



# 遠隔地の照明環境下での画像の再生表示技術

床井 浩平 (和歌山大学)

# 開発中の試作システム



# はじめに

テレイグジスタンスロボットの視覚



遠隔地？





# 月惑星の縦孔・地下空洞探査

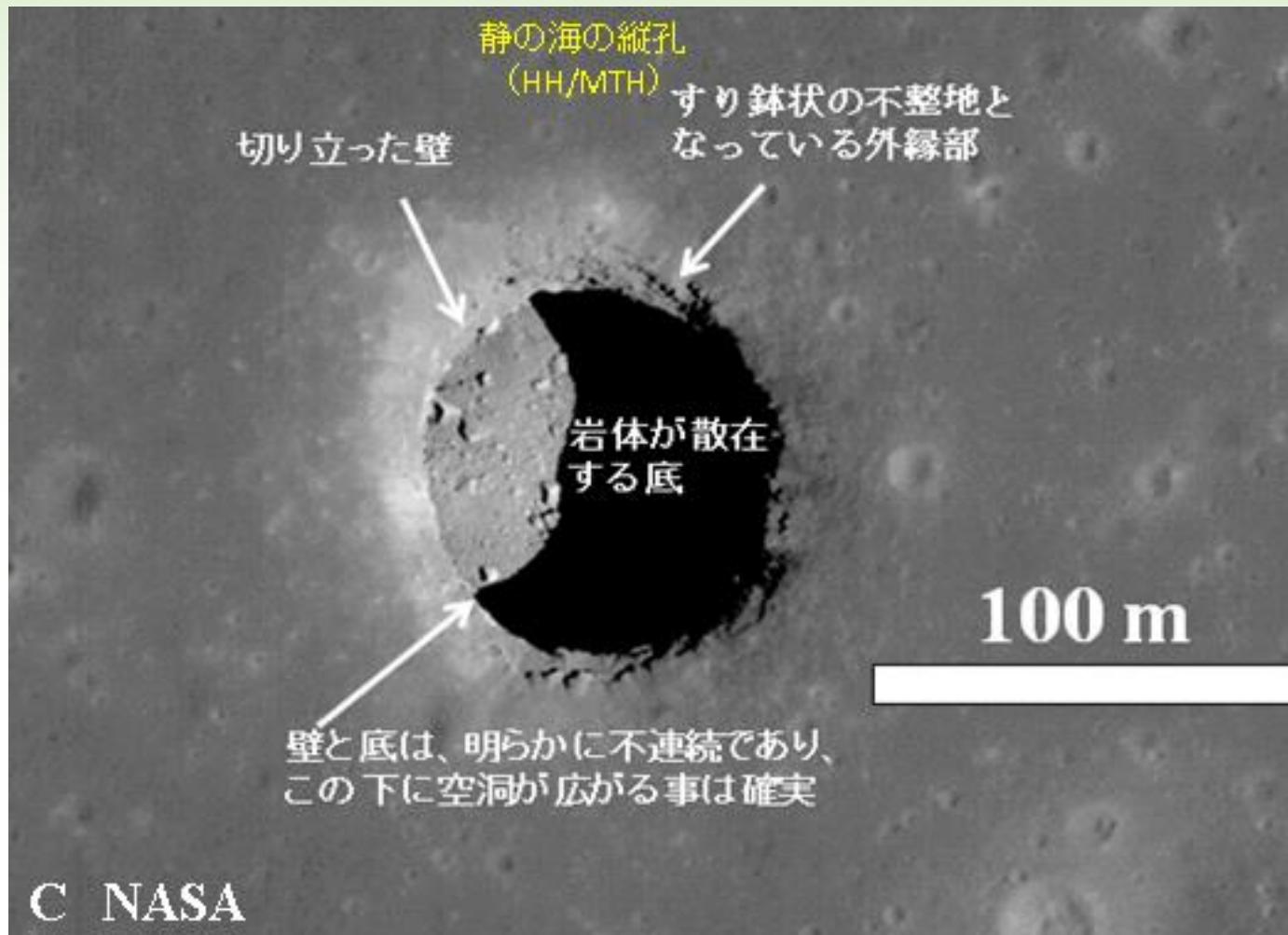
## ■ 月の縦孔の発見 (2009年)

