

第21回 北海道測量技術講演会
～新しい標高体系と3次元計測技術に関する動向～

地下空間開発におけるデジタルツインおよびVR技術

2025年2月6日(木)



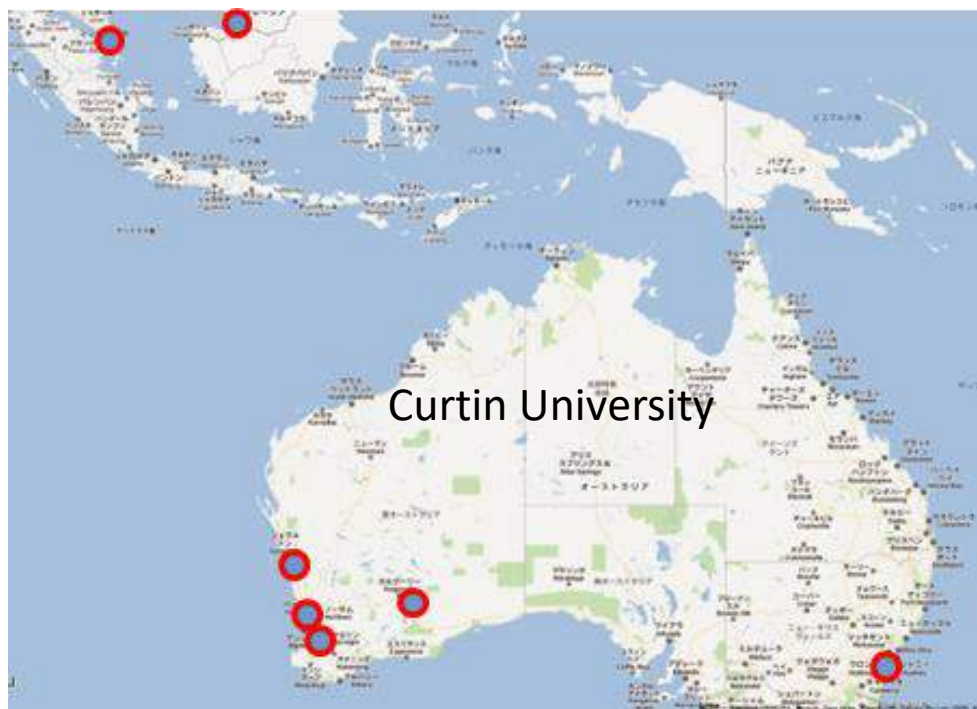
セキシフカヤ(カザフ)



ドウシャンベ(タジク)

自己紹介

2003年	北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻	鉦山 情報 鉦山 情報 鉦山 鉦山
2003年－2012年	筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師	
2012年－2015年	Curtin University Senior Lecturer	
2015年－2016年	筑波大学 システム情報系 准教授	
2016年－2021年	秋田大学大学院国際資源学研究科 教授	
2021年－現在	北海道大学大学院工学研究院 環境循環システム	



共同研究先（ゼネコン・コンサル）



安藤ハザマ



青木あすなろ建設



イセキ開発工機



エクシオグループ



大成建設



鹿島建設



熊谷組



五洋建設



コマツ



地圏総合コンサルタント



日本工営

色々話題な鉱山VR

宇宙や鉱山の現場、VRで体験 北大に360度シアター

森 尚希 担当記事
2022年8月8日 23:49



シアター内で専用のメガネをかけ、奥行きのある鉱山の現場を仮想体験する受講生ら。(石川順子撮影)

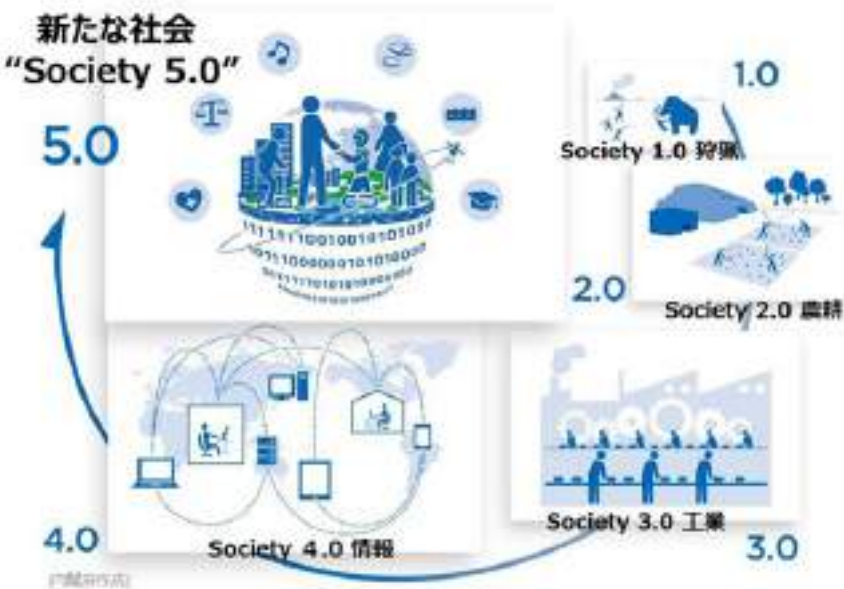
現場に行くことが困難な鉱山や宇宙を含む「フィールド科学」の現場を仮想現実（VR）技術で体験できる「360度VRシアター」が8日、北大工学部で受講生向けに公開された。

シアターは直径5メートル、高さ2...



Society5.0とIndustry4.0

Society 5.0（ソサエティ5.0）とは、「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）」と内閣府の『第5期科学技術基本計画』にて定義されている。



内閣府広報より引用

超スマート社会

AI
IoT
VR

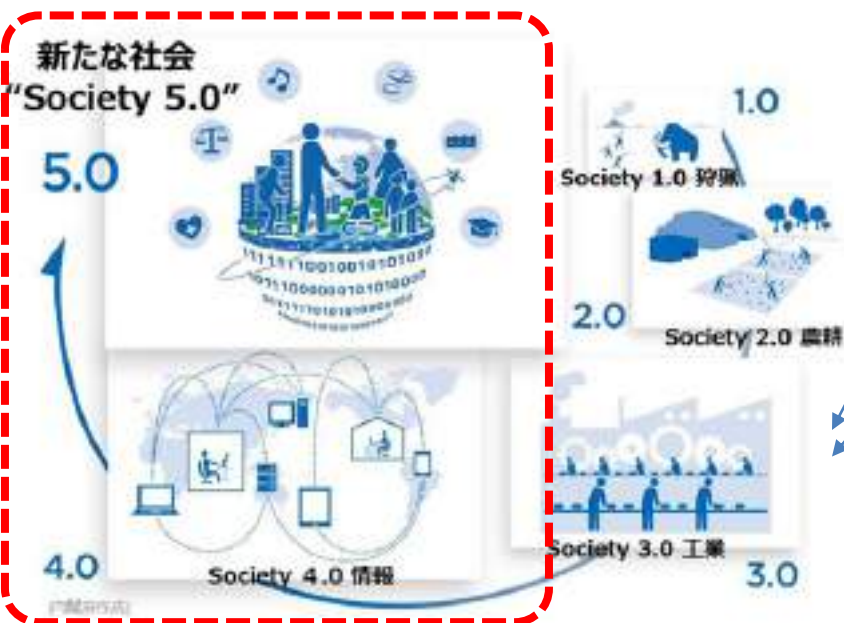


内閣府広報より引用

Society5.0とIndustry4.0

第4次産業革命：

2010年代後半、デジタル技術の進展と、あらゆるモノがインターネットにつながるIoTの発展により、コスト低減が進み、新たな経済発展や社会構造が変革される（としていた）。これが「Industry4.0」である。



●第1次産業革命(水蒸気革命)

18世紀後半、イギリスで蒸気機関が発明され、工場制機械工業の幕開け

●第2次産業革命(電気革命)

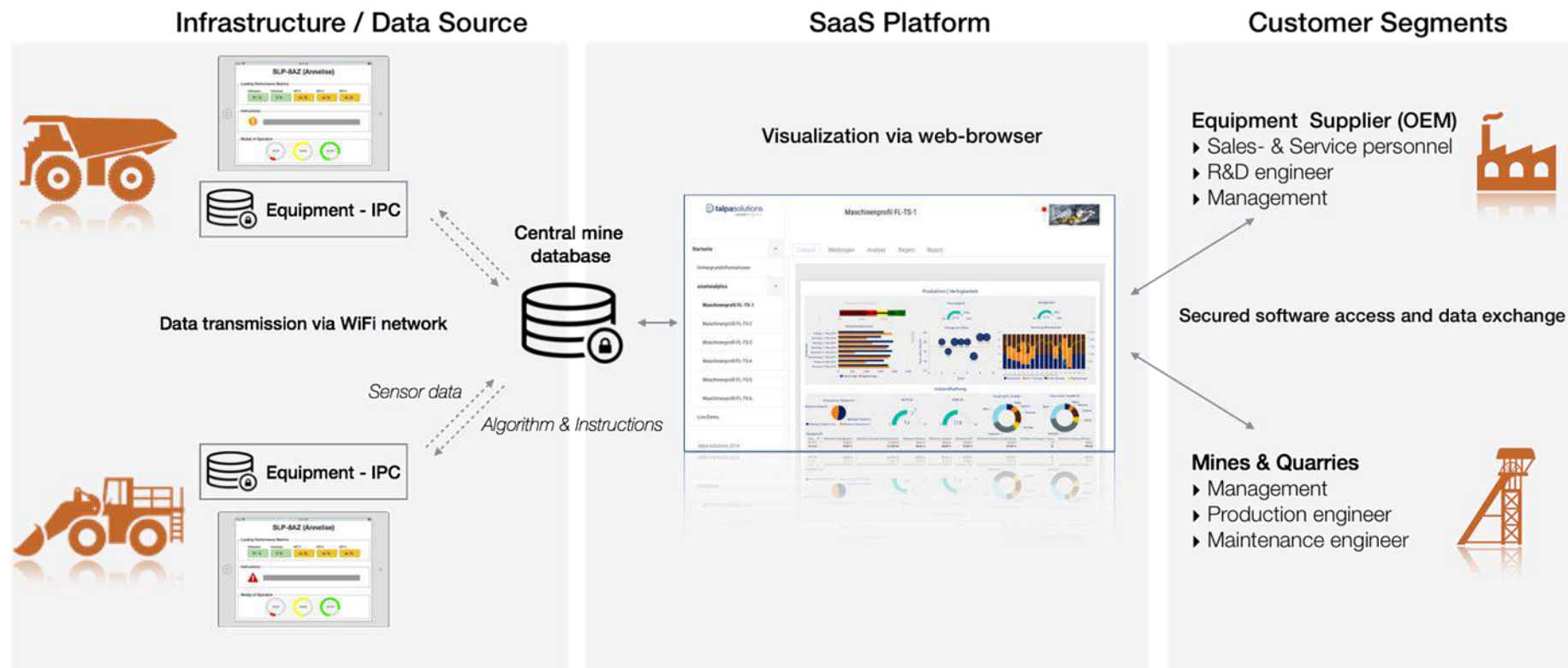
19世紀後半、電気・石油を新たな動力源とする重工業中心の変革である。モーターやベルト・コンベヤーなど電気技術をフルに発揮して生産性を上げていたアメリカ型の大量生産(マス・プロダクツ)が、この時代

●第3次産業革命(コンピューター革命)

20世紀後半、コンピューター制御により生産工程が自動化された革命。日本メーカーのエレクトロニクス製品や自動車産業の発展などが象徴的

Mining4.0: Industry4.0 in Mining

- IoTにより、設備が人と協調して動くCPS（サイバーフィジカルシステム）が実現
- 拡張現実ARを活用したオペレーター作業支援
- ビッグデータやクラウドコンピューティングを活用した品質追跡管理および工程改善
- 消費者に合わせたマス・カスタマイゼーション（これが最重要項目）



スマートセンサ・ネットワーク・ビッグデータ・AI・インターフェース（VR含む）

今後の鉱山工学に求められること

課題

深部化

低濃集

環境配慮

ゼロエミッション
カーボンニュートラル
カーボンフリー

安全性、効率性、あり方、教育、技術革新、分野横断

解決

IoT (通信)

デジタルツイン

データマイニング

AI

自動化

無人化

SLO

新技術の開発

教育・技術伝承

VR

環境評価

プラットフォーム

ビッグデータ

AR

スマートセンサ

資源メジャーの取り組み

Mining	脱炭素	スマートマイニング	目標
Rio Tinto	太陽光発電所とリチウムイオンバッテリーによるエネルギー貯蔵施設を建設、カーボンフリーのアルミニウムの生産や、中国Baowu Steel Group及び清華大学との鉄鋼生産時のCO ₂ 排出量削減へ向けた研究開発事業への投資	Mine of Future 鉱山自動化システム (MAS)、 <u>自律型トラック、自律列車、自律ドリル、遠隔操作車両、3D視覚化</u>	2030年までに排出原単位を2018年に比べ30%削減、2030年までに絶対排出量を2018年に比べ15%削減
Vale	湿式洗浄塔、超大型鉱石運搬船、クリーン大気排出削減プロジェクト (CleanAER)、ディーゼルから電力自動車へ (PowerShift; LHDのバッテリー化など)、ペレット化、バイオディーゼル、硫黄分が0.5%以上の燃料を国際水域で航行する船で使用の禁止、植林	スマートエネルギー導入、自律トラック	2020年までにGHG直接排出を5%削減、2030年までに再生可能エネルギーで100%自給自足
BHP	低排出技術 (LET) への投資、輸送LNG燃料船導入、海洋バイオ燃料の試験、CCS (北京大学メルボルン大学、ケンブリッジ大学、スタンフォード大学共同)、大気からCO ₂ を除去するDirect Air Captureの開発を加速、製鉄における高品位石炭の使用、再生可能エネルギー由来の電気の使用、ディーゼル車を電気自動車に、メタンを食べるバクテリア、船舶のGHG排出量測定	自律発破孔掘削、運搬自動化、自律トラック、自動鉄道スケジューリングシステム、 <u>LiDAR</u> テクノロジー	2022年度排出量を2017年度以下
Glen Core	廃棄石炭鉱山ガスの使用、レアメタル生産	<u>自動運転、VR</u>	GHG排出原単位を2020年までに2016年から5%削減目標、2035年までにGHG排出量が3分の1に減少すると予測
Anglo American	CCS、MaaS、自動触媒、洲鎌ぶ原料・還元鉄のアーク炉、粒子を通常の2.5倍に粉碎し、エネルギー消費量と粉碎時間・水の利用を削減、超微粒子の回収、再生可能エネルギーの使用、内部エンジンの小型化・省エネ化、バイオマスを使用した銑鉄生産	Future Smart Mining (電気油圧ドリル、continuous rock-cuttingの自動化、Intelligent Mine、予測管理モデル、 <u>機械学習を利用した選鉱工程の最適化</u>)	2020年GHG排出量22%削減
Fortescue	Pilbara Energy Connect Program (電力化)、水素技術の開発と商業化、アンモニアから高純度の水素を抽出するための金属膜 (メンブレン) の開発、Green Hydrogen Consortium (再生可能エネルギーを製造源とする水素)、水素燃料供給施設 (Hydrogen Fuelling Facilities) の設立	自律型トラック (無人トラックを世界で最初に商業的に導入した鉱山会社)、鉱山操業管理サービス「Cat Minestar」、Future of Mobility Centreの設立	今世紀の後半までにGHG排出量を正味ゼロ、短期的目標は、鉱山の操業や鉄鉱石供給の際に発生するGHG (Scope1,2) を削減する
Codelco	環境へのCodelcoの投資額は9億8,600万ドル、パイロットエレクトロモビリティプロジェクト、全カソードの内5%を追跡可能、二重吸収硫酸プラントの建設、自溶炉の拡張、2020年までに、処理される1トンあたりの淡水の消費量を10%削減する、チリ北部の固有で脆弱な植物種であるワイルドトマティロ (Solanum sitiens) の保護	自律トラック	マスターサステナビリティ計画
Antofagasta	Centinela銅鉱山は、EngieEnergiaChileと再生可能エネルギーの電力契約を締結、再生可能エネルギー、サーモソーラープラント、植林	<u>自律ドローン地図描写</u>	2022年までにGHG排出量をCO ₂ の300,000トン削減する

サービスカンパニーの取り組み

	Service Company	産業	スマートマイニング	名前
US	Cisco Inc	情報・通信業	機器のメンテナンス時期の予測・スケジューリング、テーリングダムモニタリング、IoT機器のセキュリティ管理、 <u>資産の可視化・モニタリング</u> ・換気制御・緊急時の対応、鉱山・プラント・製錬所などの一括管理	Cisco Connected Mine
	Rockwell Automation	産業オートメーション	機械装置メーカー（OEM）の自動化サポート（自律走行車やオンデマンド換気、人の位置探査、リアルタイムのリモートモニター、電気機械シャベルなど）、モーター制御、可変速ドライブ、インテリジェントモーター制御、状態モニター、プロセス制御、 <u>標準化されていない機器同士の管理、採掘との連携</u>	The Connected Mine
	Trimble	情報	空中・地上・地下のスキャンとイメージング、インフラストラクチャの配置、計画用ソフトウェア、オンボード生産性アプリケーション、 <u>鉱山情報システム</u>	Trimble Connected Mine Mine Information System
	Caterpillar Inc	建設機器	Fleet、遠隔操作、オペレータ補助、締め固め、センサー、自律運搬、最適化	CAT®MINESTAR™
	Parametric Technology Corporation	ソフトウェア	IoTプラットフォーム、ソフトウェア、サービス	
日本	日立建機	機械	AHS、FMS、ICT施工（起工測量、設計・施工計画、施工、検査、データ納品）、定期レポート（稼働状況、部位別の操作時間、冷却水・作動油の温度、燃料消費量、稼働時間、走行距離、速度段ごとの時間、各種診断コメント）、緊急レポート（アラーム名称、モデル名・号機、対応内容、稼働場所と地図のリンク）	
	Komatsu Mining Corp.	鉱山機械メーカー	機械データの収集（Joy Connect）、Longwall 3D可視化、オンライン振動モニター、リモート健康モニタリングシステム、複数鉱山管理ソフトウェアとの連携	Mining Intelligence
スウェーデン	Atlas Copco	産業機械	Smart factory	Smart Connected Assembly
	Hexagon AB	測定用ソフトウェア	<u>3Dモデリング、データの視覚化、計画を提供し、探査から生産までのサポート</u> 、プロジェクトデータの統計および地理統計分析、フリート管理、（OPおよびUG）機器ガイダンス、オペレータ支援、フラグメンテーション分析、衝突回避システム、追跡レーダー、情報一元管理	
フィンランド	Outotec Oyj	鉱山機器		Outotec Pretium Digital Solution
	Nokia	情報	<u>デジタルプラットフォーム</u> 、マルチクラウド、高性能ネットワーク、セキュリティ	The Future X architecture for mining, Nokia Connected Digital Mine
イギリス	IntelliSense.io	AIソフトウェア	リアルタイムの意思決定産業用AIプラットフォーム、鉱業業界向けサービスの最適化アプリケーション（OAAS）	brains.app
ドイツ	SAP SE	情報・通信業通信業	長期ビジネス計画（在庫管理）、会計システム、物流システム（フライト、貨物予約）、販売システム、人事システム、ポートフォリオ・プロジェクト管理、採掘・製錬（品質管理、操業管理、Digital Manufacturing System、スケジューリング）、資産管理、倉庫管理（物の移動、倉庫内の可視化）、環境・健康・安全（カーボンフットプリント、健康管理）、製品コンプライアンス（危険物の管理、市場・化学コンプライアンス管理）	
カナダ	Symbioticware Inc	情報	データ収集プラットフォーム用のセンサーネットワークインターフェイス、スピード超過検知、産業用バッテリーバックアップ、ステータス、レポート、分析、およびリモート設定ソフトウェア	
スイス	ABB Ltd	電力機器、重工業	資産管理、電力・選鉱のプロセス制御、IoTデータ統合、換気制御、シミュレータ、サイバーセキュリティ対策、 <u>鉱山総電化、変電所自動化、3Dシステム</u>	ABB Ability™MineOptimize

