



# 複数台の PC を用いた無人展示用 VR システムの設計

Design of VR system for unmanned exhibition using multiple PCs

田中克明<sup>1)2)</sup>, 松広航<sup>1)2)</sup>, 日高萌子<sup>1)3)</sup>, 川崎吾一<sup>1)</sup>

Katsuaki TANAKA, Ko MATSUHIRO, Moeko HIDAHA, and Goichi KAWASAKI

- 1) 合同会社 Yspace (〒305-0047 茨城県つくば市千現 2-1-6 A-19-I, k-tanaka@yspace-llc.com)
- 2) 早稲田大学 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)
- 3) 慶應義塾大学 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

**概要**：合同会社 Yspace では宇宙を題材とした VR コンテンツの開発に取り組んでいる。今回、小中学生を対象としたイベント展示に向けて無人展示用の VR システムを開発した。システムには複数人の子供が一度に体験できることと無人に向けた自動化とが求められる。開発したシステムは 6 枚のディスプレイによる映像の表示を 2 台のノート PC を用いて運用している。2 台の PC 間の時刻同期やスケジューリングによる自動動作、またボタンによるインタラクションを実装している。本報では、そのシステムの詳細について説明し、実際の運用の際の結果や考察について述べる。

**キーワード**：無人展示、自動化、宇宙 VR

## 1. はじめに

合同会社 Yspace では宇宙を題材とした VR コンテンツの開発に取り組んでいる[1]. VR の技術を利用することで、実際には体験することが難しい宇宙の体験を提供でき、また宇宙の魅力や科学的な知識についてコンテンツを通して学ぶことができる。

VR を用いたイベントの実運用には様々な課題がある。VR のデバイスに精通した体験者が少ないため、機器の説明や体験中の補助としてオペレータを用意する必要がある。そのため、実運用を想定した際には莫大な人件費がかかり[2], 商用のイベントとしての利益率が低下する。これには、複数台のデバイスを同時に稼働させ、1 台あたりのオペレータの人数を軽減させる方法がある[3]. しかしながら、顧客の数が安定せず、集客の人数を推定することが難しいイベントにおいては、必要なオペレータ数の推定が難しく、リスクが高くなる。

HMD を用いた VR デバイスでの運用では、同じ体験の空間を複数人で共有しにくいといった課題もある[4]. Multiplayer などのネットワークによって同じ空間を複数のデバイスで共有させる仕組みがある[5]. しかし、アバターなどを用いても、体験者同士の実際の表情や動作の様子を共有することが難しい。AR・MR の技術を用いて、実空間上にモデルを配置するなどして空間を共有する方法もある[6]. しかし、宇宙空間の背景などを配置するものではないため、宇宙空間の体験自体は難しい。

本システムは、宇宙船のブースを用意し、その窓として

VR のディスプレイを複数配置することで、人工的に宇宙船内の現実感を創造するものである。本報では、システムのハードウェアの構成と無人化に向けた自動化の詳細について説明し、イベントで実際に利用した際の様子についても紹介する。

## 2. 展示イベント

### 2.1 イベントの概要

以下に、イベントの概要を示す[6]. また、図 1 にイベント会場全体の様子を示す。

- ・イベント名：月面キッズキャンプ
- ・日程：2019 年 3 月 25 日～5 月 31 日
- ・時間帯：よみうりランド開園～17 時 (平日), よみうりランド開園～18 時 (休日)
- ・場所：東京都よみうりランドオーロラスペース内 (イベントエントランス 300 m<sup>2</sup>, メインホール面積 700 m<sup>2</sup>)
- ・主催：グリー株式会社, 株式会社 TBS テレビ



図 1: イベント会場全体の様子

・協力：株式会社よみうりランド，CA セガジョイポリス株式会社，Tech Kids School，合同会社 Yspace，国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下，JAXA）