- 我が国の月探査機SELENE「かぐや」の観測データによる
- 月のマリウス丘群(Marius Hills)にある
- 他に二つ巨大な縦孔がある

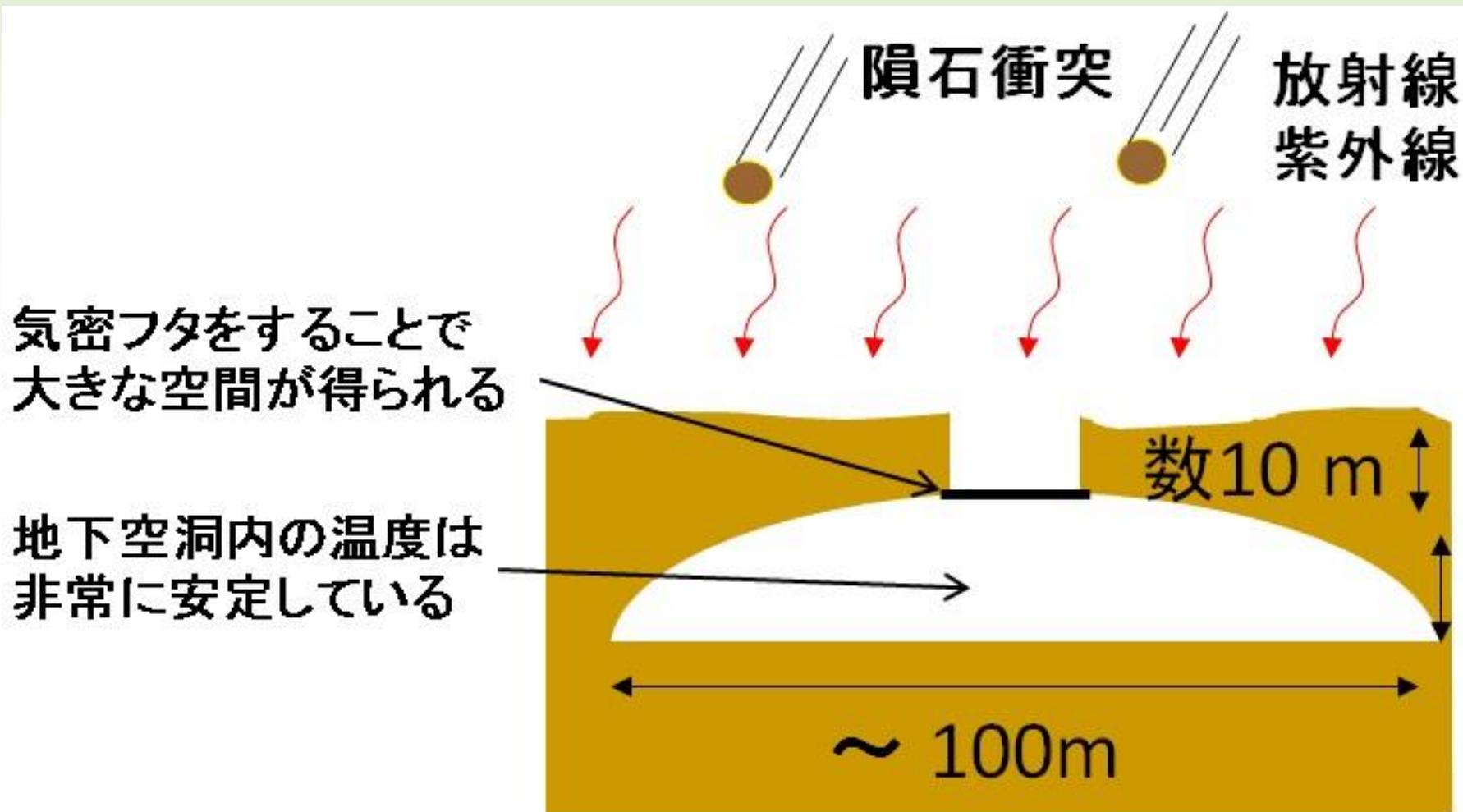
## ■ 縦孔の下には縦孔直径を超える地下空間(予想)