VR

安全性



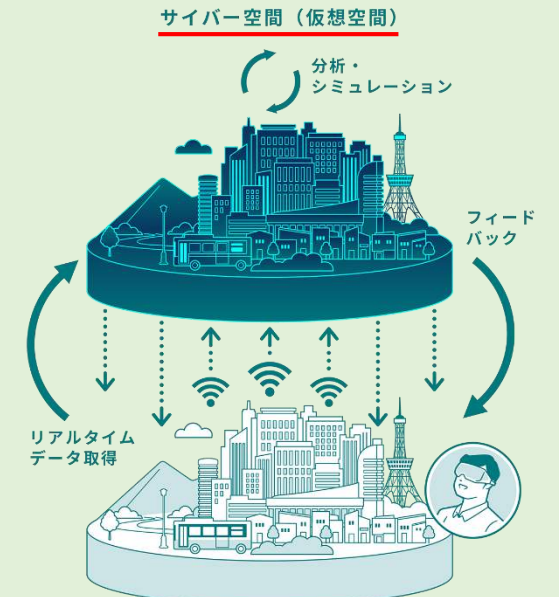
教育・トレーニング

VR (Virtual Reality)



容易に立ち入ることのできない場所
(鉱山、宇宙、海中、森林等)を
仮想空間において**可視化**する

生産性



フィジカル空間 (現実空間)
(東京都デジタルサービス局より引用)

デジタルツイン

VRの要素

撮影



レンダリング・モデリング

画像編集



モデリング



CAD

SfM



NeRF

3DGS

メタバース

投影



スマートマイニングの実装

探査

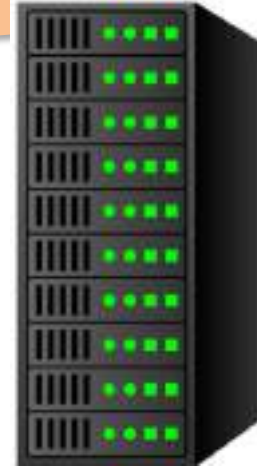


HS撮影

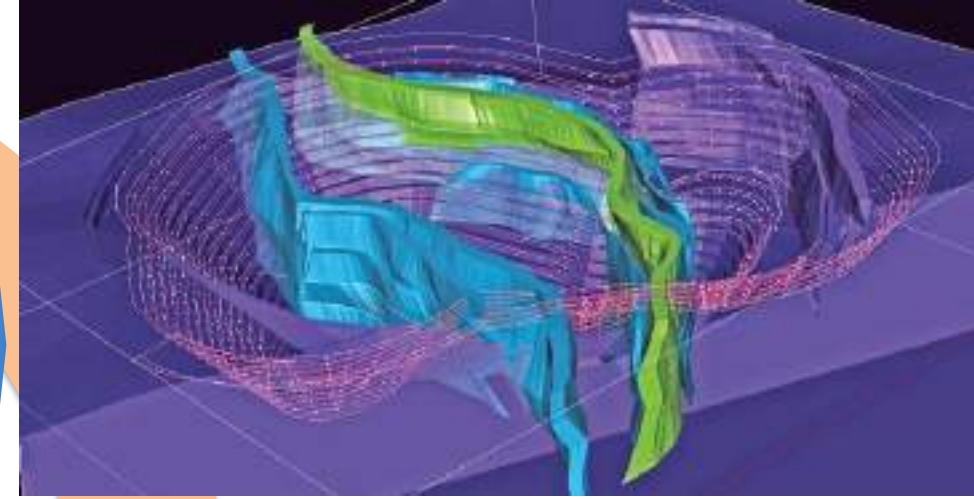
スマートセンサ



3Dフォトグラメトリー



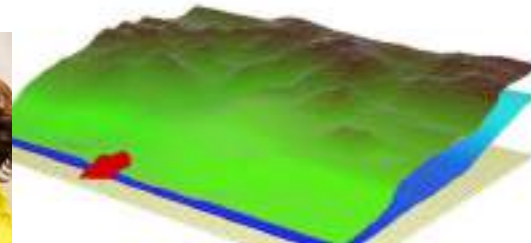
ビッグデータ



デジタルツイン構築



可視化

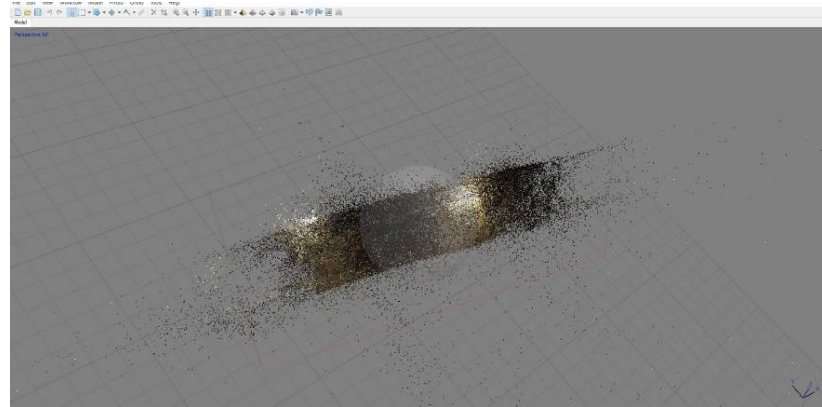


シミュレーション



VR/AR

鉱山操業のためのCyber-Physical Implementation

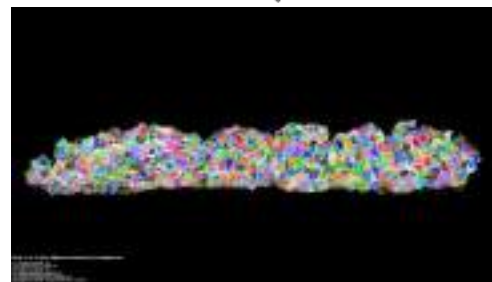


坑道の3次元モデリング
写真とSfMにて構築



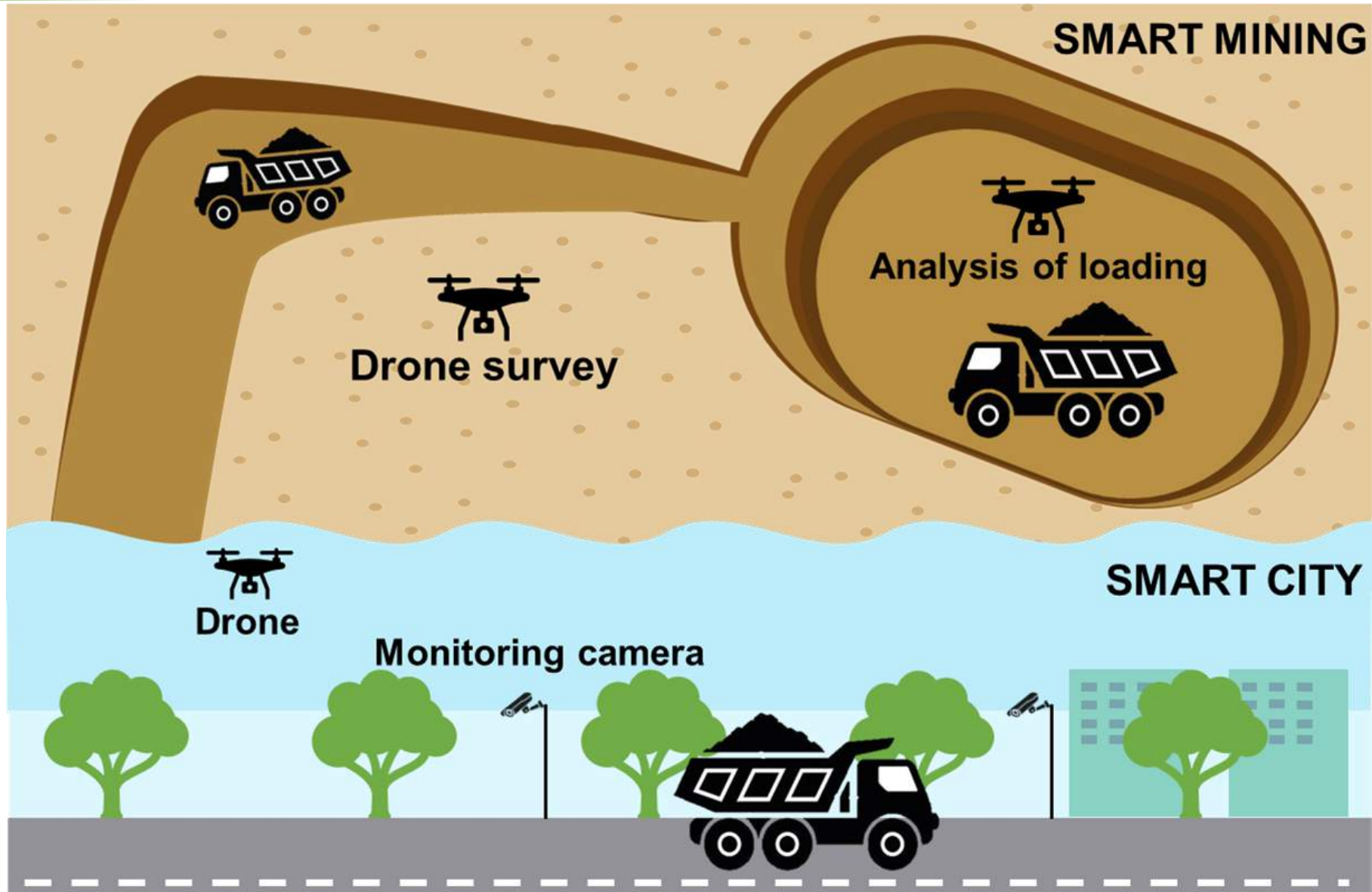
VR表示
教育にも活用
Rio Tintoとも協働

Super Voxel
クラスタリング



モックパイル3次元モデリング

トラックの積載状況モニタリング



トラックの積載状況モニタリング

現場撮影実験

MAVIC PRO (DJI)



Drone

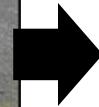


トラックの積載状況モニタリング

3次元モデリング



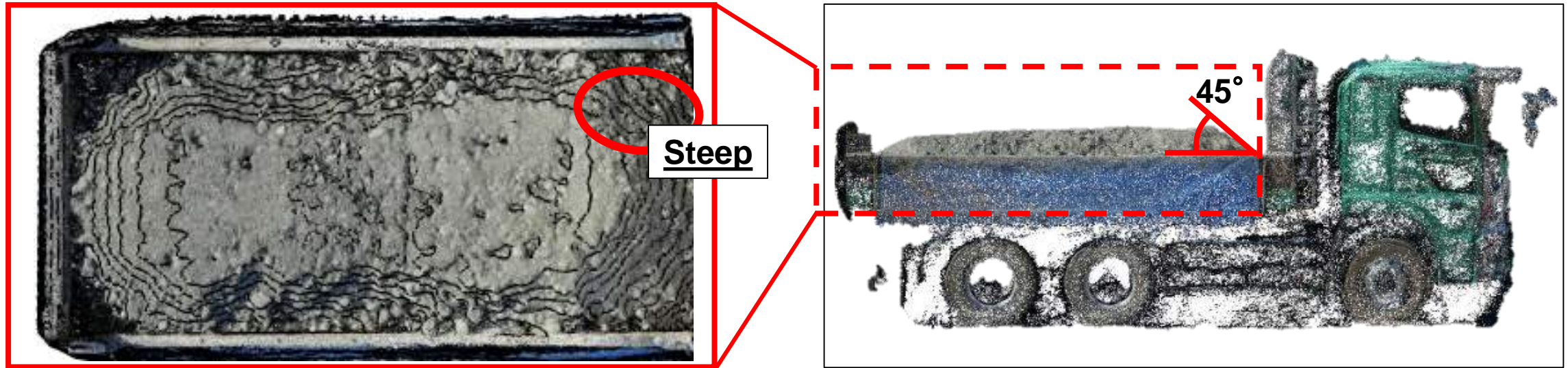
Images



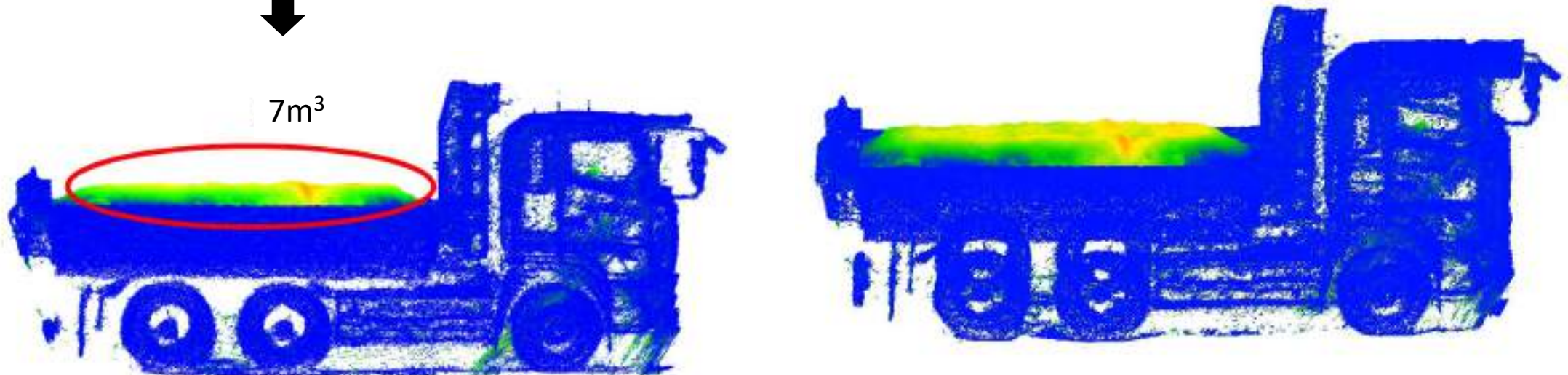
Dense point cloud

トラックの積載状況モニタリング 解析結果例

Black line: Contour line(per 0.05m)



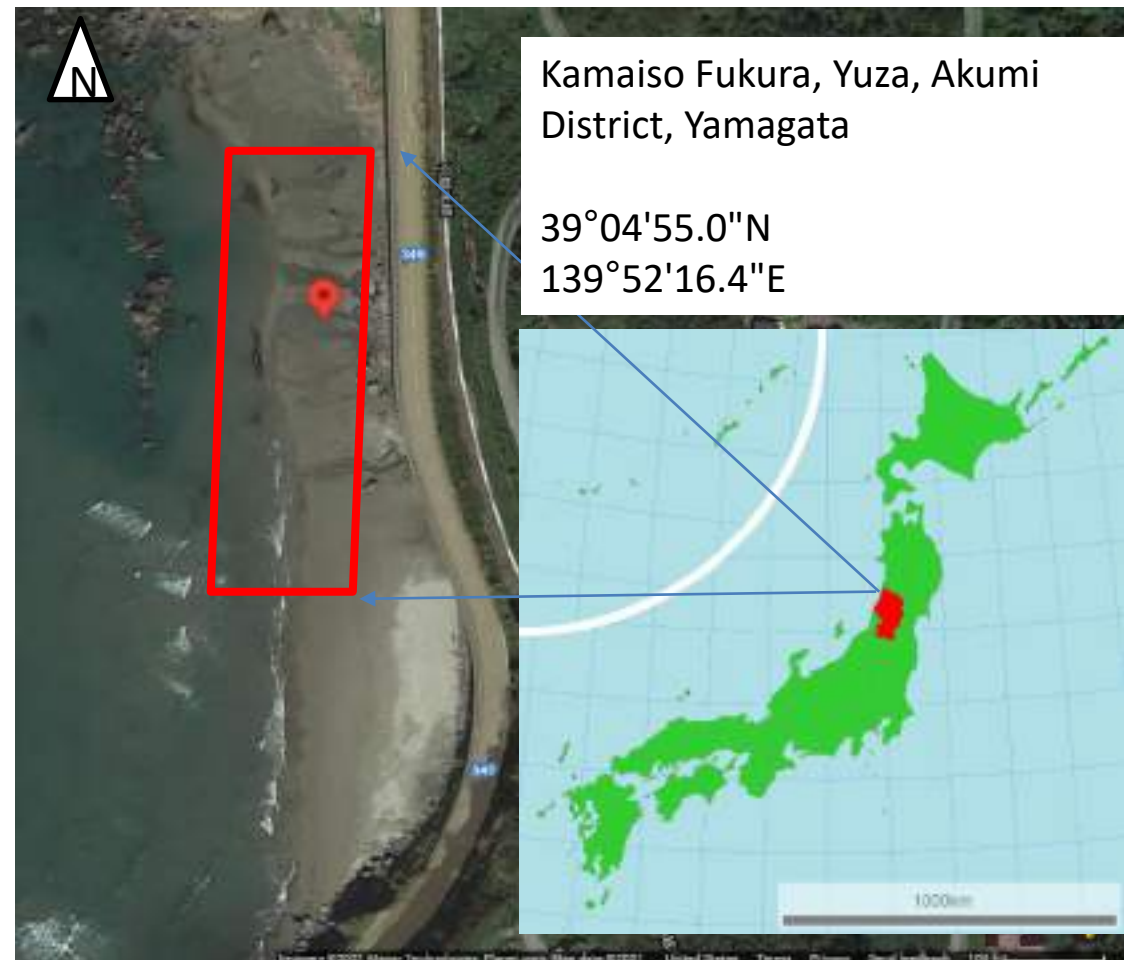
7m³



ドローンとマルチスペクトルによる磁鉄鉱探査

- Magnetite/ iron sand placer deposits
- Smart mining
- Located on the coast

- Spatial area covered by deposit
- Aid in economic viability



ドローンとマルチスペクトルによる磁鉄鉱探査



UAV multispectral sensor



Specs.:

