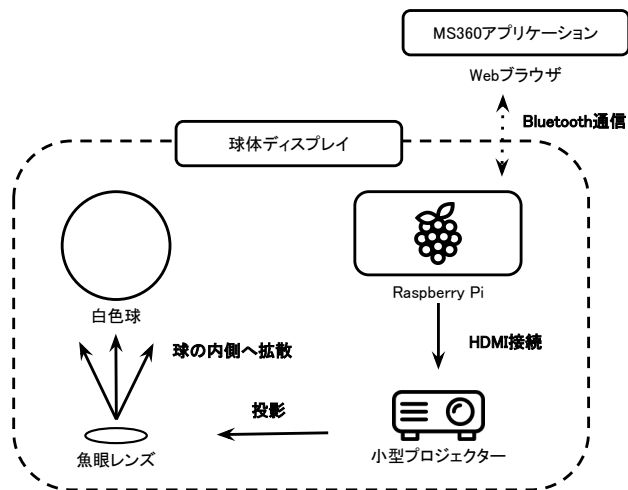


図 2 球体ディスプレイの構成図

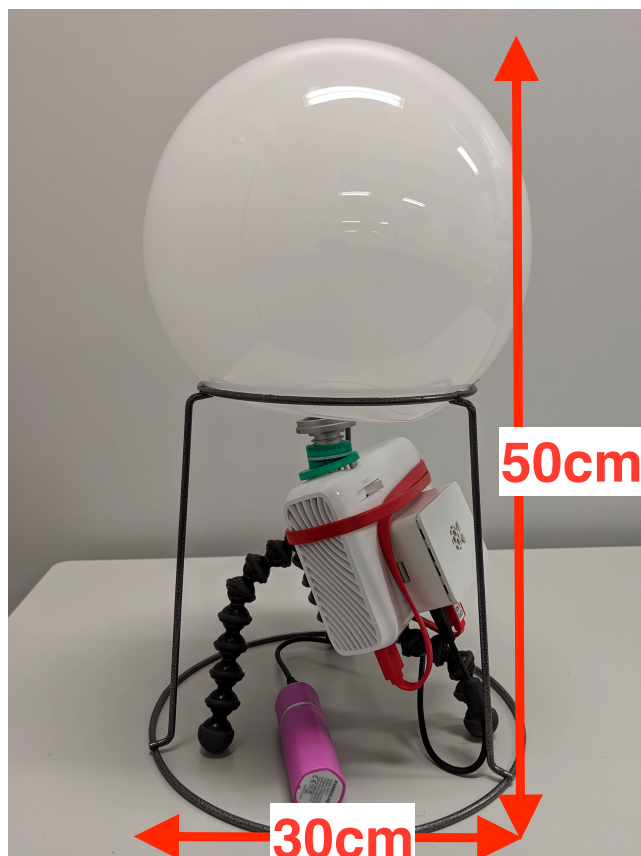


図 3 球体ディスプレイの外観

の LG PH550G を用いた。球体全体にプロジェクターの光を拡散させるため、魚眼レンズはトダ精巧の T03S を用いた。また、球体ディスプレイの制御に Raspberry Pi を用いた。Raspberry Pi とプロジェクターは HDMI ケーブルで接続する。Raspberry Pi で動作するアプリケーションの構成図を図 4 に示す。

このアプリケーションは Electron[8] を用いて作成したデスクトップアプリケーションである。また、内部で bleno[9]

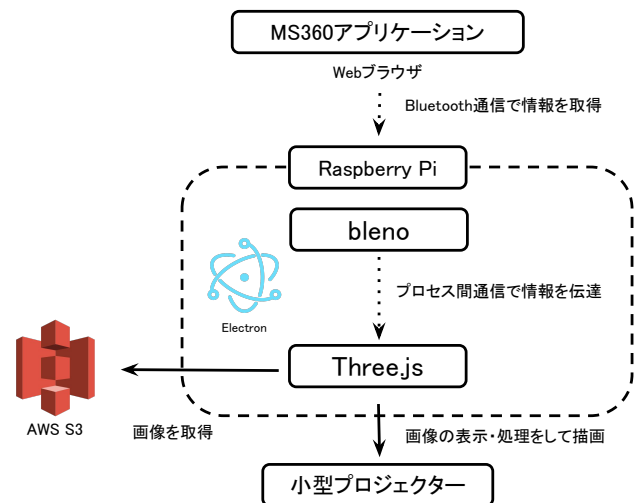


図 4 Raspberry Pi 上で動作するアプリケーションの構成図

と Three.js[10] を使用している．システムから Bluetooth 通信を用いて操作や画像の情報を受信するために bleno を用いた．Bluetooth 通信には BLE (Bluetooth Low Energy) を使用している．その後，Electron のプロセス間通信を用いて，受信した情報を Three.js へ伝達している．Three.js では伝達された情報を元に全天球画像の取得と表示，回転などの操作を行い描画する．