- 生命科学や地球型惑星の形成の科学的調査
- 基地利用の可能性

# 月の縦孔(静の海の縦孔)の外観



# 月の縦孔・地下空洞の基地利用



# 探査システムに対する要求事項

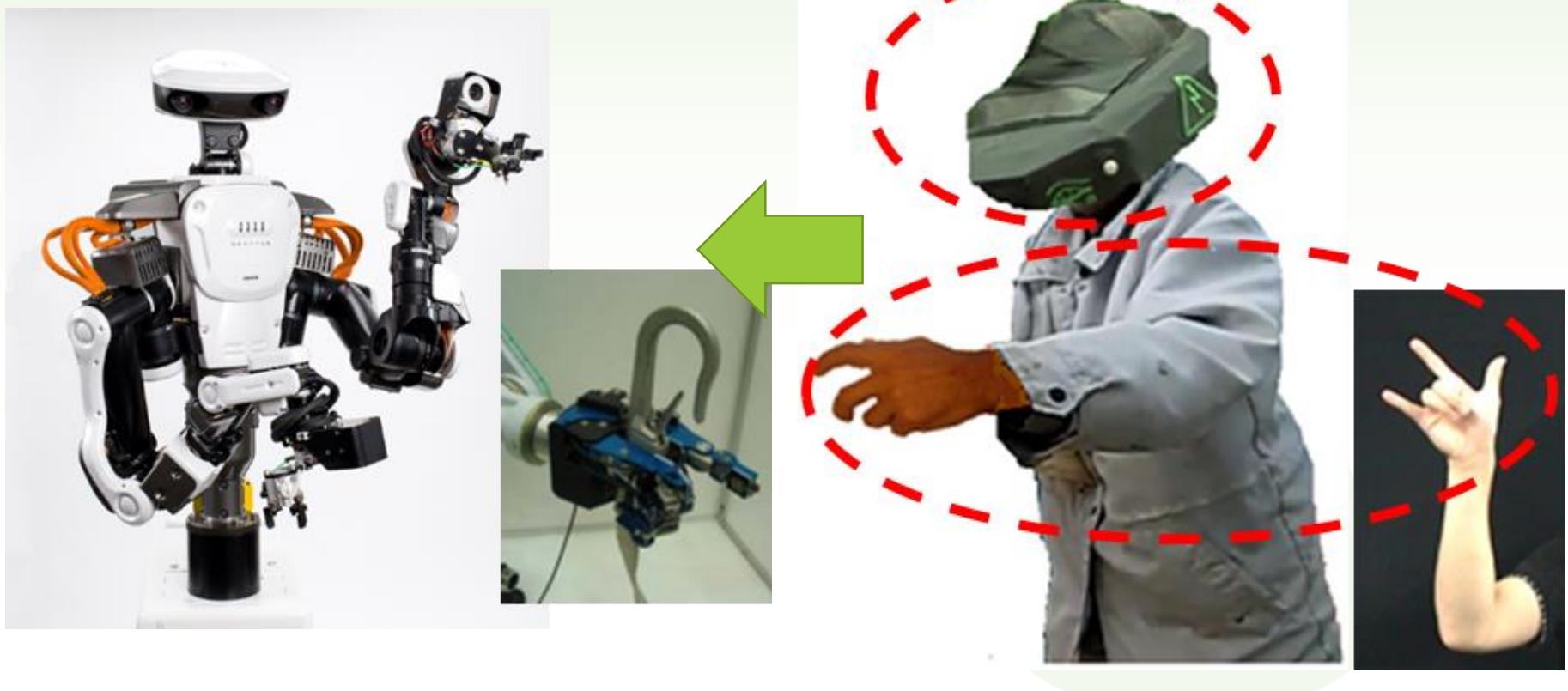
- 垂直に近い縦孔の壁を降りる
- 岩体の転がる縦孔底に到達・観測する
- 未知環境である地下空洞内を移動して調査する