62.7° field of view

[1] Blue: 450 nm ± 16 nm,

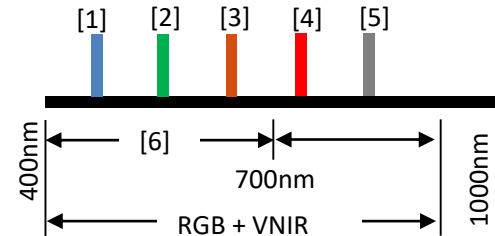
[2] Green: 560 nm ± 16 nm,

[3] Red: 650 nm ± 16 nm,

[4] Red Edge: 730 nm ± 16 nm,

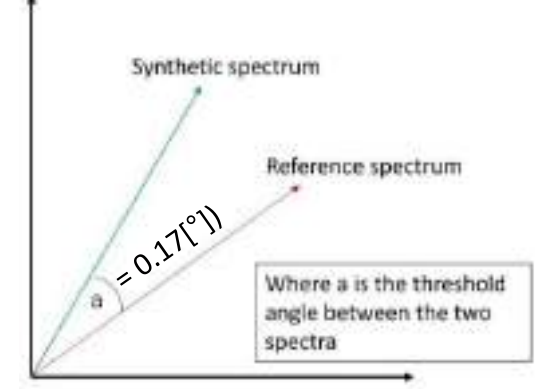
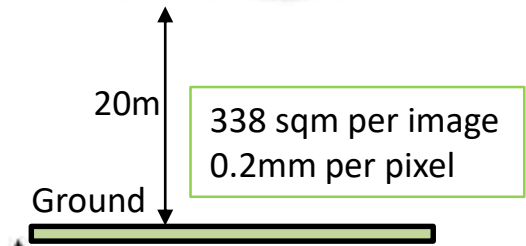
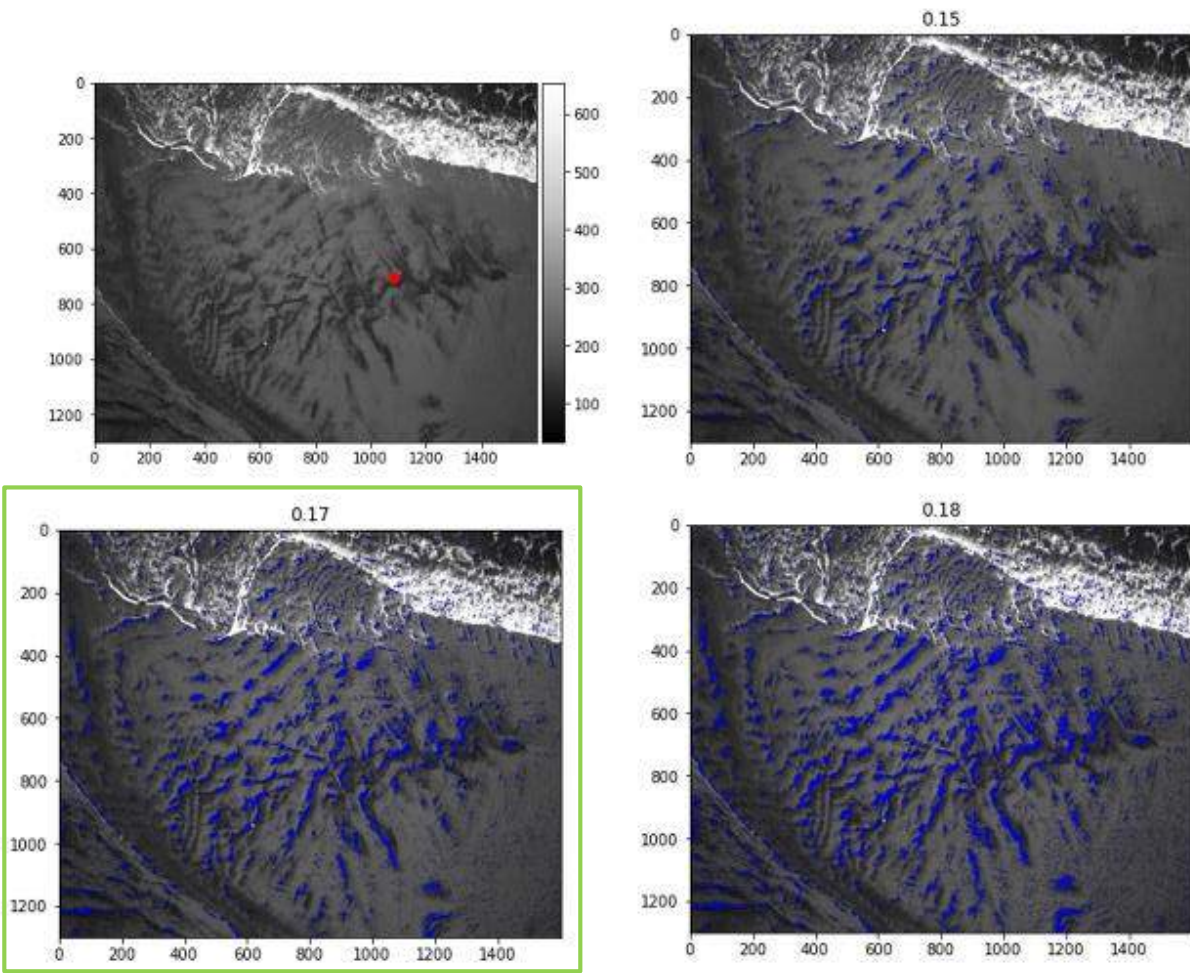
[5] Near Infrared: 840 nm ± 26 nm.

[6] RGB camera



UAV drone flight elevation	Number of Images captured	Flight time (minutes: seconds)	Battery power consumed during mission (%)
2 metres	80	21:32	69
10 metres	32	8:23	29
20 metres	8	2:08	7

機械学習による磁鉄鉱判定結果 (20m)



Key:
■ Mapped as magnetite



Underground デジタルツインの下準備

10mの坑道を0.5m毎に撮影

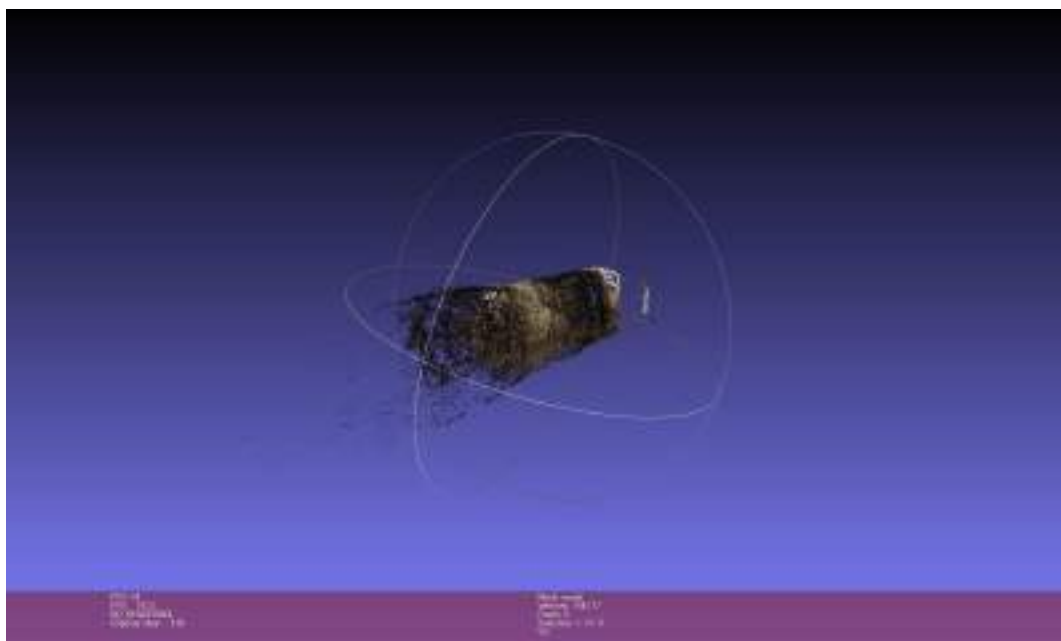


1枚の写真で
全方位を撮影できる

六つの写真を合成編集しており、歪み
が大きい

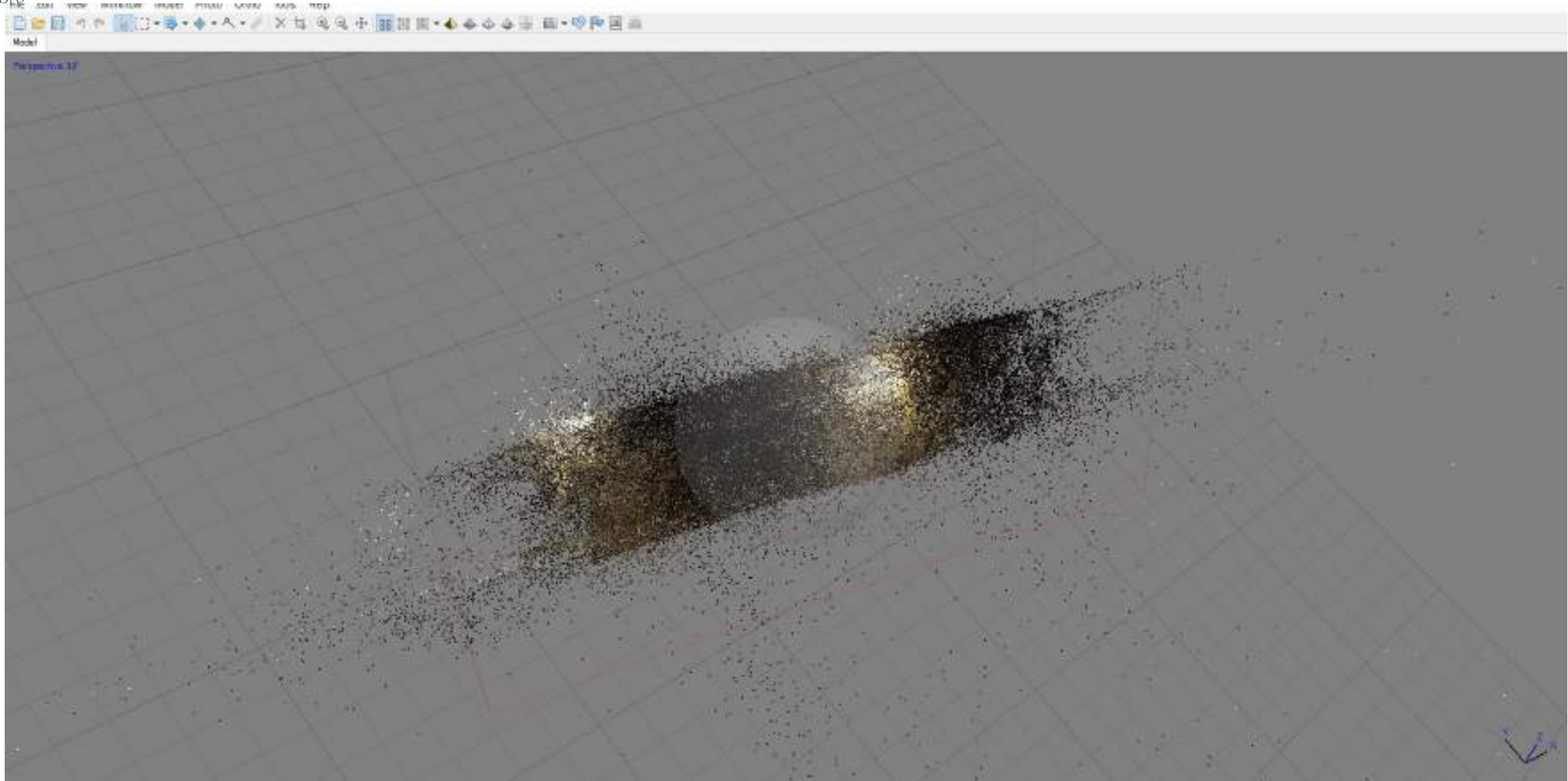


1枚の写真から
18枚の透視投影画像
に変換



計20枚の360度写真から
360枚の透視投影画像に変換し使用

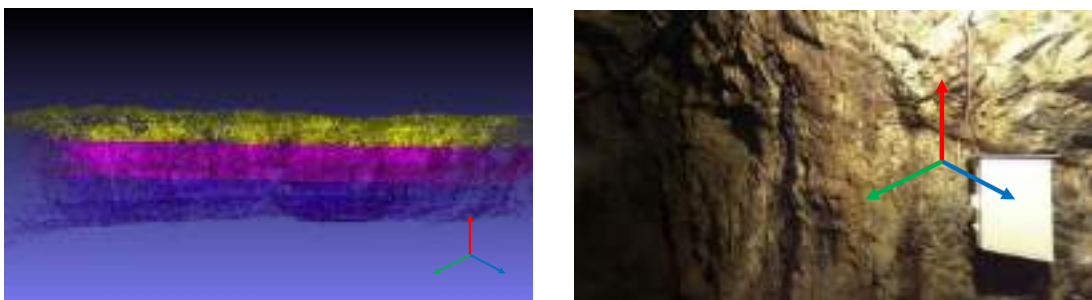
Underground デジタルツインの下準備



撮影 $\xrightarrow{\text{SfM}}$ ポイントクラウド $\xrightarrow{\text{SR}}$ テクスチャ貼り付け

Underground デジタルツイン

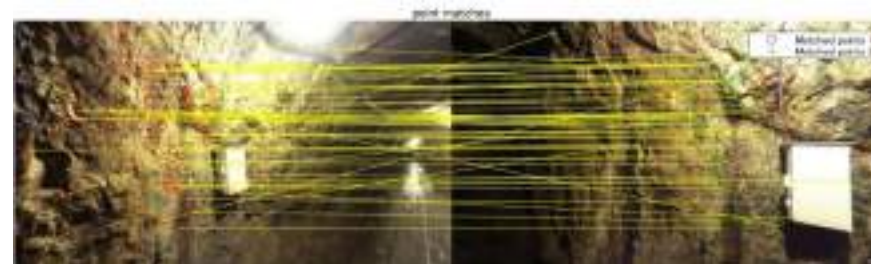
1. 重畳対象物の世界座標を設定



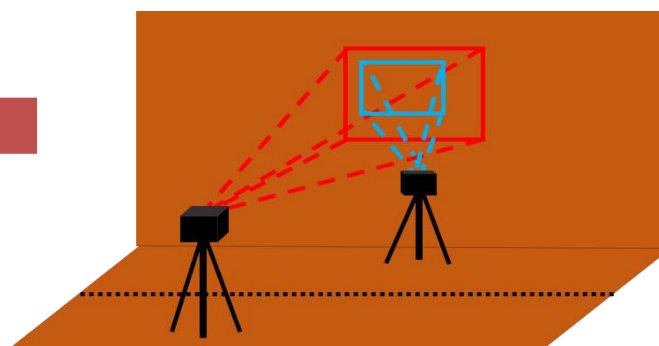
2. 世界座標と実座標の対応付け



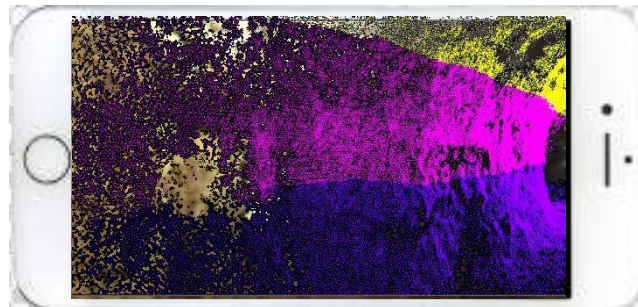
3. 画像間の特徴点の対応付け



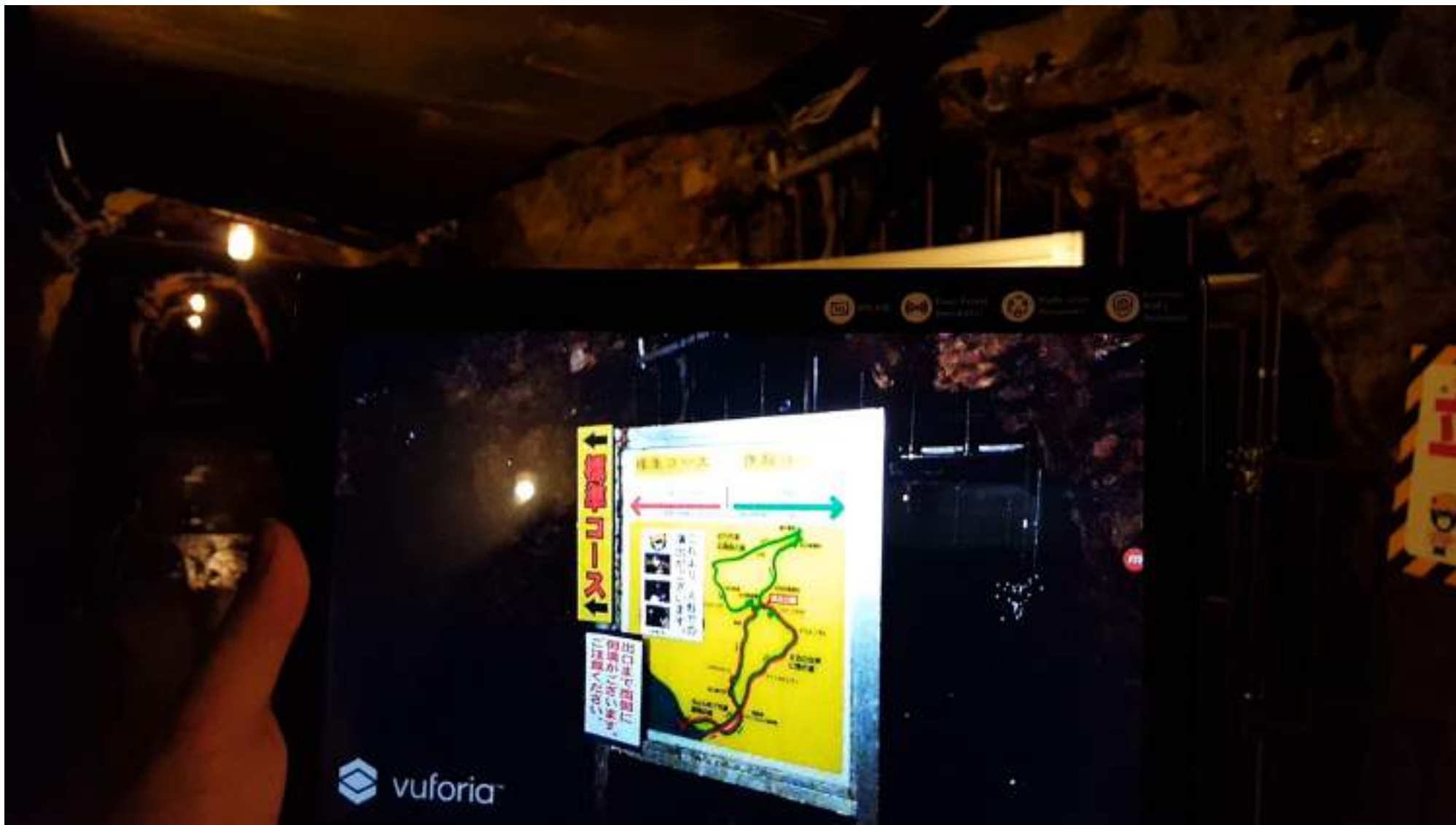
4. カメラ姿勢の推定



5. 点群モデルの重畳



Underground デジタルツインの実装 (AR)