4.2 全天球画像閲覧システムの構成

全天球画像閲覧システムの構成図を図5に示す。また、本アプリケーションの使用画面を図6示す。

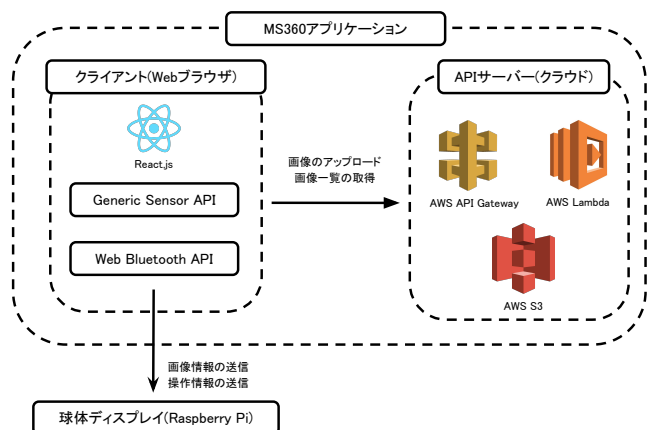


図 5 全天球画像閲覧システムの構成図

本アプリケーションはクライアント・サーバーモデルを用いて作成した．様々なプラットフォームからアクセスするため，サーバーは AWS API Gateway と AWS Lambda を使い API サーバーとして構成した．全天球画像の保存にはストレージサービスである AWS S3 を使用する．クライアントは React.js[11] を用いて作成した Web アプリケーションである．後述の球体ディスプレイの操作に直線加速度が必要となるため，Generic Sensor API[12] を用

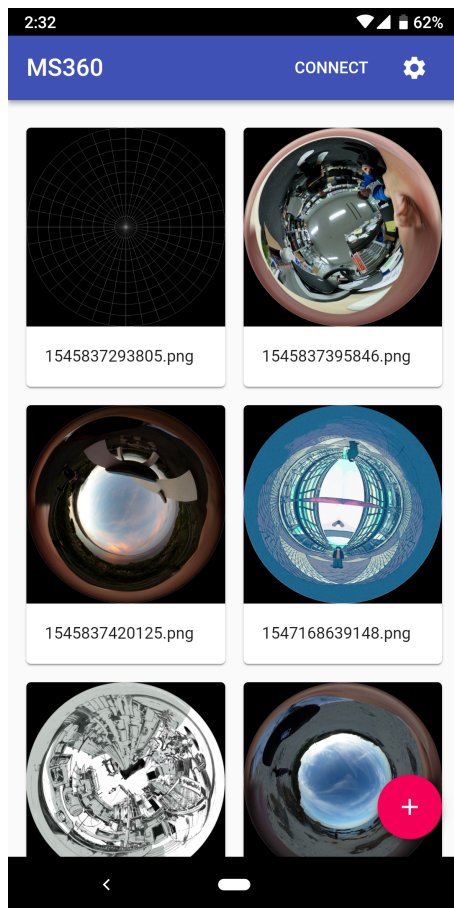


図 6 MS360 アプリケーションの画面

いた。また、球体ディスプレイへの情報送信のため Web Bluetooth API[13] を用いた。

5. 機能

MS360 の機能について説明する。

(1) 全天球画像のアップロード

追加ボタンを押下し、球体ディスプレイに表示する全天球画像をサーバーへアップロードする。投稿された全天球画像は後述の操作で球体ディスプレイに表示できる。なお、あらかじめ全天球画像は正距方位図法形式へ変換しておく必要がある。

(2) 球体ディスプレイとの接続

接続ボタンを押下すると付近の球体ディスプレイが検出される。一覧表示された球体ディスプレイからユーザーは1つを選択し、接続を確立する。BLE を用いて接続するため、操作端末と球体ディスプレイは約 30m 以内に配置する必要がある。図 7 に球体ディスプレイを検出している画面を示す。接続後に解除ボタンを押下することで、接続を切断する。