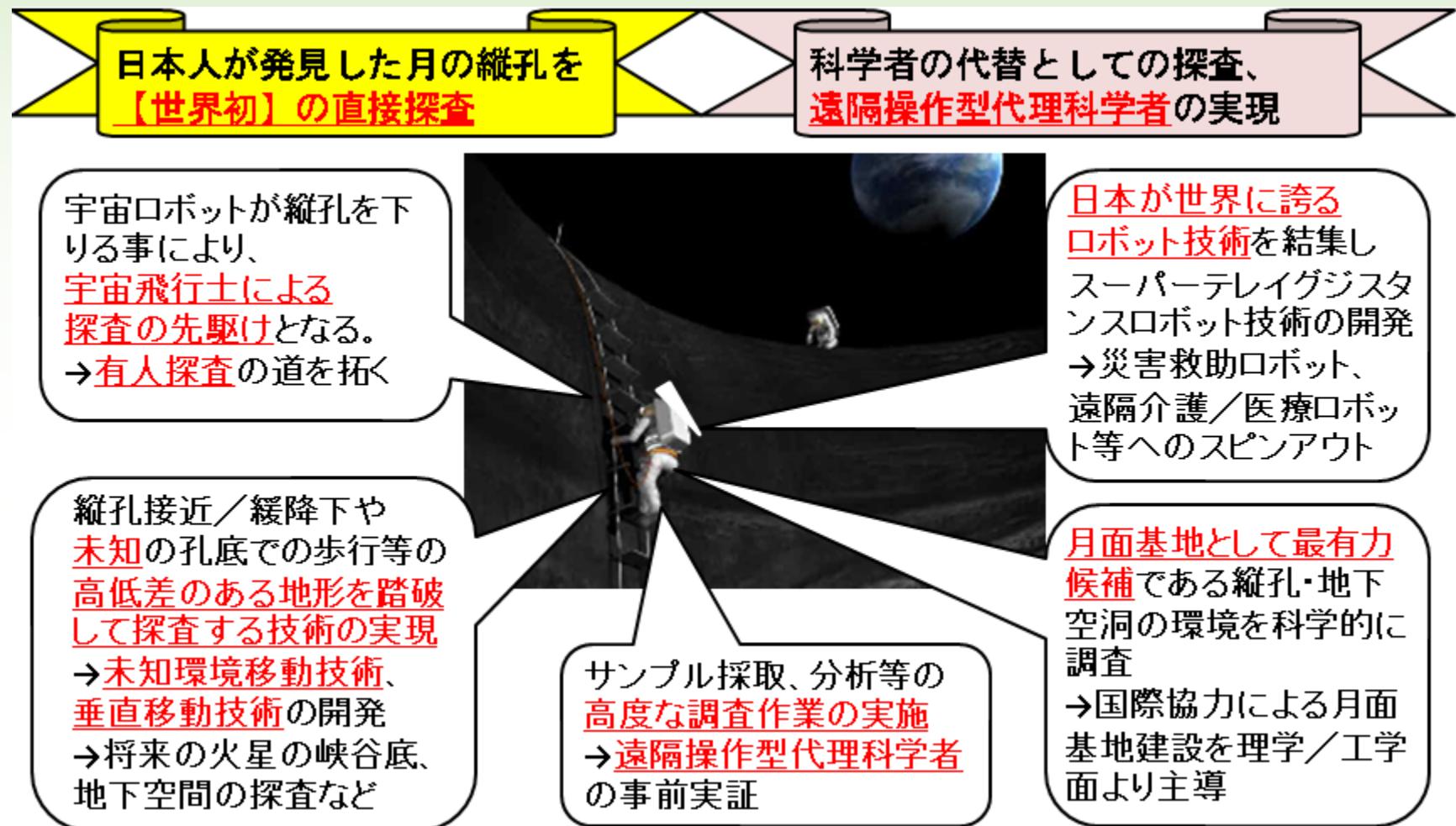
# テレイグジスタンスロボットの利用

- 人間が直接探査することが困難
  - 現地への移動や生命維持のためのコストが膨大
- テレイグジスタンスロボット
  - 作業者の分身のとなる遠隔操作ロボット
    - ロボットが操縦者の動く通りに動く
  - 遠隔地の大型ロボットの感覚情報を共有する
    - 操縦者自身の身体のように操ることが可能な操縦システム

# テレイグジスタンス型操縦システム



# 遠隔操作型代理科学者 (ERSA)



# 目標

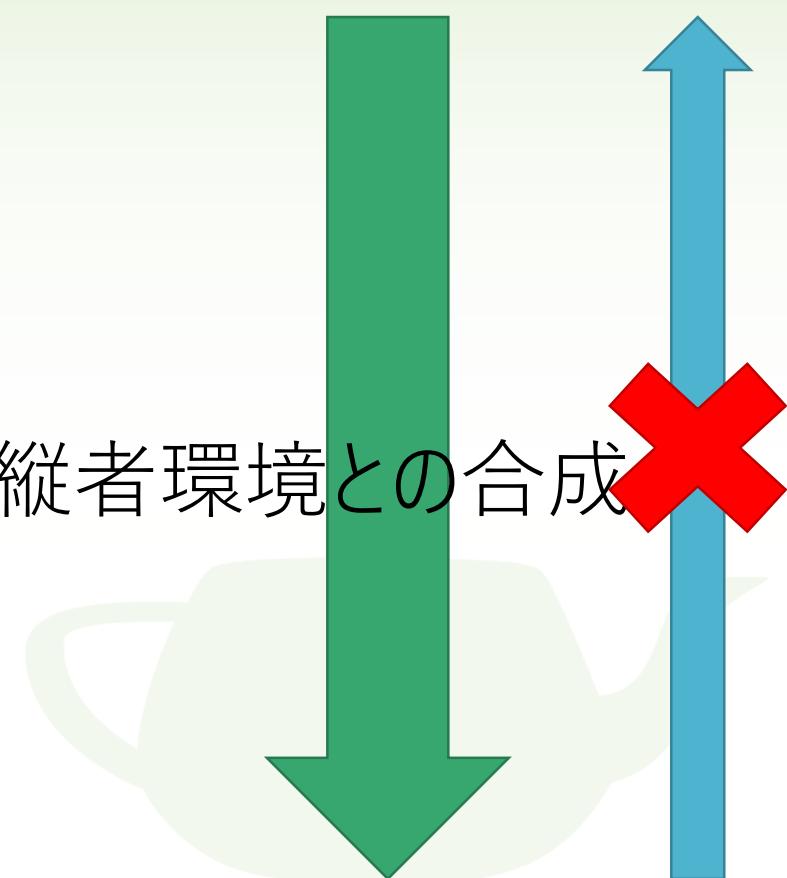
操縦者(科学者)の周囲に  
現地の環境を再現する



地球上

観測対象が科学者の  
手元にあるように見せる

# 課題

- 遠隔環境情報の取得
  - 伝送
  - 遠隔環境情報の再現と操縦者環境との合成
- 

# 問題

- 伝送帯域が狭い
  - 1Mbps も確保できない?
    - 電波が弱い (遠い, 電源容量が制限されている, 等)
    - TCP の3ウェイハンドシェークは非常に効率が悪い
    - これは将来技術的に解消できる可能性がある
- 伝送遅延が大きい
  - これを解消する方法は現時点では現実には存在しない
    - 光(電波)でも月まで約1.3秒, 火星まで約4分28秒