端末が登録した画像と
判断し、点群を重畳



端末が移動

マッチングからカメラの位置姿勢を
推定、点群が調整され表示

トンネル現場での活用



現場写真

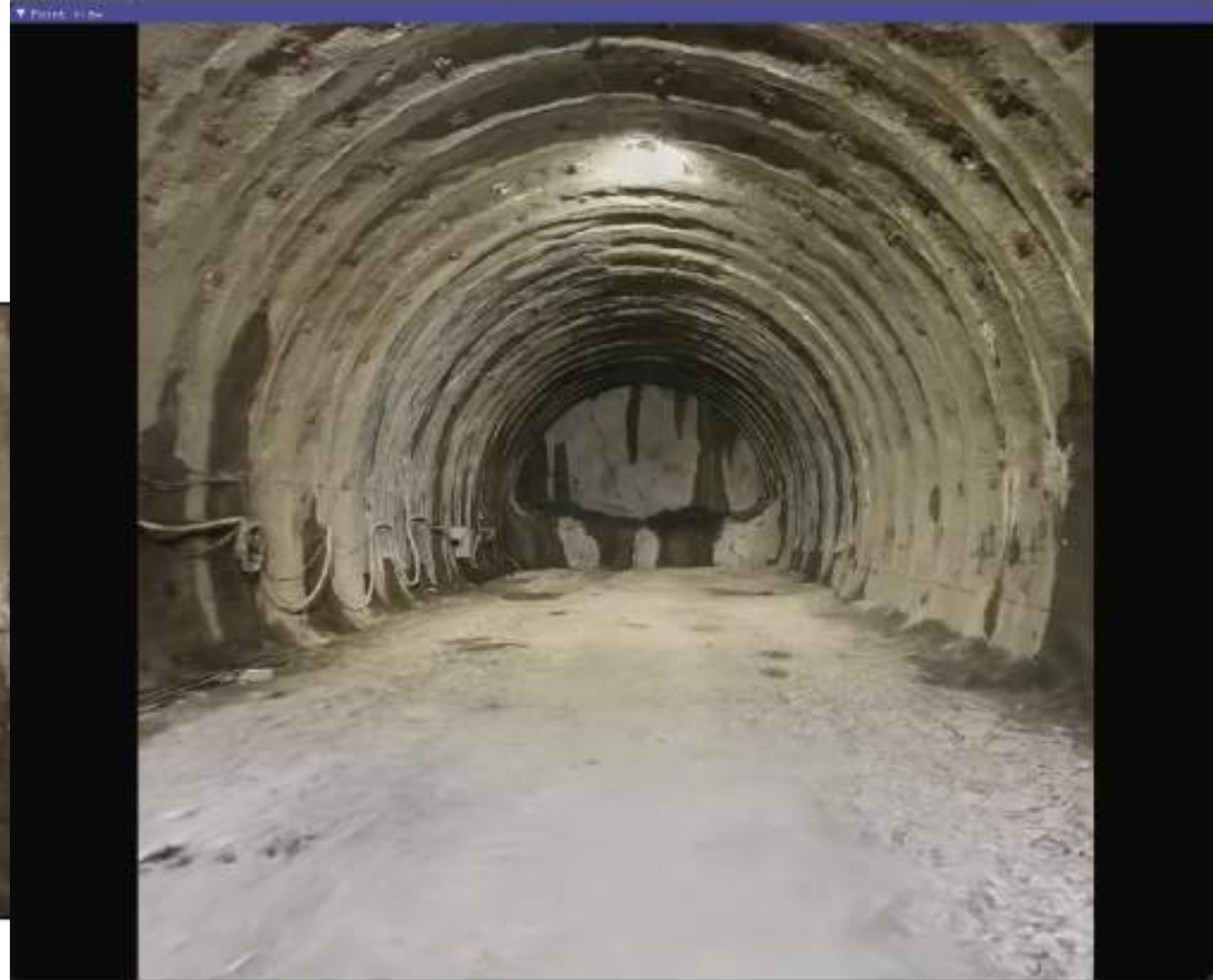


360° カメラ映像

SfMポイントクラウド



NeRFと3Dガウシアンスプラットニング によるレンダリング



04 Underground Mine Testing

□ Initial Autonomous Flight Test in Underground Mine



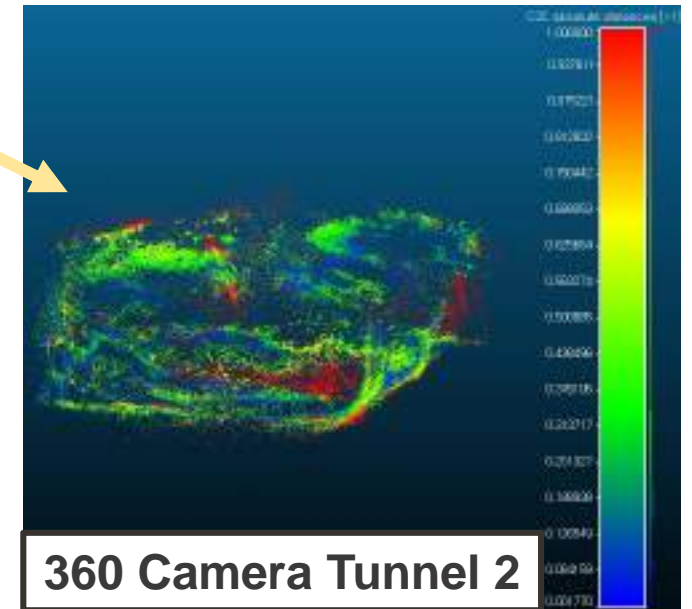
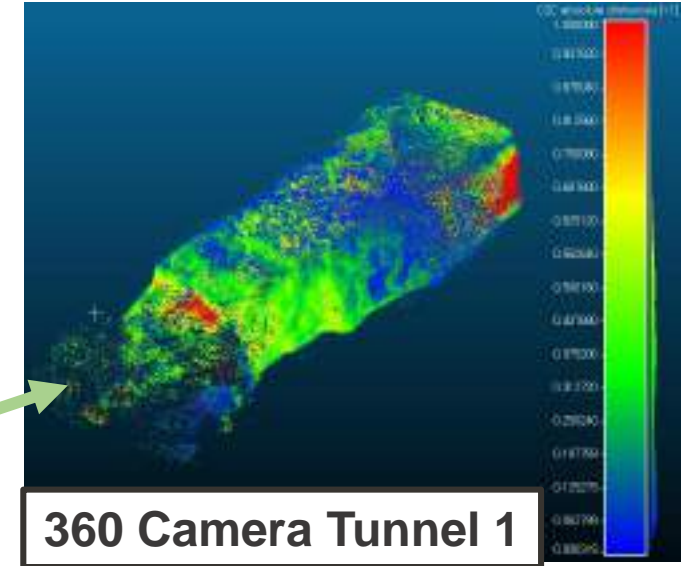
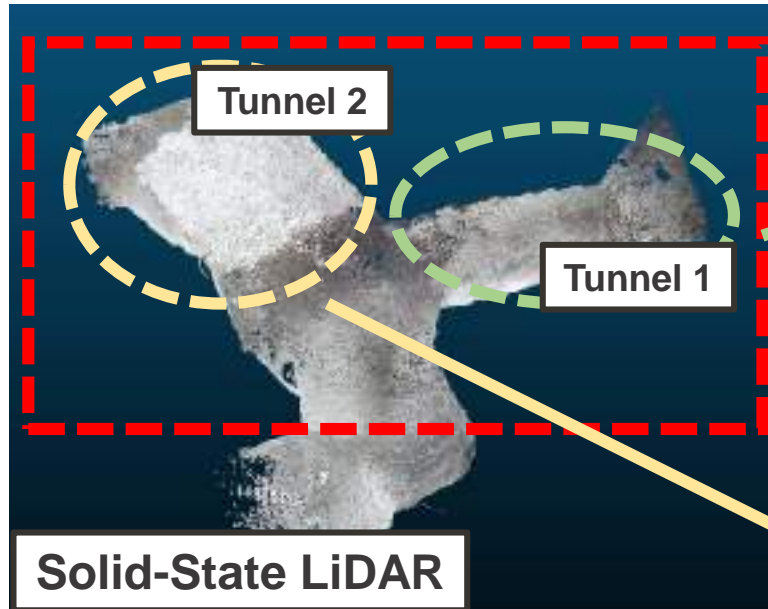
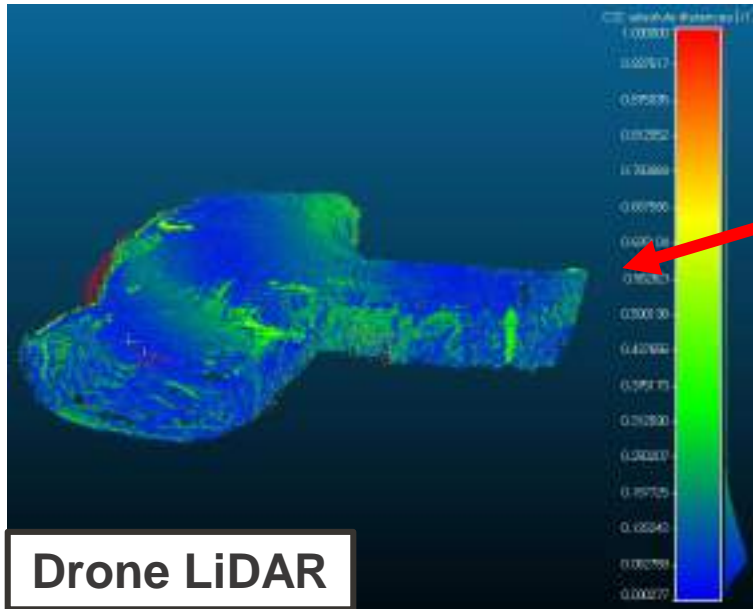
04 Underground Mine Testing

□ Second Autonomous Flight Test in Underground Mine



05 Data Analysis and Comparison

Comparison of Underground Environment Modeling Results



	Mean Distance (cm)	Std Deviation (cm)
Drone LiDAR	10.99	6.29
360 Camera Tunnel 1	29.74	14.03
360 Camera Tunnel 2	32.79	23.92

0





Contents

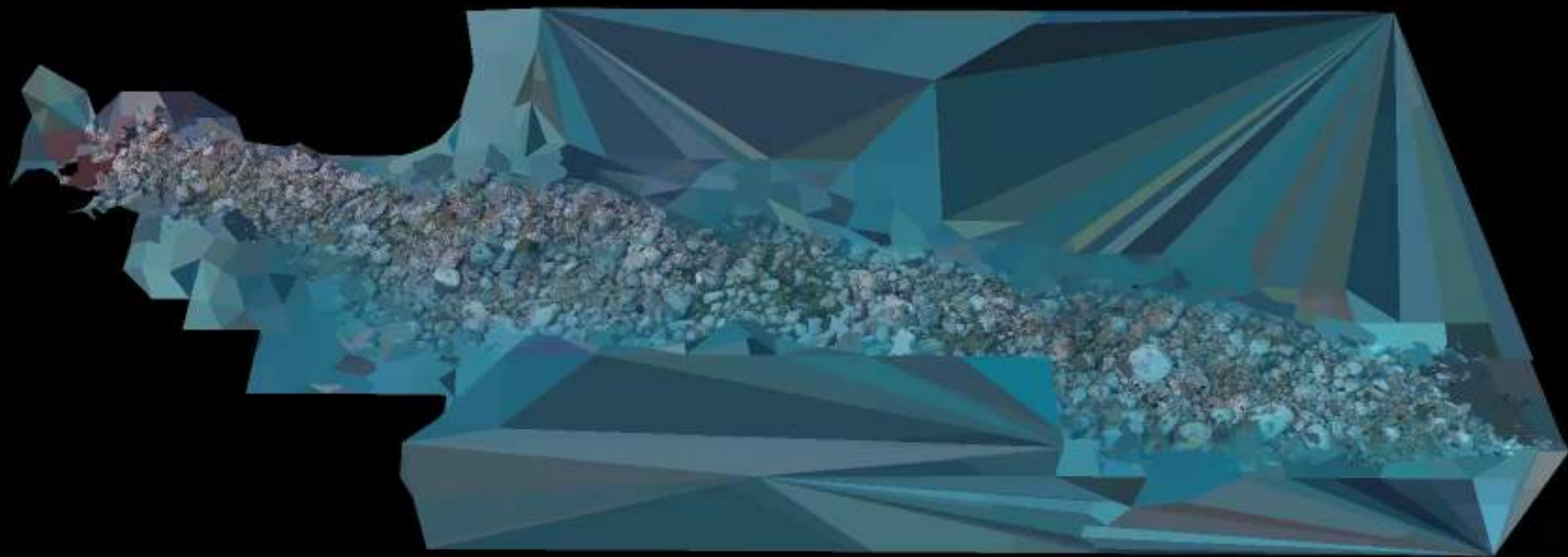
Search

Drawing Order

- Scene
 - 3D Layers
 - xyz_data_all_XYTableToPoint
 - 2D Layers
 - MBlock_04042024_Geomodel_AGD66_Z55.tif
 - Idw_xyz_data1
 - VALUE
 - 194.621 - 205.432
 - 205.433 - 213.686
 - 213.687 - 219.909
 - 219.99 - 224.801
 - 224.802 - 231.103
 - 231.104 - 239.358
 - 239.359 - 250.17
 - 250.171 - 264.33
 - 264.331 - 282.877
 - 地形図 (World Topographic Map)
 - 陰影起伏図 (World Hillshade)
 - Standalone Tables
 - xyz_data.csv
 - Elevation Surfaces
 - Ground
 - Idw_xyz_data1
 - WorldElevation3D/Terrain3D

Arc GIS Pro上でMine AのDEM及び航空写真を合成表示





Risks for worker in underground mine

- Rock falls
- Toxic gases
- **Loss of direction**



MINER Act for emergent rescue

- Requires **tracking of the positions of workers** in underground
- Also requires **two-way communication** between surface and underground

Current situation in underground

GPS cannot be used in underground

- Installed communication infrastructure for navigation and tracking of workers
- **The use of communication infrastructure is limited, voice communication is used for feedback of navigation**



Voice communication infrastructure

There are needs for **digitalization of underground navigation and tracking system**

- **Underground Map with GIS (like Google Map on surface) is needed** for underground navigation
- **Digital Twin (3D model)** can be used as Underground 3D Map

Digital Twin in Mining

- **A virtual replica** of the physical world for operational visualization and decision making
- **3D model** of the mine site **must be created**
- Creating underground 3D model by **Photogrammetry** is **difficult**

➔ **Need to look for another method**



3D model of the open pit with Photogrammetry

To develop underground navigation system utilizing Digital Twin and existing communication infrastructure

- 1 To create **Underground 3D Map with GIS** to share location
 - **LiDAR would be used for creating Underground 3D Map**
 - **Georeferencing (adding GIS) to Underground 3D Map**
- 2 To develop a navigation system using **Visual Positioning System (VPS)**
 - Creating a mobile application with **Unity**
 - Demonstrating Visual Positioning System in underground mine
- 3 To mechanize the feedback of navigation
 - Demonstration with smartphone and transceiver

1 Creating Underground 3D Map and sharing location

1. The operator decides the destination and creates QR code



2. The worker scans the QR code, completing the sharing of the location



Problem

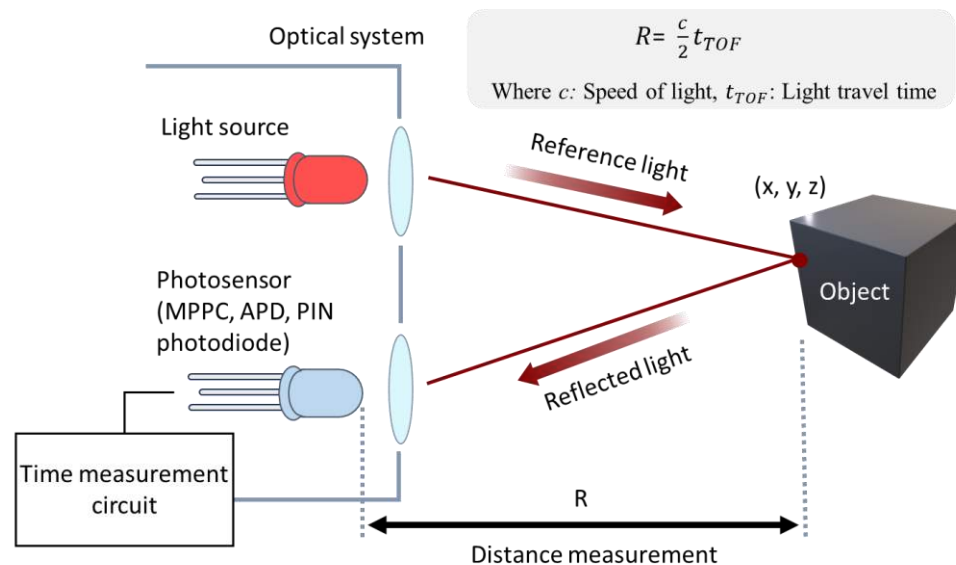
- No underground map

Solution

- Creating underground 3D Map

LiDAR による3D Point Cloudの取得

- LiDAR (Lighting Detection and Ranging) makes it possible to **measure the object** with 3D point cloud
- 3D point cloud consists of vast number of points, and has **local 3 axis coordinates (Data3D)** and **image data (Images2D)**