(3) 球体ディスプレイへの全天球画像の表示

アプリケーションから全天球画像を選択し、球体ディスプレイに表示する。表示する画像をあらかじめサーバーへアップロードし、アプリケーションと球体

ディスプレイを接続しておく必要がある。球体ディスプレイに全天球画像を表示した様子を、図 8、図 9 に示す。

(4) 球体ディスプレイの回転操作

操作端末を方向横に振ることで、球体ディスプレイに表示した全天球画像が 90° 回転する。これにより、異なる角度から全天球画像を閲覧することができる。アプリケーションと球体ディスプレイを接続し、全天球画像を表示しておく必要がある。

(5) 球体ディスプレイの自動回転操作

設定画面から自動回転ボタンを押下することで、球体ディスプレイに表示した全天球画像を一定の速度で自動回転する。設定画面を図 10 に示す。アプリケーションと球体ディスプレイを接続し、全天球画像を表示しておく必要がある。

(6) 自動の全天球画像の表示切り替え

設定画面からスライドショーボタンを押下することで、球体ディスプレイに表示する全天球画像を一定時間ごとに切り替える。アプリケーションと球体ディスプレイを接続しておく必要がある。



図 7 Web Bluetooth API を用いた Bluetooth 接続の様子



図 8 球体ディスプレイに全天球画像を表示した様子



図 9 球体ディスプレイに全天球画像を表示した様子

6. 評価

MS360 の評価のため、東京電機大学学生を対象に実験とアンケートを行った。MS360 の概要と使用方法を説明した後に、実際に使用してもらい使用感を聞いた。また、平面ディスプレイとヘッドマウントディスプレイを用いて同じ全天球画像を閲覧してもらい、複数人での閲覧のしやすさと臨場感について比較する。今回は平面ディスプレイに Mac Book Pro (13 インチ) を、ヘッドマウントディスプレイに Google Cardboard を使用した。それぞれの項目の評価は 5 段階とした。まず、MS360 の使用感についてのアンケート項目を以下に示す。

- Q1 MS360 を用いた全天球画像の閲覧体験を面白いと感じたか
- Q2 家庭や学校などで利用したいか
- Q3 今後全天球画像を作成した場合に、MS360 を利用したいか
- Q4 アプリケーションと球体ディスプレイの接続はしやすいか
- Q5 全天球画像の表示操作はしやすいか
- Q6 全天球画像の回転操作はしやすいか
- Q7 その他感想

全天球画像の閲覧について、球体ディスプレイと他ディ

スプレイを比較したアンケート項目を以下に示す。

- Q1 平面ディスプレイと比較し、全天球画像の臨場感はあるか
- Q2 ヘッドマウントディスプレイと比較し、全天球画像の臨場感はあるか
- Q3 平面ディスプレイと比較し、複数人での閲覧に向いているか
- Q4 ヘッドマウントディスプレイと比較し、複数人での閲覧に向いているか

アンケート結果を表 2 と表 3 に示す。

表 2 MS360 の使用感についてのアンケート (n=10)

評価項目	平均
MS360 を用いた閲覧体験を面白いと感じたか	5.0
家庭や学校などで利用したいか	4.1
今後全天球画像を作成した際に MS360 を利用したいか	4.3
アプリケーションと球体ディスプレイの接続はしやすいか	4.7
全天球画像の表示操作はしやすいか	4.4
全天球画像の回転操作はしやすいか	3.8

MS360 の使用感についてのアンケート結果では、被験者の全てが MS360 を用いた閲覧体験を面白いと感じたため、本システムが全天球画像の新たな表現方法として有用である可能性を示すことができた。また、低コストでコンパクトである点、スマートフォンや PC で手軽に利用できる点



図 10 MS360 アプリケーションの設定画面

表 3 全天球画像の閲覧体験についてのアンケート (n=10)

評価項目	平均
平面ディスプレイと比較し、臨場感はあるか	3.2
ヘッドマウントディスプレイと比較し、臨場感はあるか	2.5
平面ディスプレイと比較し、複数人での閲覧に向いているか	4.6
ヘッドマウントディスプレイと比較し、複数人での閲覧に向いているか	5.0