## 2.2 月面キッズキャンプ

月面キッズキャンプは，宇宙産業の担い手になる子どもたちを対象に，宇宙の魅力を体感させるイベントである。以下の3つのワークショップで構成され，VR体験やプログラミング教室などを通して，宇宙について学ぶ仕組みとしている。

・感じて知る月面 VR 体験「ありえな LAB」

メインの VR 体験として HMD を用いた4つのコンテンツを配置している。1つの体験あたり，導入5分，体験5分，内容の復習5分の計15分程度の体験時間である。

・見て知る宇宙展示

JAXA による，宇宙船の縮小スケールモデル，宇宙服の展示などがあり，Yspace の Shapcship2050 も無人展示用コンテンツとして利用されている。

・プログラミングで月面探査ゲームを開発

月面探査ゲームを制作する45分のプログラム教室を実施している。

## 3. Spaceship2050

### 3.1 要求事項

Spaceship2050 の開発にあたり，以下の要求を設定した。

- ・宇宙旅行を宇宙船に乗って楽しめる感覚になれるものであること。宇宙船の窓を模擬し，5～10名程度の子供が一度に同じ空間にてコンテンツを楽しむことができるようにする。
- ・原則オペレータが存在しなくても自動で動作し続ける仕様とすること。但し，開園前，開園後にシステム全体の電源を切る作業はオペレータが行うものとする。
- ・体験者の出入りは自由とし，コンテンツの再生の途中からでも体験者が操作を理解し，楽しむことができるものとする。
- ・宇宙船は打ち上げから月面への着陸までのストーリーがあるものとし，10分程度の長さのコンテンツとすること。また，途中で体験者がコンテンツで遊ぶことのできるインタラクティブ性を持たせるものとする。

### 3.2 コンテンツのシナリオ

シナリオは3つのメインシーンから構成される。

- ・打ち上げのシーン（メインシーン1）
- ・地球から月までの移動シーン（メインシーン2）
- ・月面への着陸シーン（メインシーン3）

また，コンテンツの間には，人の入れ替えの観点から1分程度のオープニングシーンを入れる。

## 4. 無人展示用 VR システム

Spaceship2050 のシステムは，宇宙船形状のブース，ディスプレイ，インタラクティブ装置，制御装置の4つから構成される。図2にシステム全体の様子を示す。

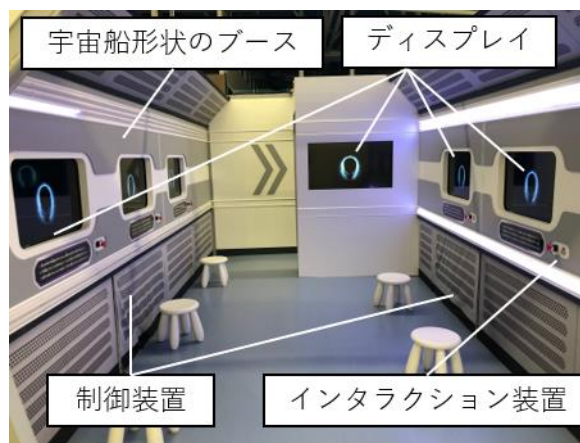


図 2: SpaceShip2050 の全体の様子

### 4.1 宇宙船形状のブース

図3に Spaceship2050 の宇宙船形状のブースのレイアウトを示す。幅300cm，長さ500cmの面積に宇宙船内を模した空間を用意した。宇宙船の前方に配置されるメインディスプレイにてコンテンツのナレーションを行い，左右のサブモニタのディスプレイを宇宙窓として宇宙船内から船外の景色が見えるように設計した。

また，それぞれのサブディスプレイの画面の前に椅子を配置している。これは，10分間，同じ場所に立ちながら体験をすると疲れてしまうことと，体験者が映像を見ていて飽きが生じ退出してしまう場面が確認されたため，滞在時間を長くする観点から設置した。