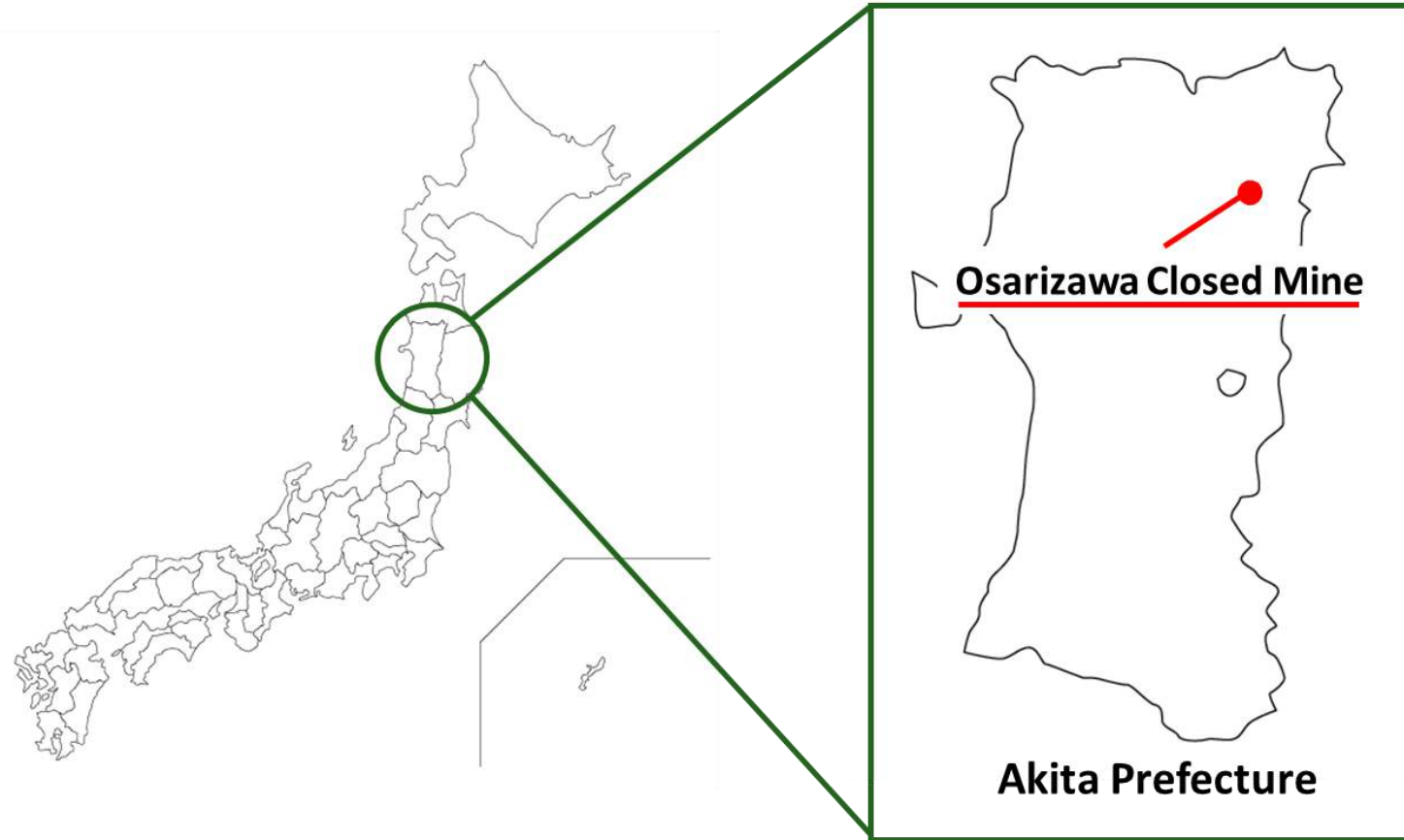
Schematic diagram of LiDAR measurement



The example of 3D point cloud

地下空間3Dマップの作成（実験サイト）

- Underground 3D point cloud was measured at **Osarizawa Closed Mine**, Akita Prefecture



The location of Osarizawa Closed Mine

地下空間3Dマップの作成 (LiDAR計測)

- **BLK 360 (LiDAR device)** was used for scanning point cloud
- Each shooting distance was about 20m, required hundreds of scanning
- **Alignment** was conducted **to connect all point cloud data**



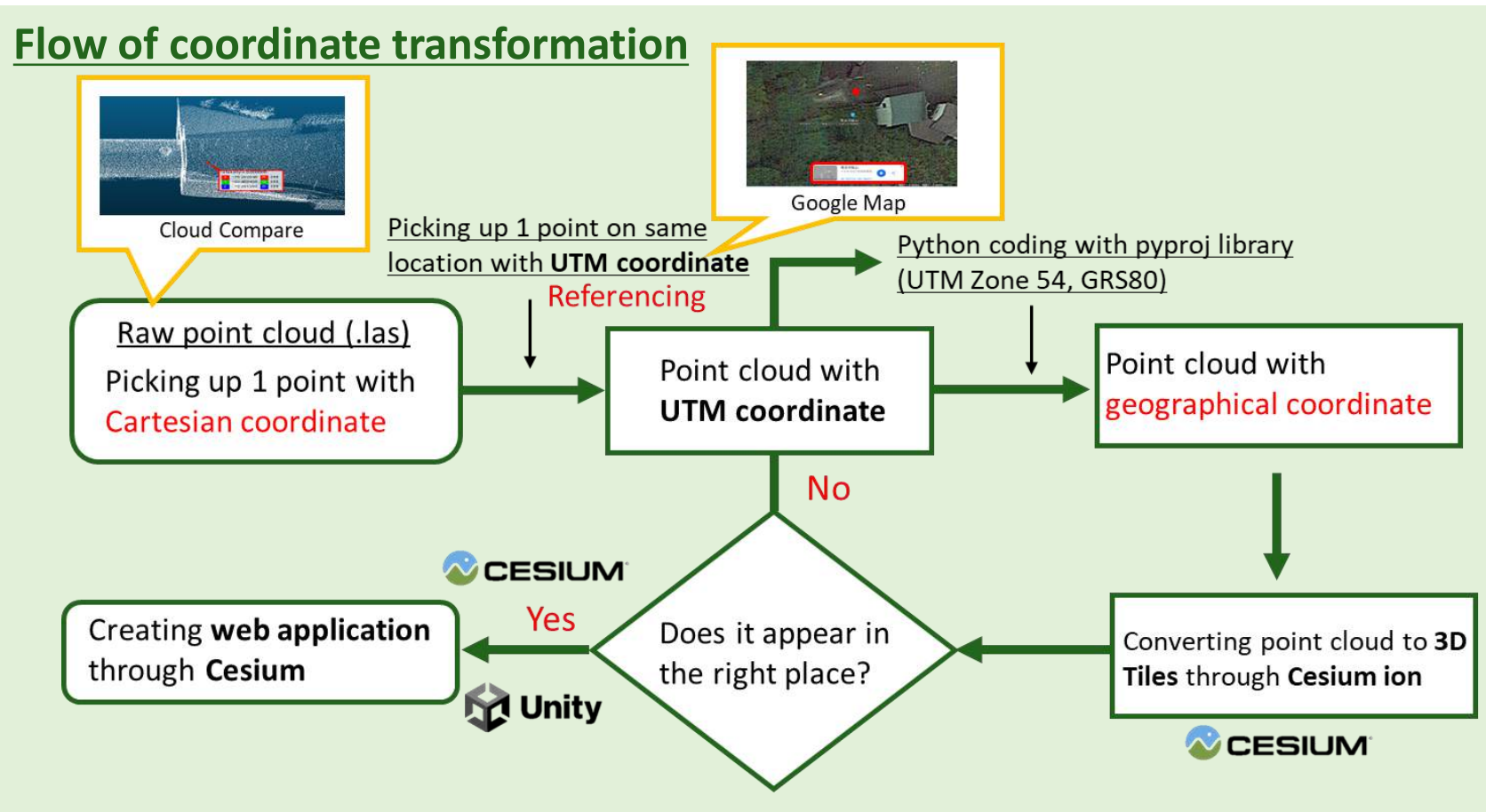
Point cloud measurement with BLK360



Alignment of current and previous pointcloud

3D Point Cloudの座標変換

3D point cloud was **georeferenced** (added GIS) by **coordinate transformation with Google Map**



3Dマップの表示（インターフェース）

- **Cesium (3D GIS platform)** was used for visualization of underground 3D map
- URL is changing with clicking, means **it allows to share location information**



Web application created by JavaScript using Cesium

System Design

1 Creating Underground 3D Map and sharing location

1. The operator decides the destination and creates QR code

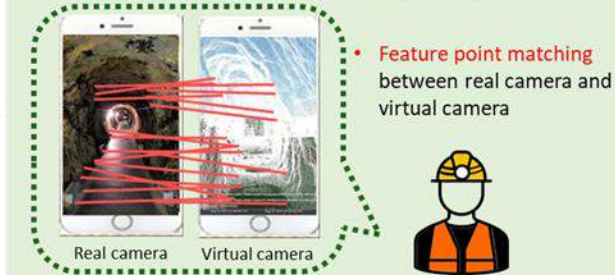


2. The worker scans the QR code, completing the sharing of the location



2 Navigation with VPS

3. The worker navigates to the destination through Visual Positioning System



5. The obtained coordinates complete tracking through feedback to a 3D map



4. Transmitting coordinates obtained from navigation by Morse code and communication infrastructure



3 Feedback through existing communication infrastructure

Visual Positioning System (VPS)

- VPS estimates position by **feature points matching** of **Underground 3D map** with **current image of from RGB camera** in real-time
- **SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)** is an algorithm for feature point detection and matching
- **AR (Augmented Reality)** is often used for visualizing success of VPS



An example of VPS with AR
by JR EAST

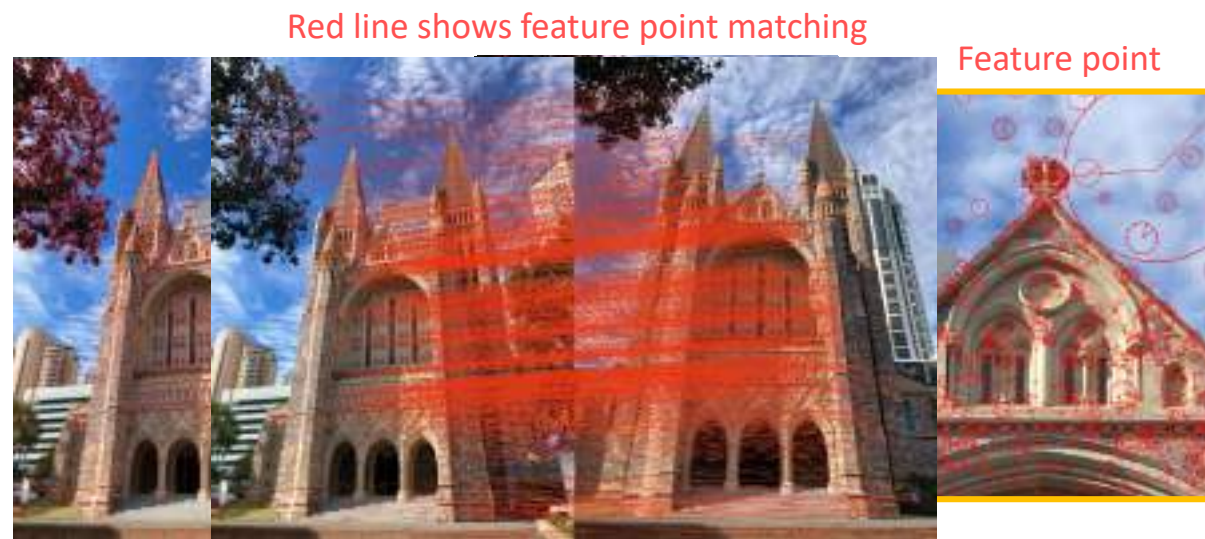
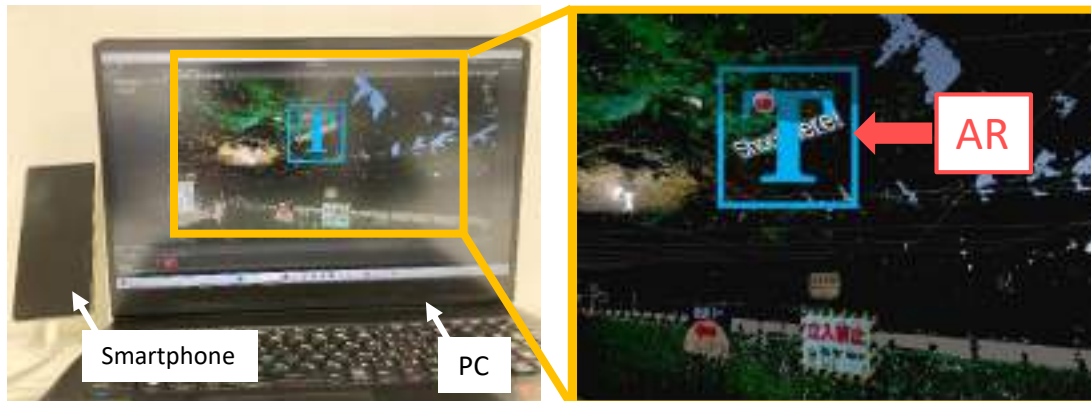


Image from the Internet (by Google)
Image after feature point matching (by Open CV)

- The mobile application was developed for VPS with **Underground 3D Map** and **Unity**
- **AR** is placed in Unity **to indicate success of navigation**
- Demonstration were conducted at Osarizawa Closed Mine



Installing the developed application to smartphone from PC

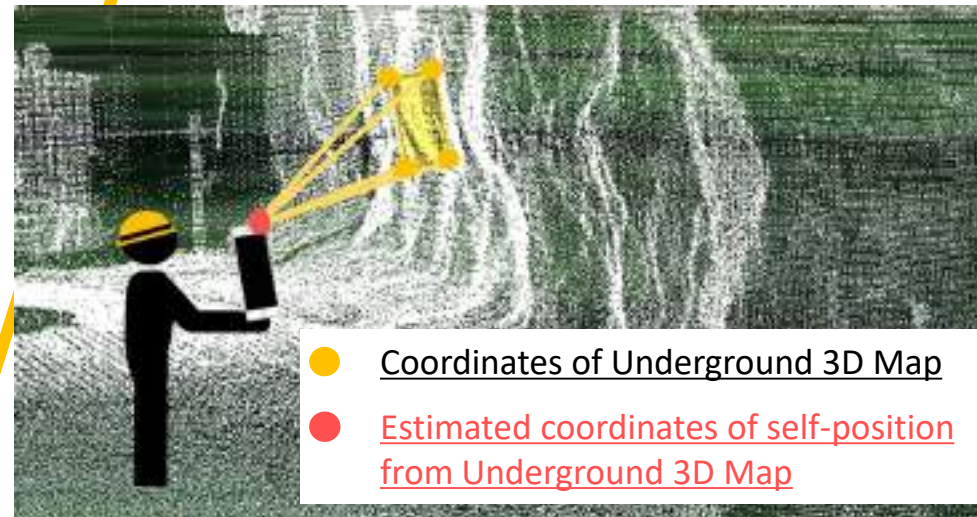


Appearance of demonstration

The successful detection of key points **enabled self-positioning, indicating navigation success**, with AR



The worker can know here is the destination of navigation with AR



既往の研究

2001年

単一ディスプレイ型



CyberMine

トラックの運転シミュレーション



(THOROUGHTECより抜粋[1])

2006年

曲面ディスプレイ型



2007年

AVIE



ヘッドマウントディスプレイ



2014年

バーチャル鉱山実習システム
(秋田大学)



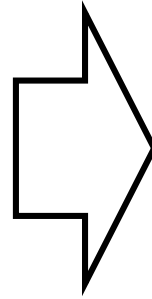
2022年



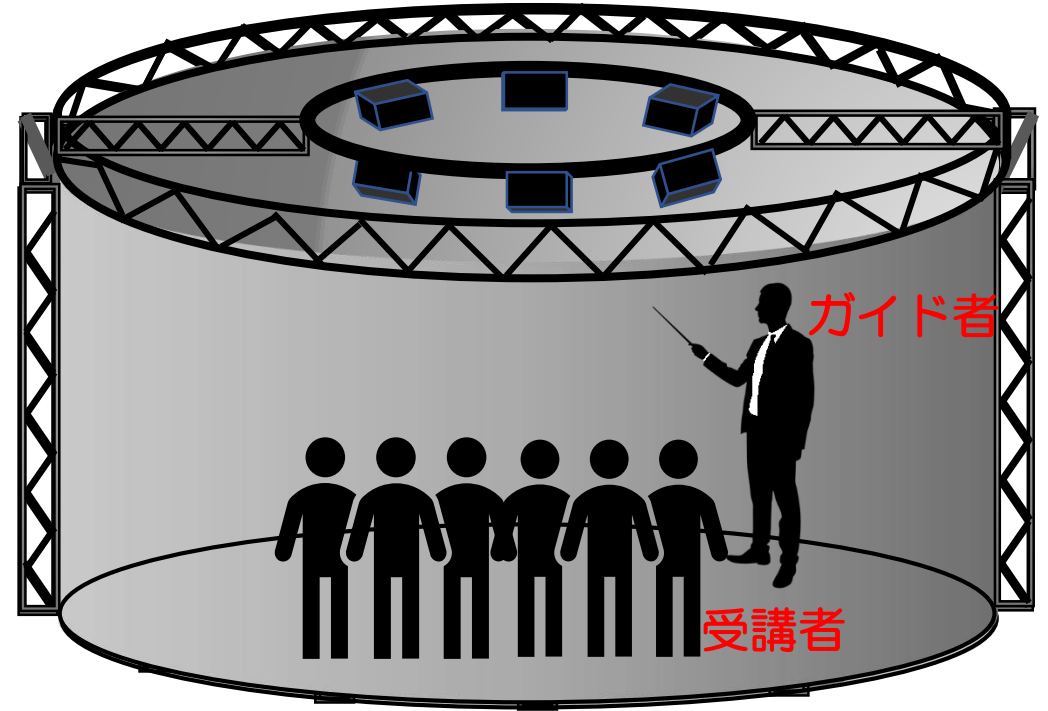
[1] <https://www.thoroughtec.com/cybermine-full-mission-mining-simulators/>

グループ内での研究目的

ヘッドマウントディスプレイ (VRゴーグル)