# 着想

- 全方位(全天球)画像の使用 今回の発表
  - 操縦者の視線方向の映像には蓄積されたものを用いる
- 環境映像の逐次更新
  - ロボットの視線方向の画像で全方位画像を更新する
- 物理シミュレーションによる予測
  - 操縦者の操作による結果の予測映像を重畠表示する
  - 実際の結果との比較をもとにリカバリする 担当外
    - 失敗を検知してリカバリできる高度な自律性をもったロボット

# 提案手法

全方位画像の伝送



# 試作システムの構成

全方位  
カメラ



深度センサ



作業者側HMD  
(カメラ装着)



全方位  
カメラ



操縦者側HMD



PC

PC



通信路

# HMD (ヘッドマウンテッドディスプレイ)

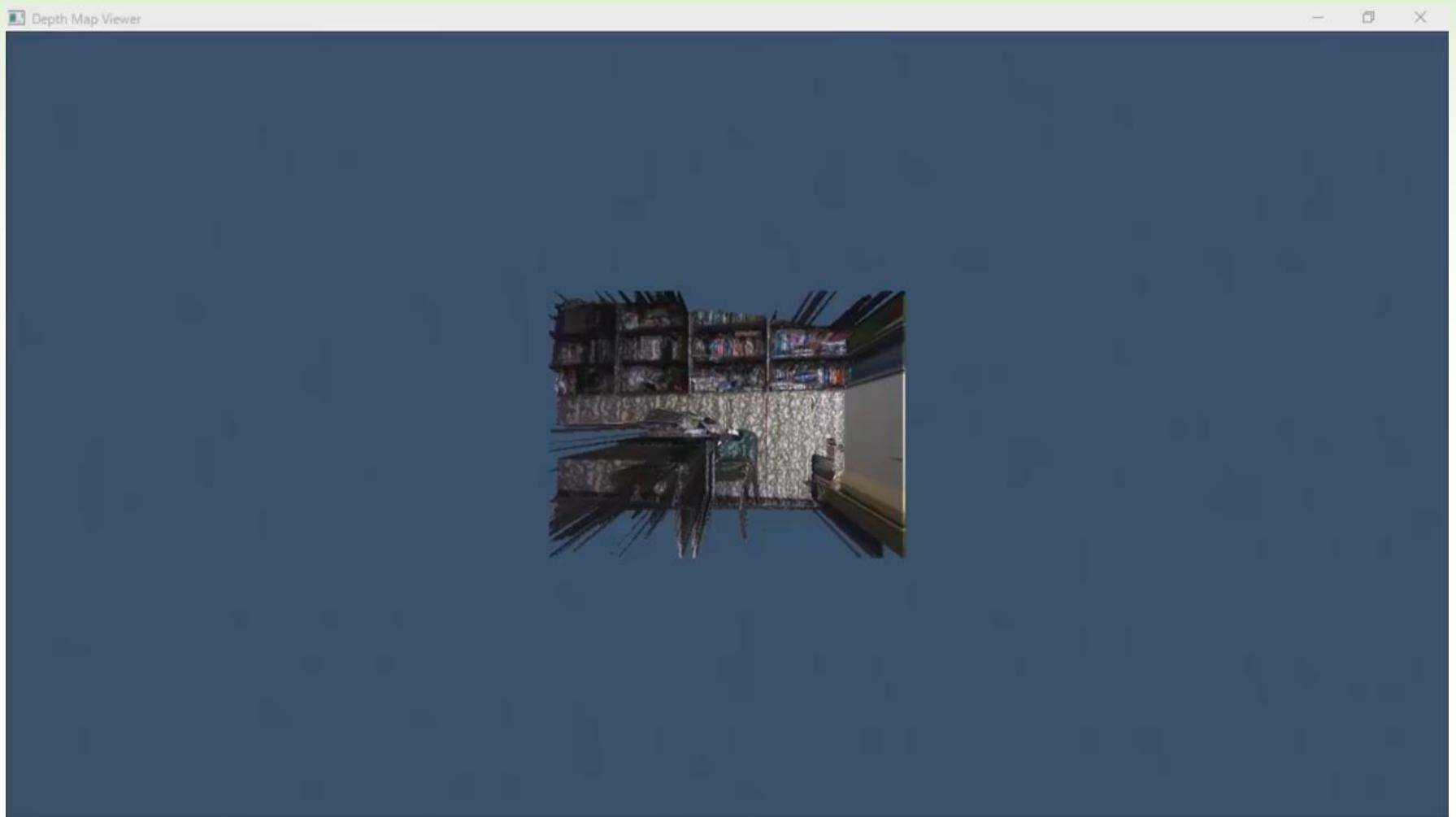
Oculus Rift DK2