### 4.2 ディスプレイ

宇宙船の窓を模してディスプレイを宇宙船形状のブース内に配置する。ディスプレイ1枚をメインのディスプレイ（JN-IPS4300TUHD，JAPAN NEXT）としてブース前方に配置し，5枚を窓として左右にサブディスプレイ（32MN62HM-PJ，LG）として配置する。

音はスピーカー（400-SP050BK，サンワサプライ）を使用し，2セット合計4台をブースの四隅に配置する。1つのセット内の2台のスピーカーは専用のスピーカーケーブルをワイヤーハーネスによって増長し利用している。導線を長く設計する必要があるため，内部抵抗による電圧降下の影響が考えられる。そのため，増設のワイヤーハーネスの太さは十分な太さになるように設計している。

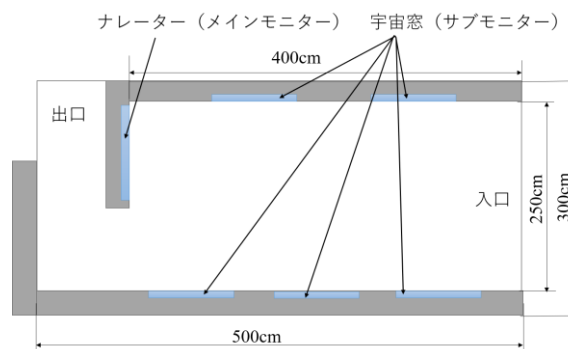


図 3: SpaceShip2050 のブース（上からみた図）

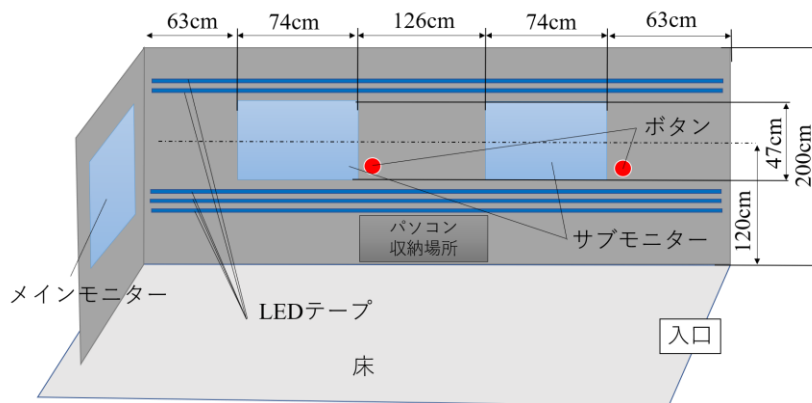


図 4: SpaceShip2050 のブース (横からみた図)

図 4 に Spaceship2050 の宇宙船形状のブースの横から見たレイアウトを示す。左右のモニタの上下には LED テープ (WS2812B, ALITOVE) を 5 行 (モニタ上 3 行, モニタ下 2 行) ずつ配置し, VR コンテンツの流れに合わせて様々な色に変化する。LED テープはテープ状に LED が敷きならべてあり, 5m で 300 ピクセル配置されている。それぞれのピクセルには単独のアドレスが用意されており, それぞれのピクセルで 256 段階の輝度と 24-bit の RGB が個別で制御可能である。また, LED テープは専用の扇形アルミフレーム (IT-A53, イルミカライツ) で覆い, 白濁上のプラスチックシートにて LED の光が分散するように設計している。LED の電源は直流安定化電源 (S-150W-5V, LETOUR) を用い, 左右それぞれの LED テープ 5 本の両端に 1 つずつ, 合計 4 つを用いている。これは, LED テープの長さが長いため, LED 内部の抵抗による電圧降下が起こり, テープの始端と終端部分で輝度に差がでるのを防ぐためである。