円筒型VRシアター



長所：安価、高い没入感、持ち運びのしやすさ

短所：体験は**個人**のみ、脱着の煩雑さ
コミュニケーションの難しさ

VR体験を個人から**多人数**に拡張

➡ **ガイド者と多人数の受講者のVR体験の共有 (高い教育効果)**

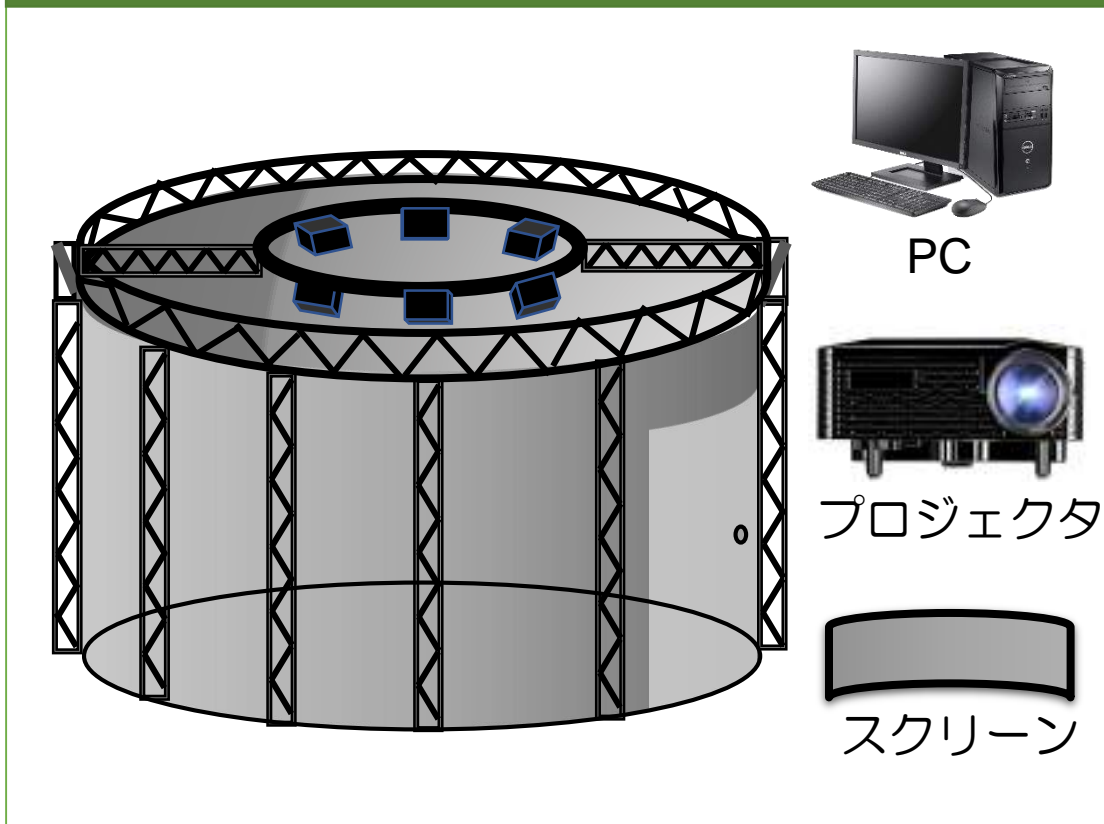
長所：**多人数**で同時に体験可能
より現実に近い体験可能

短所：高価、特定の場所のみで体験可能

VRシアターに関する研究

円筒型VRシアターの設計・構築とコンテンツ開発(ハードとソフト)

円筒型VRシアターの設計・構築 (ハード)



コンテンツ開発 (ソフト)

2D映像



3D映像



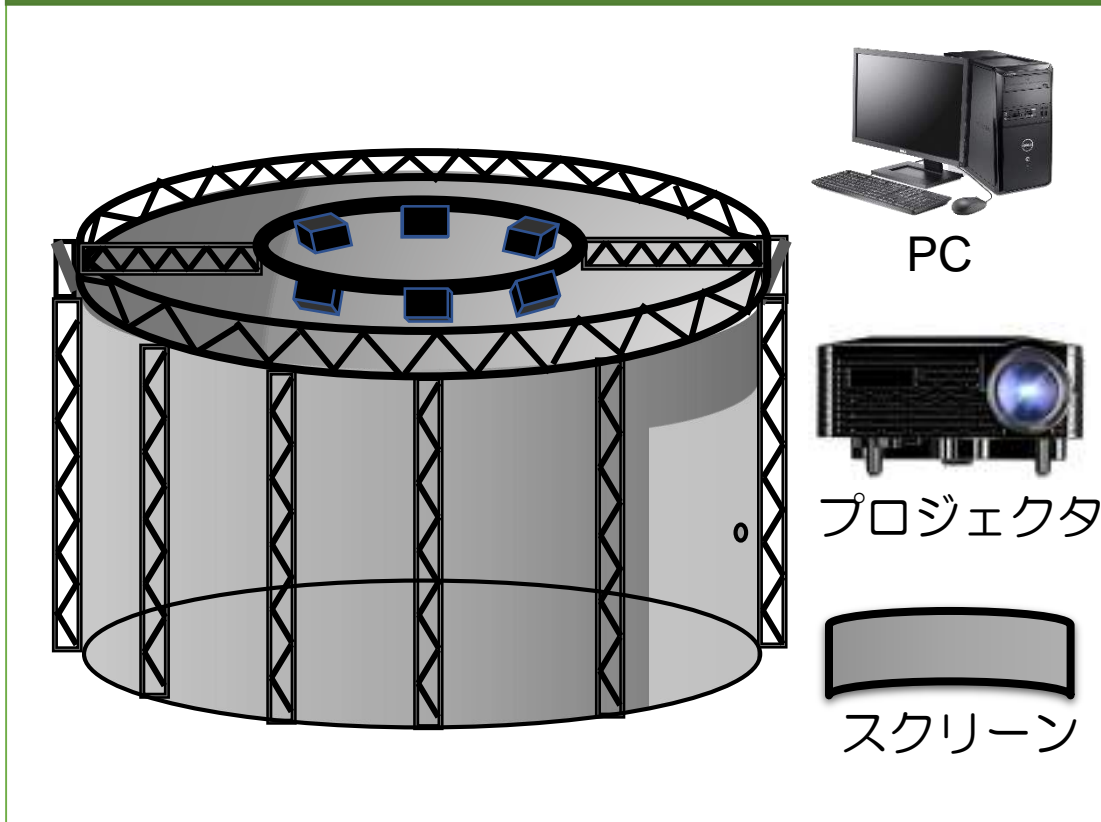
3Dモデル



VRシアター (ハード)

円筒型VRシアターの設計・構築とコンテンツ開発

円筒型VRシアターの設計・構築 (ハード)



コンテンツ開発 (ソフト)

2D映像



3D映像



3Dモデル



円筒型VRシアターの設計・構築（1）



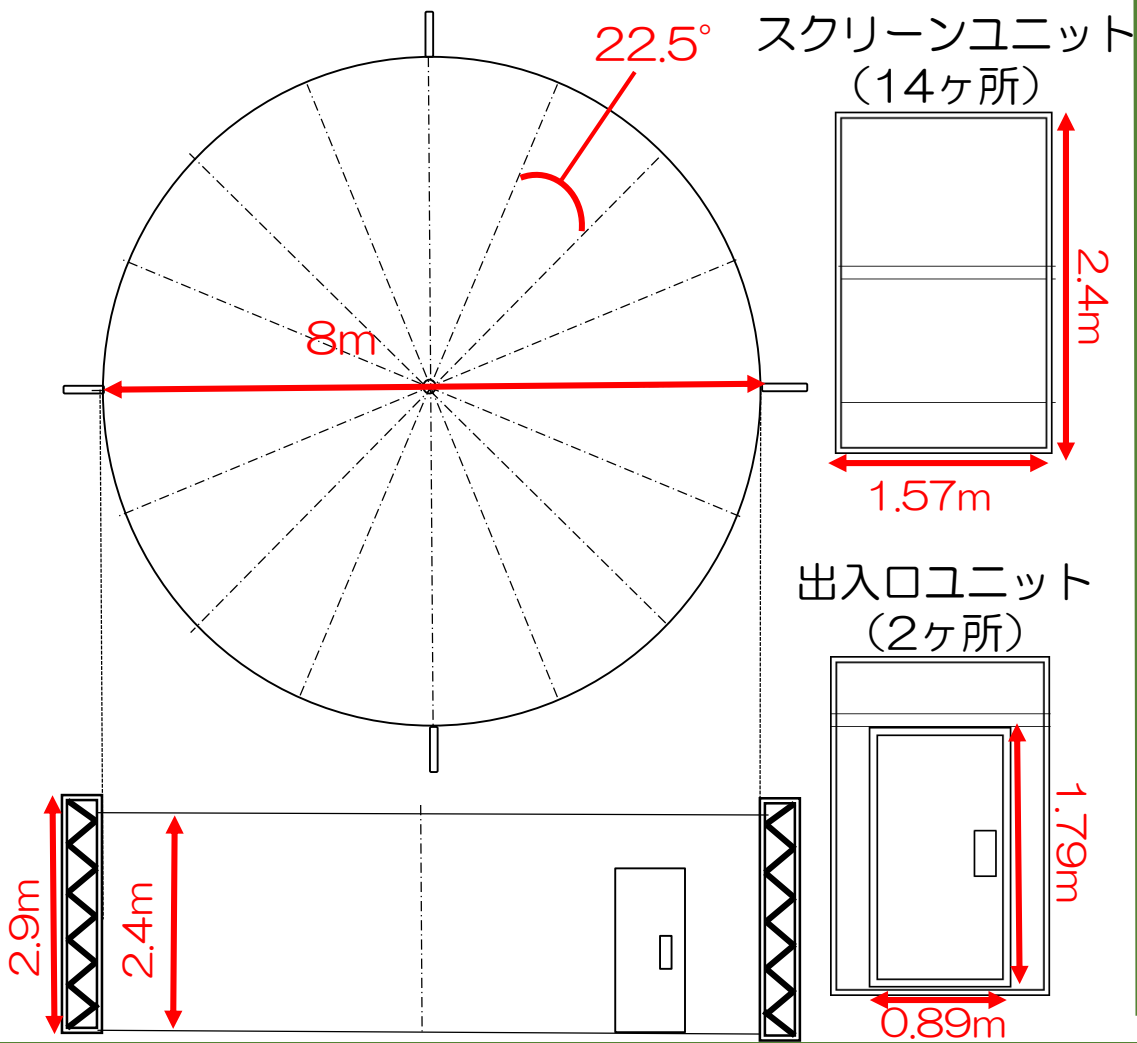
共用実験棟2F 平面図

設置スペース・取器高3.0m 15.3m×9.72m
最大10人収容することを想定

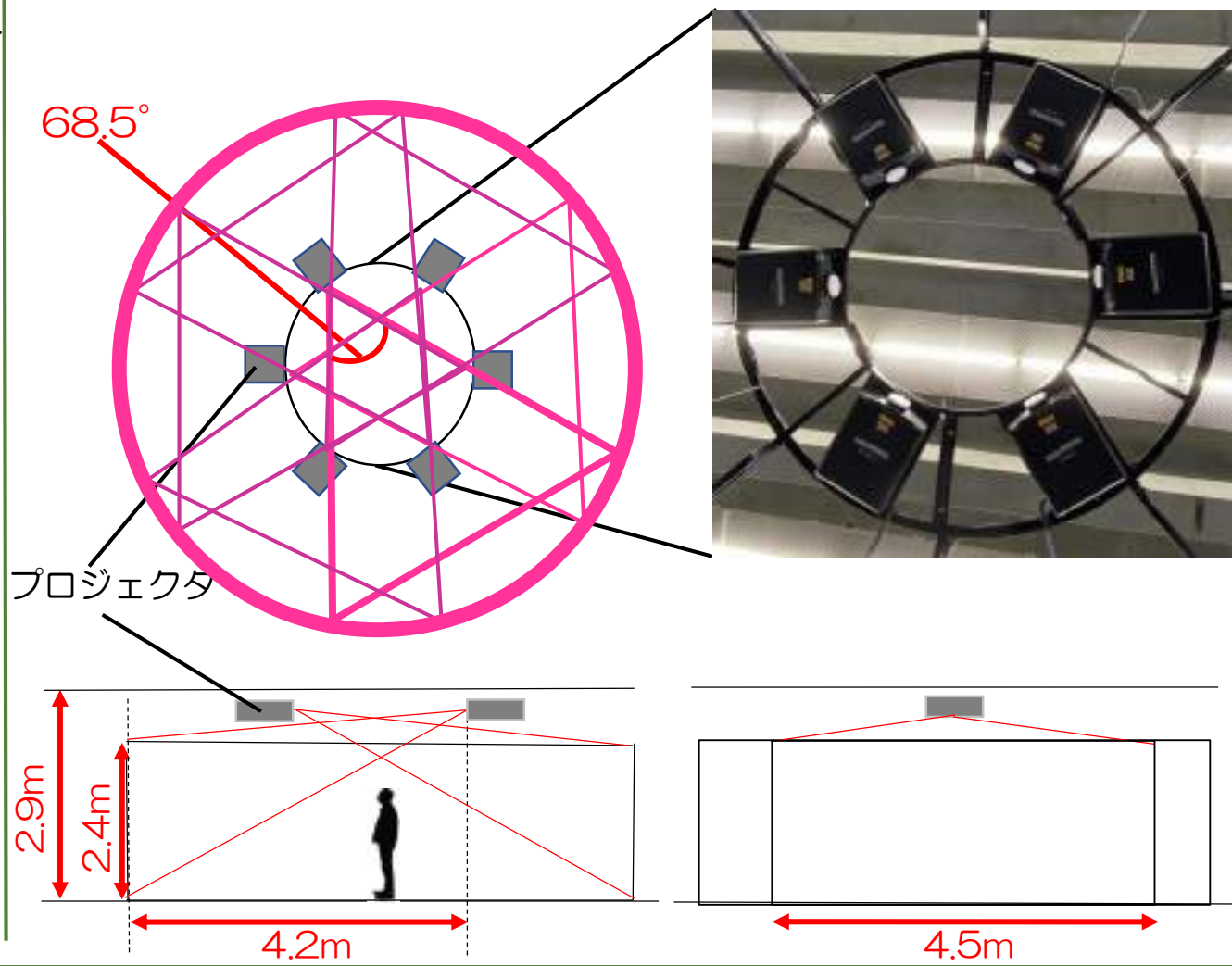
⇒ 円筒型VRシアターの高さ2.9m、内径8mに決定

円筒型VRシアターの設計・構築 (2)

スクリーンの設計



プロジェクタ位置と投影範囲



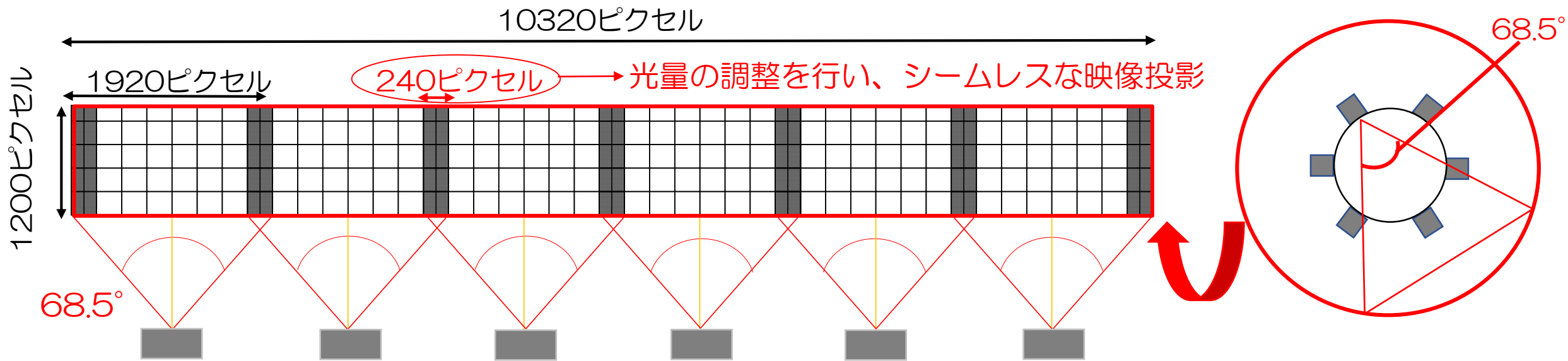
円筒型VRシアターの設計・構築 (3)