も良いという評価が得られた。一方で家庭や学校で利用したいか、今後 MS360 を利用したいかという項目では低い評価も得た。この理由として、球体ディスプレイの解像度が低いこと、輝度が低いためインテリアとして飾るには部屋を暗くする必要があることが挙げられた。また、全天球画像を回転する操作について、センサーを用いた操作は新しく画期的だという評価がある一方で、振る動作が面倒である、画面のSwipe操作のほうが直感的ではないかという評価も得られた。

球体ディスプレイを用いた全天球画像の閲覧体験についてのアンケート結果では、球体ディスプレイが他ディスプレイと比較して複数人での全天球画像の閲覧に向いているという結果を得た。また、全天球画像を俯瞰して閲覧できる点、平面ディスプレイで感じる歪みがない点、ヘッドマウントディスプレイと異なり移動が少ない点も良いという評価が得られた。一方で、他ディスプレイと比較して臨場感があるかという項目は低い評価を得た。この理由とし

て、ヘッドマウントディスプレイ特有のその場所にいるような感覚は味わえないことが挙げられた。

その他、被験者から得た評価を以下に示す。

- 博物館などでの展示に向いていると感じた
- HDMI などの有線接続が不要な点が便利だと感じた
- 球面表示に興味を持つことができた
- あらゆる方向から閲覧できるため、デジタルサイネージにも向いていると感じた
- 球体の最下部は投影部となり表示ができないため、天井から吊るす方式を検討してはどうか
- 球体のタッチ操作で全天球画像の回転ができるとより直感的になると感じた
- LeapMotion などを用いたモーション操作があるとより楽しむことができると感じた
- 自動回転機能に回転速度の調節機能を検討してはどうか
- スライドショー機能のフェードインとフェードアウト機能を検討してはどうか

7. まとめと展望

本研究では全天球画像のアンビエントな表現方法として、市販の機材を用いた一般向けの球体ディスプレイと、それを用いた全天球画像閲覧システムを作成し、評価した。評価より、球体ディスプレイは他ディスプレイと比較しその場にいるような臨場感は味わえないが、複数人での全天球画像の閲覧に向いており、本システムが全天球画像の新たな表現方法となり得ることを示すことができた。しかし部屋が明るいと球体ディスプレイの輝度が足りず見づらいことなど、アンビエントという観点では課題が残った。球体ディスプレイの光量と解像度については、より性能の良いプロジェクターを使用することで改善できるが、コストが高くなり一般向けとしての使用が困難になるのが現状である。また、球体ディスプレイの操作には改善の余地があることも分かった。今後は LeapMotion などを用いた操作の追加、テキストや平面情報のマッピングなど、ハードウェアだけでなくソフトウェアを改善することで球体ディスプレイの表現力を上げていく必要がある。

参考文献

- [1] OmniGlobe, ARC Science Simulations, <http://arcscience.com>, 2019.1.13
- [2] Glomal.JP, 株式会社 渋谷光学, <https://glomal.jp>, 2019.1.13
- [3] Geo-Cosmos, 日本科学未来館, <https://www.miraikan.jst.go.jp>, 2019.1.13
- [4] 湯村 翼, 平田 孝広, 木村 元紀, 3D.js を用いた地図の球面ディスプレイへの投影, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集, 2014, pp.252-254
- [5] Li Zhengqing, Miyafuji Shio, Sato Toshiki, Koike Hideki, OmniEyeball: Spherical Display Embedded With Omni-

- directional Camera Using Dynamic Spherical Mapping, Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software, Technology, 2016, pp193-194
- [6] Li Zhengqing, Miyafuji Shio, Sato Toshiki, Kuzuoka Hideaki, Koike Hideki, OmniEyeball: Spherical Display Equipped With Omnidirectional Camera, Its Application For 360-Degree Video Communication, The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software, Technology Adjunct Proceedings, 2018, pp33-35
- [7] 山田 渉, 真鍋 宏幸, 池田 大造, 山田 和宏, from NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル 浮遊球体ドローンディスプレイ, NTT 技術ジャーナル, Vol.30 No.4, pp.32-37, 2018
- [8] Electron, <https://electronjs.org>, 2019.1.13
- [9] noble/bleno, <https://github.com/noble/bleno>, 2019.1.13
- [10] three.js, <https://threejs.org>, 2019.1.13
- [11] React, <https://reactjs.org>, 2019.1.13
- [12] W3C, Generic Sensor API, <https://www.w3c.org/TR/generic-sensor>, 2019.1.13
- [13] Web Bluetooth, <https://webbluetoothcg.github.io/web-bluetooth>, 2019.1.13