#### 4.3 インタラクシオン装置

それぞれのサブディスプレイの横にインタラクシオン用のボタン (押しボタンスイッチ, uxcell) を配置している。これは, 無人でのインタラクシオンの説明が難しいことから, 直感的に inputs 操作が理解可能かつ操作自由が低い観点から選定している。ボタン入力の PC での読み込みには, USB ドライバ (自作入力装置用 USB スイッチケーブル, ルートアール) を用いている。この USB ドライバは複数のチャンネルが用意されており, キーボード入力と同様の仕組みが取れる。それぞれのチャンネルとボタンとの関連性については, 付属の専用ソフトウェア上で事前に設定している。

インタラクシオンの説明や, コンテンツの進行の説明は各サブディスプレイの下に簡易的な説明パネルを設けた。これは, コンテンツ再生中に体験者の出入りが自由なため, どの段階で体験に参入してもストーリー設定の内容や体験の仕方がわかるようにするためである。

#### 4.4 制御装置

制御装置のメインはノート PC (CAAAM1500JP-Alienware M15, Dell) 2 台を用いている。片側の PC をサーバとし, もう片側の PC をクライアントとしてルータ

(BHR-4GRV2, パッファロー) を用いて有線 LAN で接続している。PC にはグラフィックボード (NVIDIA GeForce RTX 2060, NVIDIA) が搭載されており, 1 枚のボードで 4 枚までの画面出力が可能である。2 台の PC の合計 8 枚の画面出力のうち, 2 枚を PC 上の操作画面として, 1 枚をメインモニタの画面として, 残りの 5 枚をサブモニタの画面出力として割り当てている。

ノート PC ではゲームエンジン (Unity 2017.4.20f2, Unity) が稼働しており, コンテンツの 3D 空間内の物理計算などを行う。図 5 にゲームエンジン上での各モニタに出力する映像のカメラ位置を示す。ゲーム内での体験者 (プレイヤー) の位置の周りに 6 台のカメラが配置され, そこで撮影された映像が各ディスプレイに表示される。宇宙船進行方向のカメラの映像はメインディスプレイに反映される。進行方向のカメラと左後方のカメラの描画の奥行は長く設定している。これは, 地球や月の 3D モデルの大きさが相対的に大きく, 描画の奥行が短いとコンテンツ内で急に出現してしまう。そのため, それらが遠くに位置しているときから小さく表示されるように工夫している。

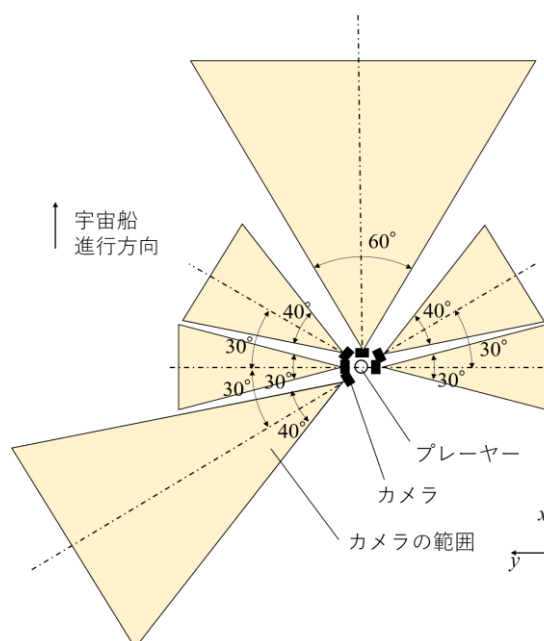


図 5: ゲームエンジン上の宇宙窓の映像の配置

テープLEDはマイコンボード(Arduino Uno R3, Arduino)で制御される。Adafruit\_NeoPixelのライブラリを用い、マイコンボードへの入力値に従って各LEDのRGB値を変更することでテープ全体を制御する。マイコンボードはノートPCにUSB接続にて接続され、ノートPCからシリアル通信にて入力値が送られる。入力値はコンテンツのフェーズごとに変化し、10パターンに変化する。