プロジェクタの仕様とオーバーラップの処理

	仕様
解像度	1920×1200ピクセル
輝度	8500ルーメン
その他	立体映像投影 短焦点型レンズ搭載 エッジブレンディング機能

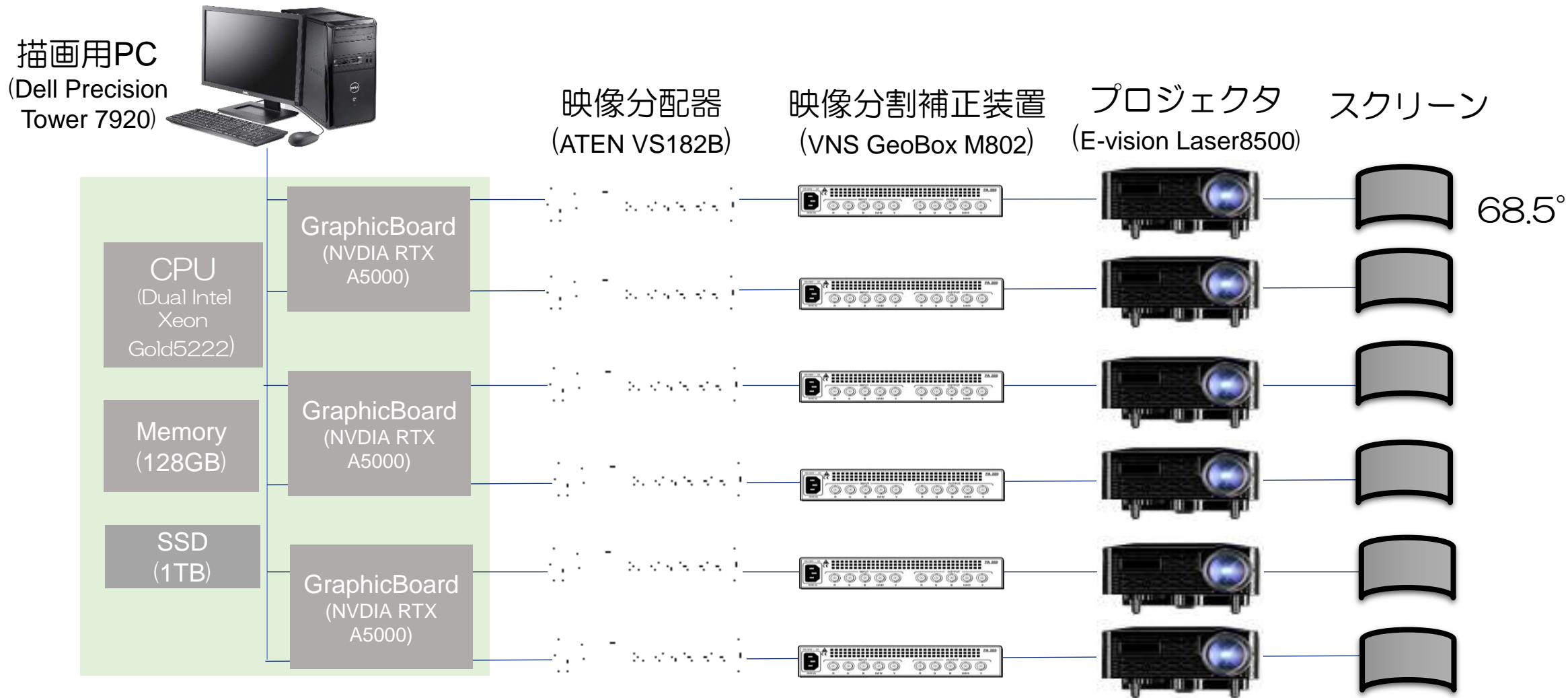


Digital Projection製
E-Vision Laser8500

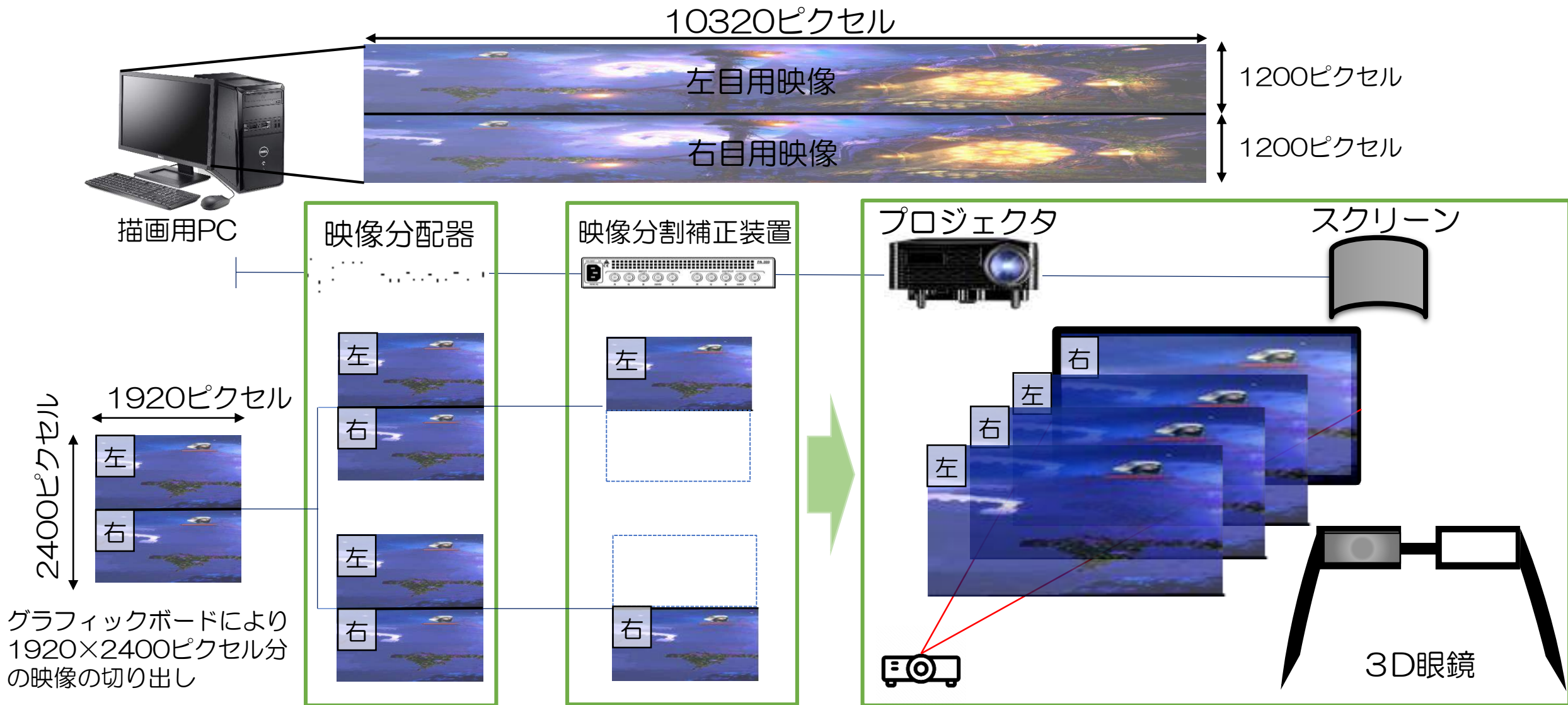


円筒型VRシアターの設計・構築（4）

360度かつ立体映像投影の実現



円筒型VRシアターの設計・構築 (5)

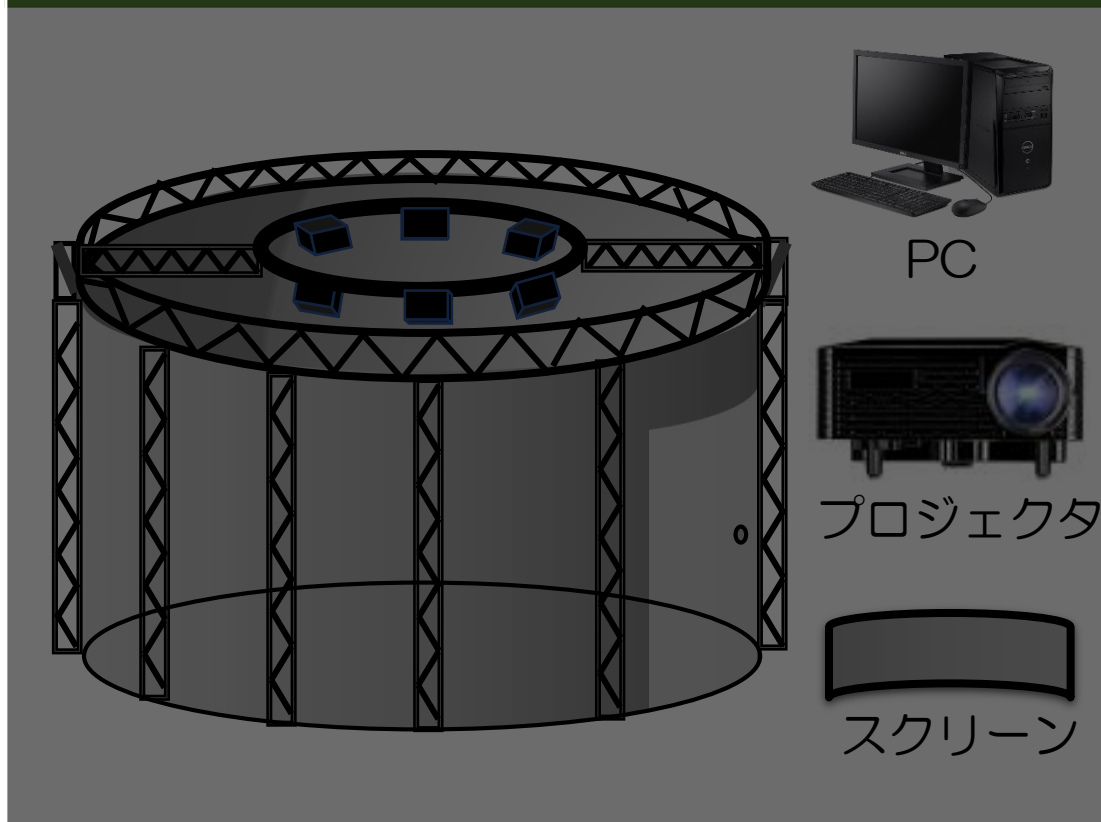




研究内容

円筒型VRシアターの設計・構築とコンテンツ開発

円筒型VRシアターの設計・構築（ハード）



コンテンツ開発（ソフト）

2D映像



3D映像



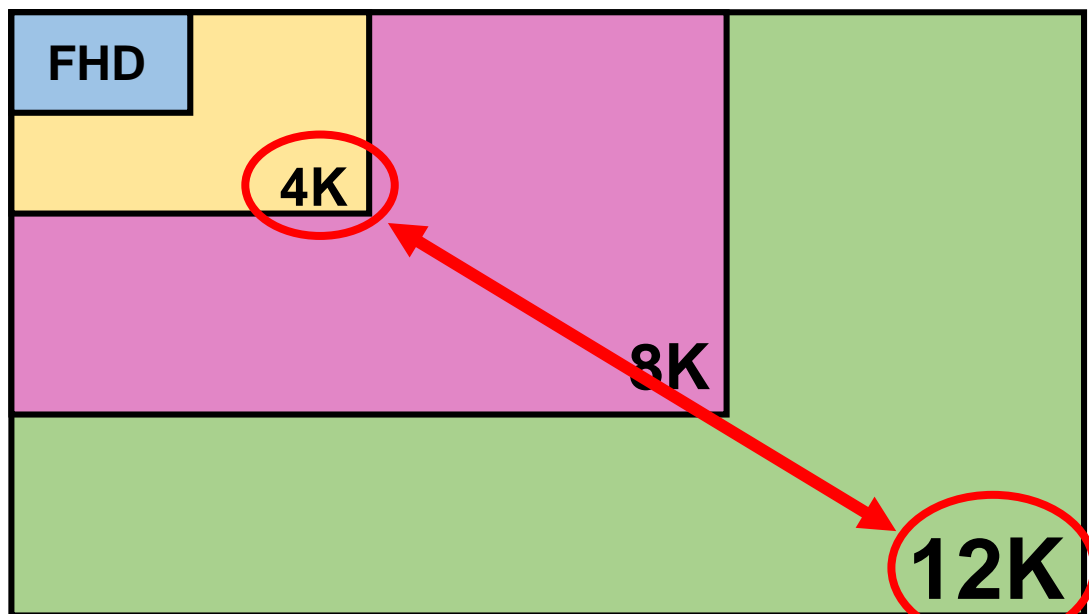
3Dモデル



映像と3Dモデル（ポリゴン）

映像

画面に映っているもの
写真、動画

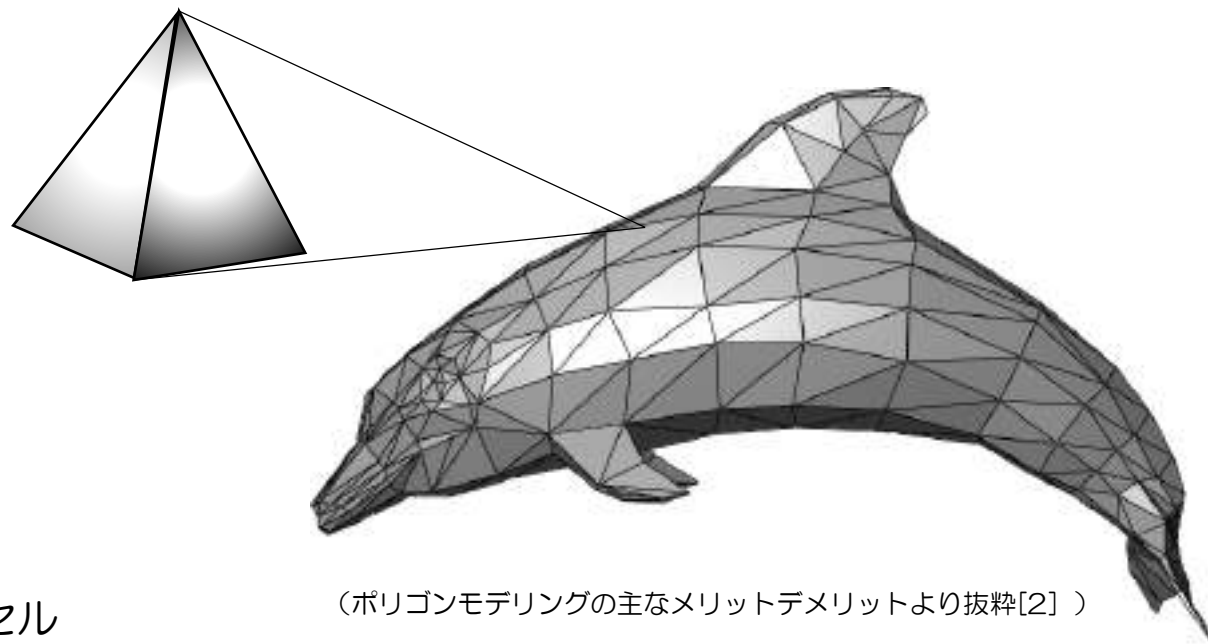


各解像度のサイズ

FHD: 1920×1080ピクセル 4K: 3840×2160ピクセル
8K: 7680×3840ピクセル 12K: 11520×5760ピクセル

3Dモデル(ポリゴン)

仮想空間上に座標をもっているもの
モデルは三角形や多角形（polys）の集合体
主にCG上で作成

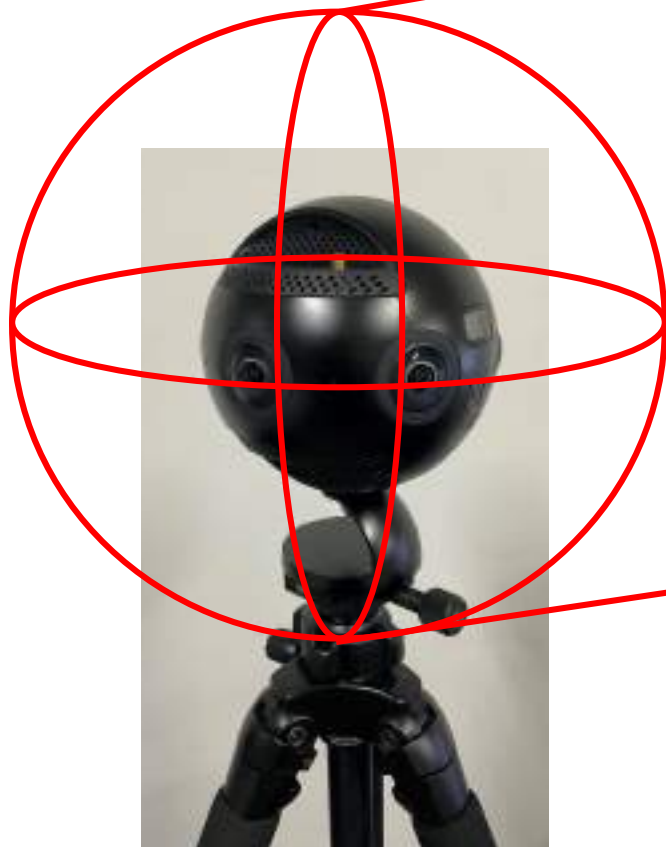


（ポリゴンモデリングの主なメリットデメリットより抜粋[2]）

[2] <https://blog.spatial.com/ja/>

コンテンツ開発（映像）

6つの魚眼レンズによる
360度球状の映像撮影



Insta360 Pro2

7680ピクセル



3840ピクセル

全天球映像

3840ピクセル

視差有り

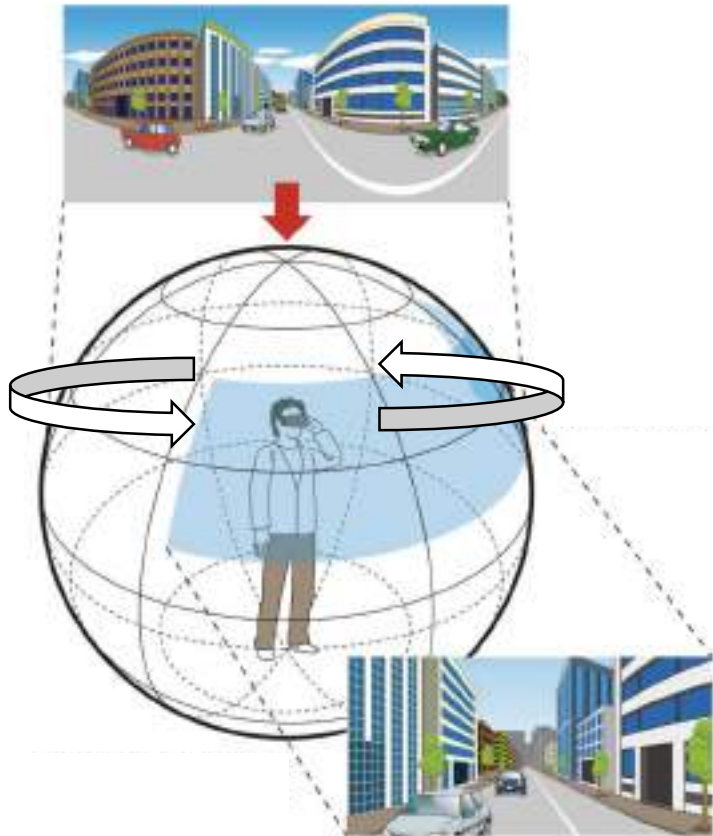
コンテンツ開発（映像）（2）

撮影からVRシアターへの投影までの流れ（単位:ピクセル）



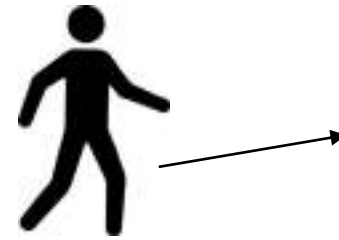
コンテンツ開発

360° Image



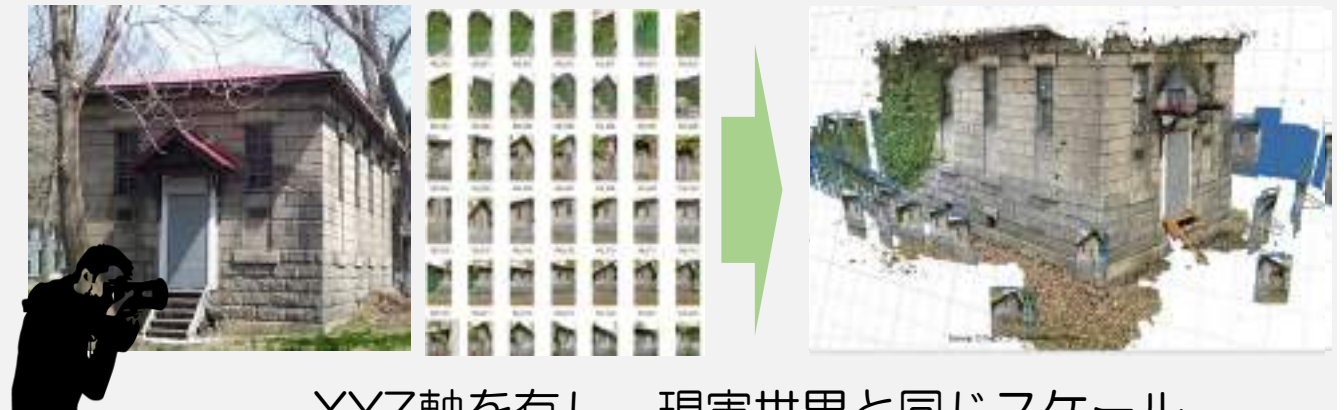
体験者は動けない（でもリアル）

3D model



体験者は自由に動ける

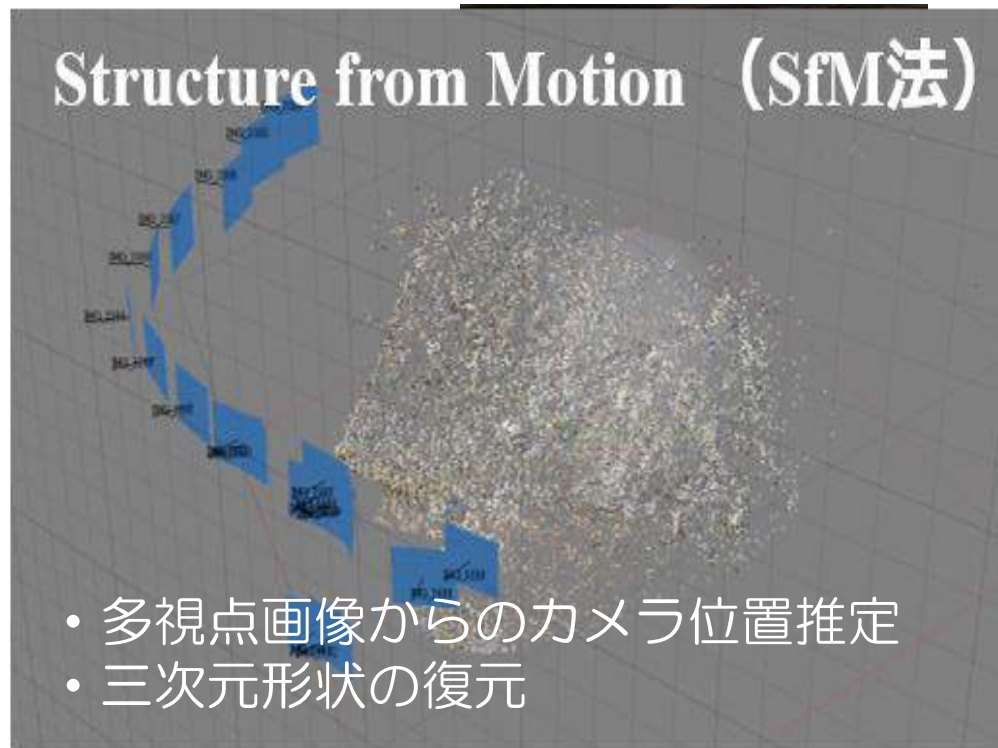
Photogrammetry



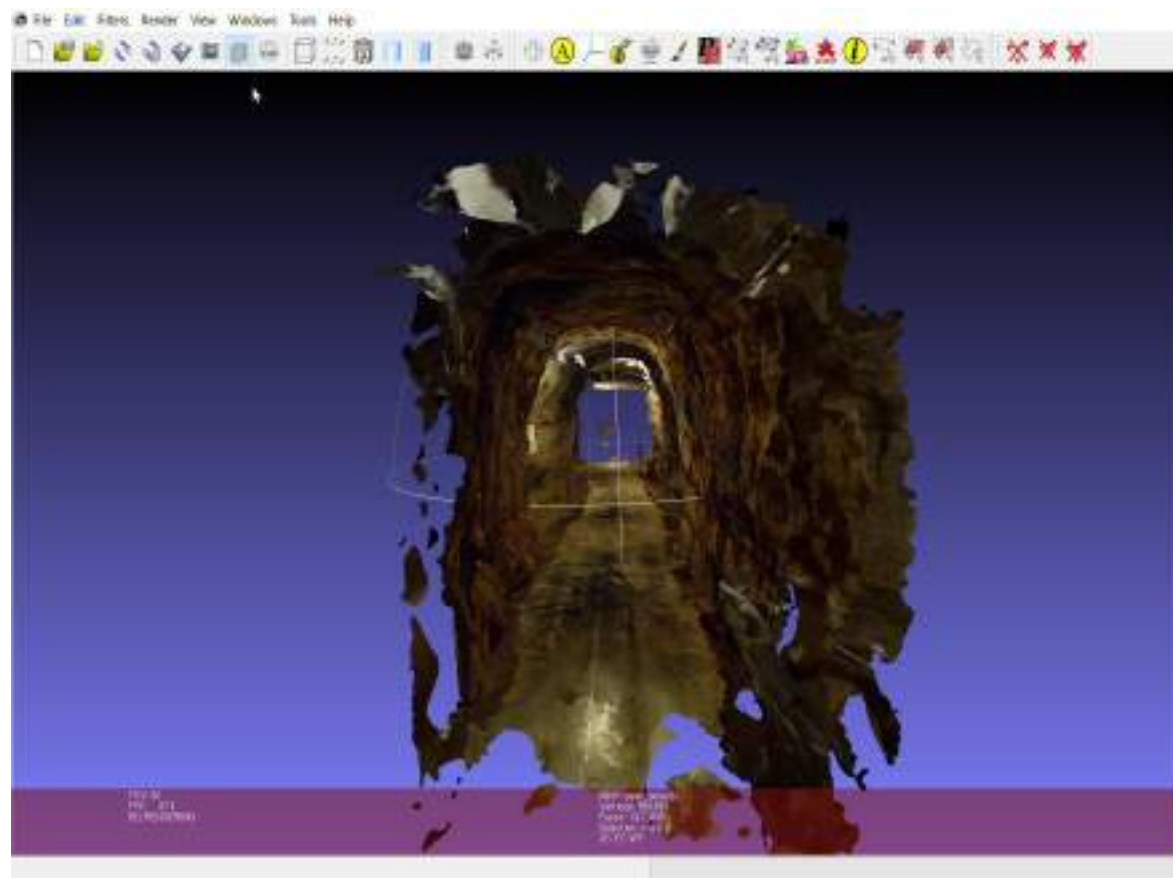
XYZ軸を有し、現実世界と同じスケール

コンテンツ開発（3Dモデル）

全方位撮影カメラを用いた地下坑道3Dモデルの構築



写真測量法



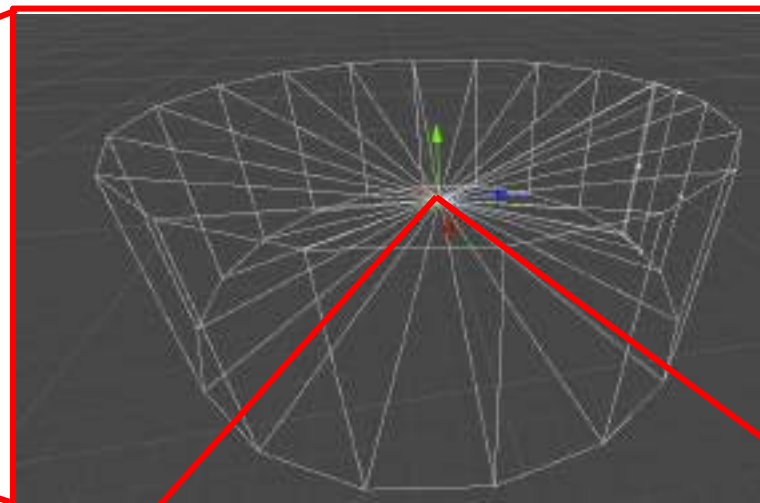
0.5m
10m

尾去沢鉱山坑道（秋田県）

コンテンツ開発（3Dモデル）（2）

VRシアターの仕様に適した表示形式の設定

バーチャルカメラの設定



上下各18個のカメラを
20度ずつローテーションさせて配置

視点移動、傾き等の調整

➡ モデル内のウォークスルーの実現



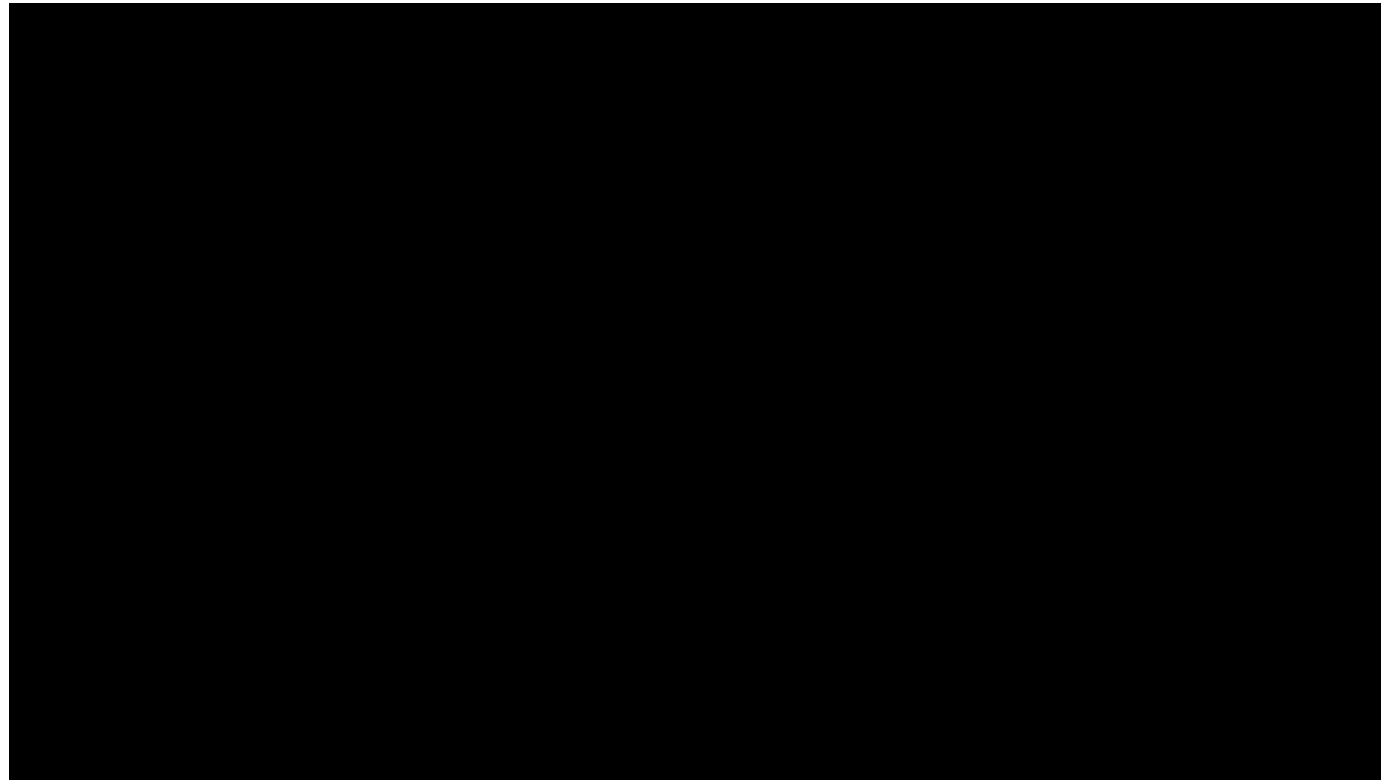
➡ 360度かつ立体視の実現

坑道3DモデルをVRシアターに投影した様子

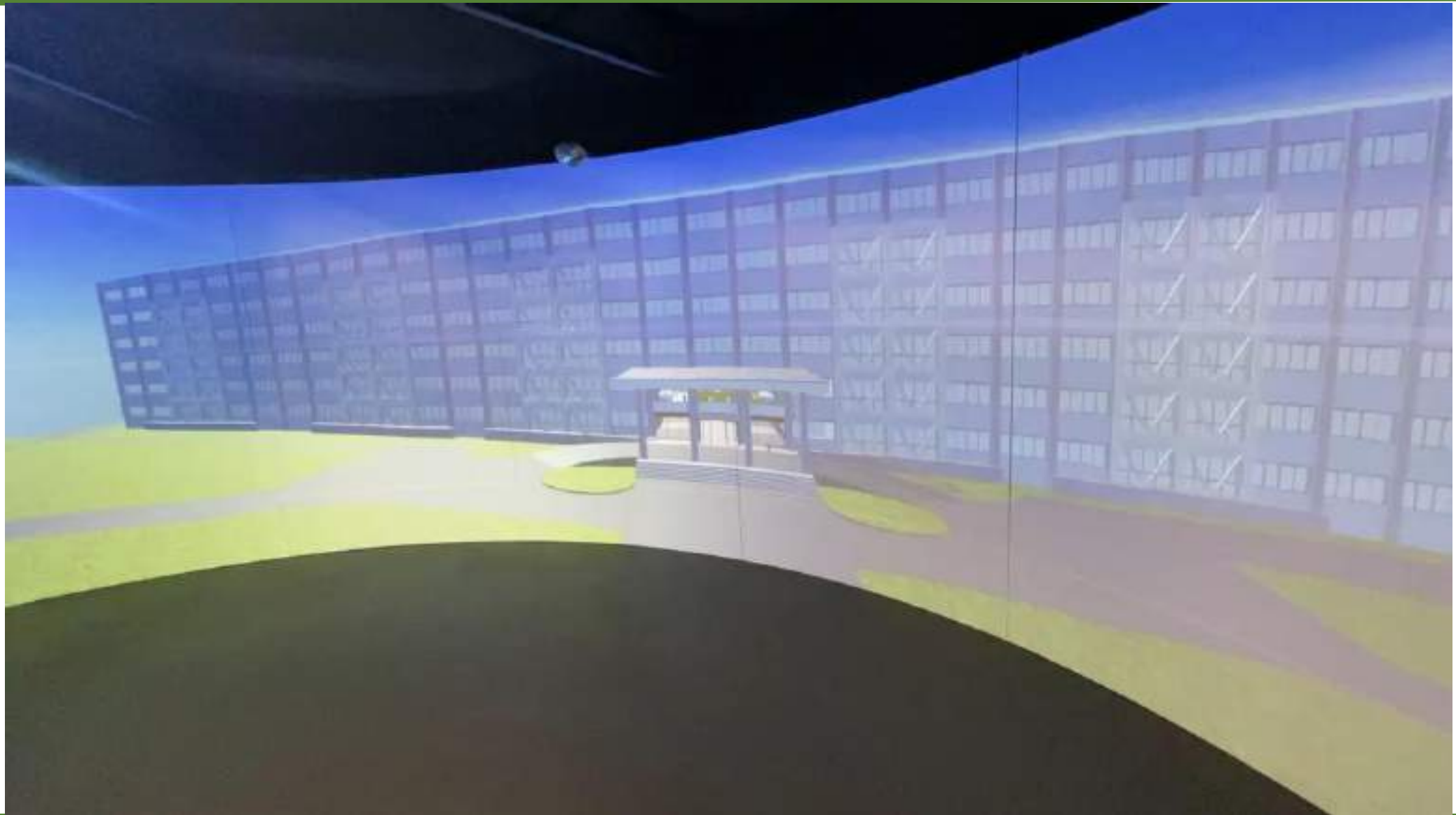


現状のVRシアターで体験可能な鉱山工学教育用コンテンツ

Rio Tinto社提供映像



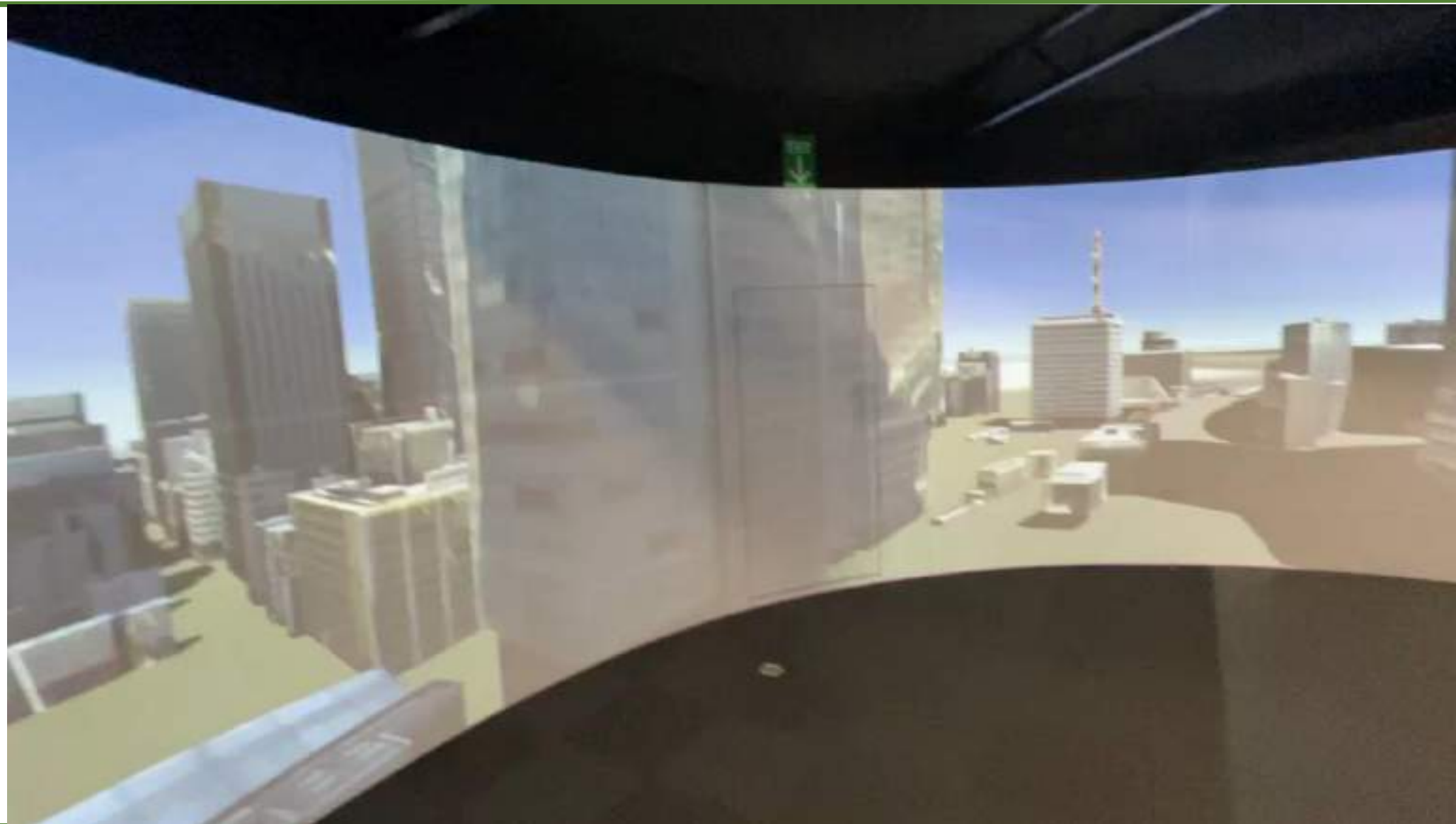
BIM/CIMに関連するコンテンツ



BIM/CIMに関連するコンテンツ（ゼンリン）



BIM/CIMに関連するコンテンツ（プラトール）



VRシアターの活用例



地下空間開発分野におけるVR技術の活用

既存の活用

現場教育（技術伝承）

保安講習



現場作業支援

現場調査（専門家）

遠隔操作（AR）

作業支援

社会工学的支援

デジタルアーカイブ

理解醸成・社会認知

合意形成・住民理解

ご清聴ありがとうございました