#### 4.5 タイミング制御・自動化

ゲームエンジン上で動作するコンテンツはPCのシステム時間を用いて制御される。本コンテンツは10分間にわたり複数の場面を展開するものであり、複数のゲームシーンの遷移を伴う。そのため、ソフトウェア内のローカル時間で制御を試みる場合、シーン遷移における時間が一定とならず、2つのPC間で時間のずれが生じることが予想される。そのため、コンテンツの動作はすべてPCのシステム時間を基準にして制御されるようにし、毎回のコンテンツの開始時(10分毎)に2つのPCのシステム時間を同期させることとした。

図6に2つのPCの時間の同期と、それぞれのシーンの開始のフローを示す。サーバ側のPCでは、毎回オープニングシーンが開始された5秒後に、PCのシステム時間を0に戻す処理が行われる。これは、日付と時間を一定時間帯内に固定させることで、システム内の計算エラーが起これないようにするためである。一方、クライアント側のPCでは、毎回オープニングシーンが始まってから10秒後にサーバ側のPCのシステム時間を参照し、時刻を同期する処理を行う。これは、サーバ側のPCでの時刻変更後に5秒間の時間ラグを設けることで、確実にクライアント側の時刻同期が実行されるようにするためである。また、クラ

イアント側のPCの初回立ち上げ時に、サーバ側のシーンの途中からコンテンツが同期できるよう、クライアント側PCの時刻に合わせて、途中のシーンから開始できるように設計している。サーバ側のPCでの時刻変更やクライアント側での時刻同期の際には、オープニングシーンが続き、時刻に依存されない制御がされる。そのため、体験者は異なる時刻での処理を意識することなく、オープニングシーンを体験することができる。

Windows上で時刻同期をさせるために、サーバ側をタイムサーバ(NTPサーバ)に設定している。Windows上でのNtpServerのレジストリからNTPサーバの使用を許可し、ネットワーク上でのUDPのポートを解放することで、クライアントPCから時刻同期のための時刻の参照ができるようになる。また、開園前にPCのセットアップが容易になるように、Windowsのバッチファイル内にPCの動作の処理を入れ、操作者は毎回のPC起動時にサーバ側とクライアント側両方のバッチファイルをクリックすることで、システムが起動できるように設定している。

## 5. 実証

本システムを月面キッズキャンプで展示しその動作について確認をした。開園前と開園後のPC電源の操作は、イベントスタッフが行うこととし、トラブルがあった際に、開発者に連絡がいくようにマニュアルを作成している。また、コンテンツの内容については、体験者のフィードバックを反映させ、1週間に1度の周期で定期的に内容を更新した。また、イベント実施中にWindowsの更新によって動作が止まるエラーを回避するために、Windowsの更新の時期の変更をイベントの期間中に2回変更した。

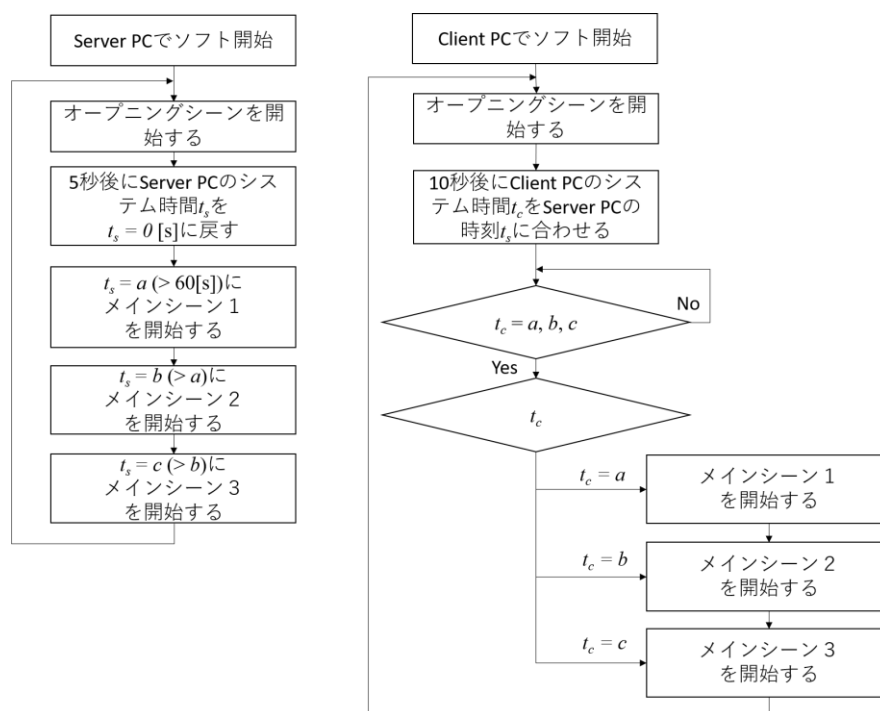


図 6: Server PC と Client PC の動作のフロー



図 7: 体験の様子

図 7 にイベント実施中の体験の様子を示す。結果として、2 か月に渡り、システムは自動で動作し続けた。また基本的にはイベントスタッフは開園前と開園後のみの操作で運用することができ、無人での展示を実現した。しかし、時刻同期が行われずにトラブルとなった事象が 1 度発生した。これは、クライアント側の PC がポケット Wifi モデムのインターネットにつながったことによって、時刻が自動更新され、サーバとクライアント側の時刻に大きな差ができたことによる時刻同期のエラーであることがわかった。この解決には、システムの日付を再度修正して直し、実行プログラムを再度動作させることで解決した。

## 6. 考察

2 台の PC 間の時刻同期は 10 分に一度行われる。そのため、2 台の PC 間で多少の時刻のずれが生じていることが考えられる。しかしながら、本実証においては、ディスプレイ、音ともにずれを体感する程度の時刻のずれは確認されなかった。これは、10 分程度であれば、時刻のずれは人間の体感の許容範囲内となるのではないかと考えられる。今後、正確な時刻のずれと、体験者が感じる違和感との関係について研究されることが期待される。

本システムで VR の無人運営の方法の手段が提案された。このシステムは 3 台以上の PC でのシステムでも利用可能なことから、ディスプレイの数を増やしたドーム型の VR 体験空間の開発などにも応用可能である。今後、大人数での同時空間での VR 体験ができてくることが期待される。

無人でのオペレーションの課題として、コンテンツの魅力伝えるのが困難である点がある。オペレーターを入れた場合の運用のメリットとして、体験者の知識や理解のレベルに合わせて説明をすることで、体験自体の満足度を上げることができる。今後は無人 VR システムの満足度の向上に向けて、人工知能による会話型の無人オペレーションを導入するなど、更なる改善が期待される。

**謝辞** 本取り組みは、グリー株式会社 XR 事業開発部と共同で行われた。コンテンツ制作のアドバイスや機材購入等でグリーXR 事業開発部には多大なサポートをいただいた。また、本事業は「平成 30 年度いばらき宇宙ビジネス支援事業」の補助金の支援を受けた。ここに感謝の意を述べる。

## 参考文献

- [1] 合同会社 Yspace, Web ページ, <https://yspace-llc.com/>
- [2] MoguraVR, VR アトラクション運営のコツ セガが語るジョイポリスの事例, 2016.
- [3] VRInside, 複数の VR ヘッドセットを同時に管理する WeLens の技術, 2017.
- [4] 一般財団法人機械システム振興協会, ヘッドマウントディスプレイを中心とした 没入型映像システムに関する戦略策定, 第 4 章産業分野での応用可能性の調査, 2017.
- [5] 安田京人, VR ライブ・コミュニケーションサービス「バーチャルキャスト」でのモノビットエンジンの採用事例と最新情報, 2018.
- [6] 広田光一, バーチャルリアリティ学, 第 5 章リアルとバーチャルの融合—複合現実感, 2011.
- [7] グリー株式会社, 月面キッズキャンプ web ページ, <https://ariena-lab.com/moon-kids-camp/>