Oculus Rift CV1



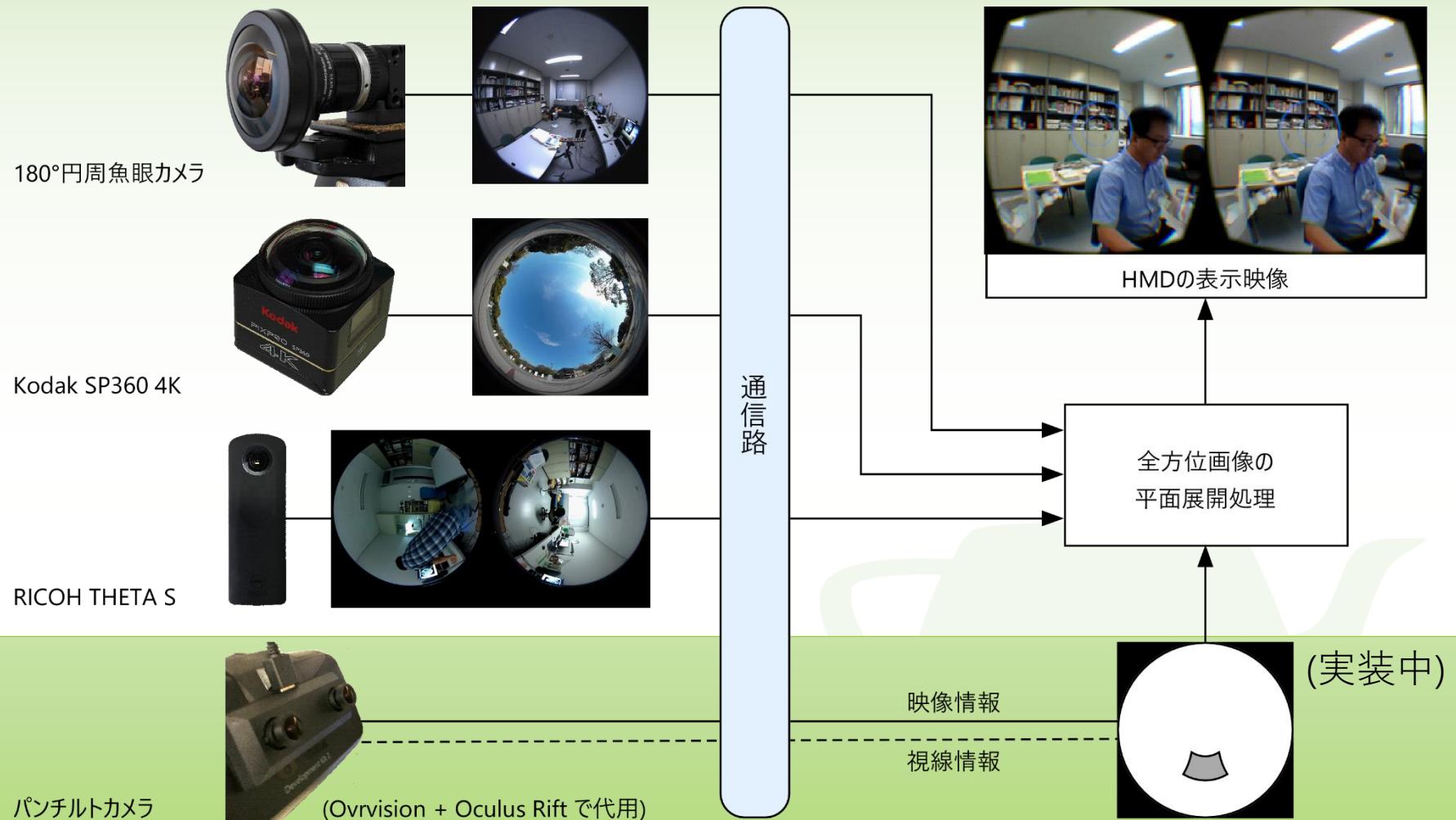
# 深度センサ



# Leap Motion コントローラ



# 全方位画像の取得と再生



# 全方位画像の平面展開処理

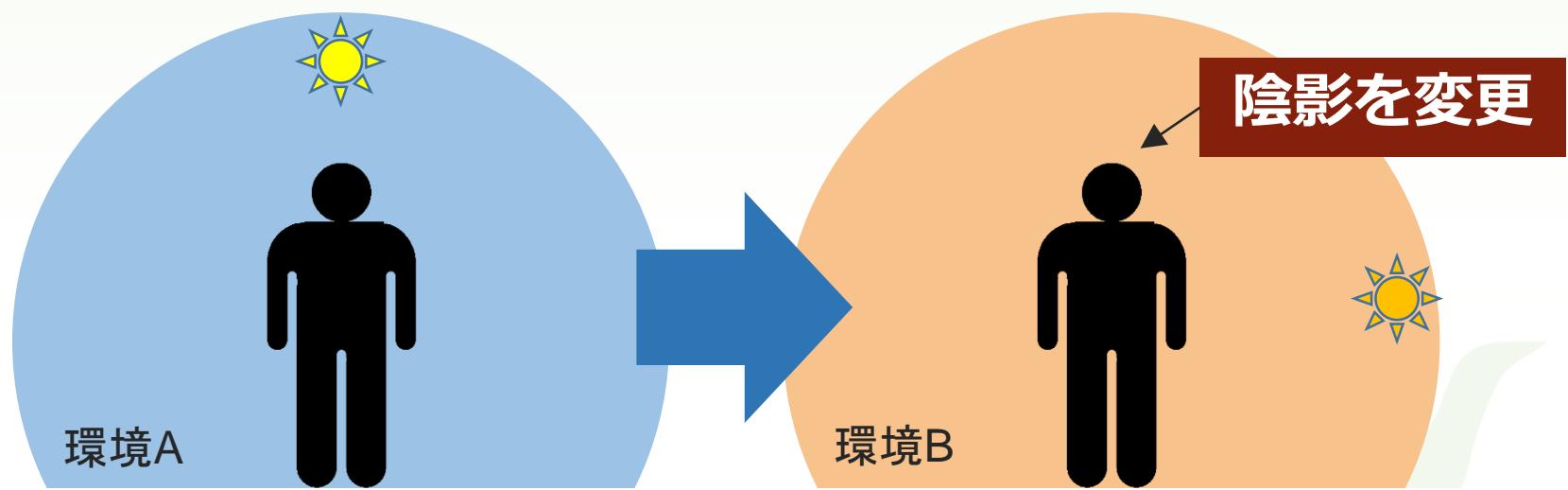


Kodak PIXPRO SP360 4K (画角220°)

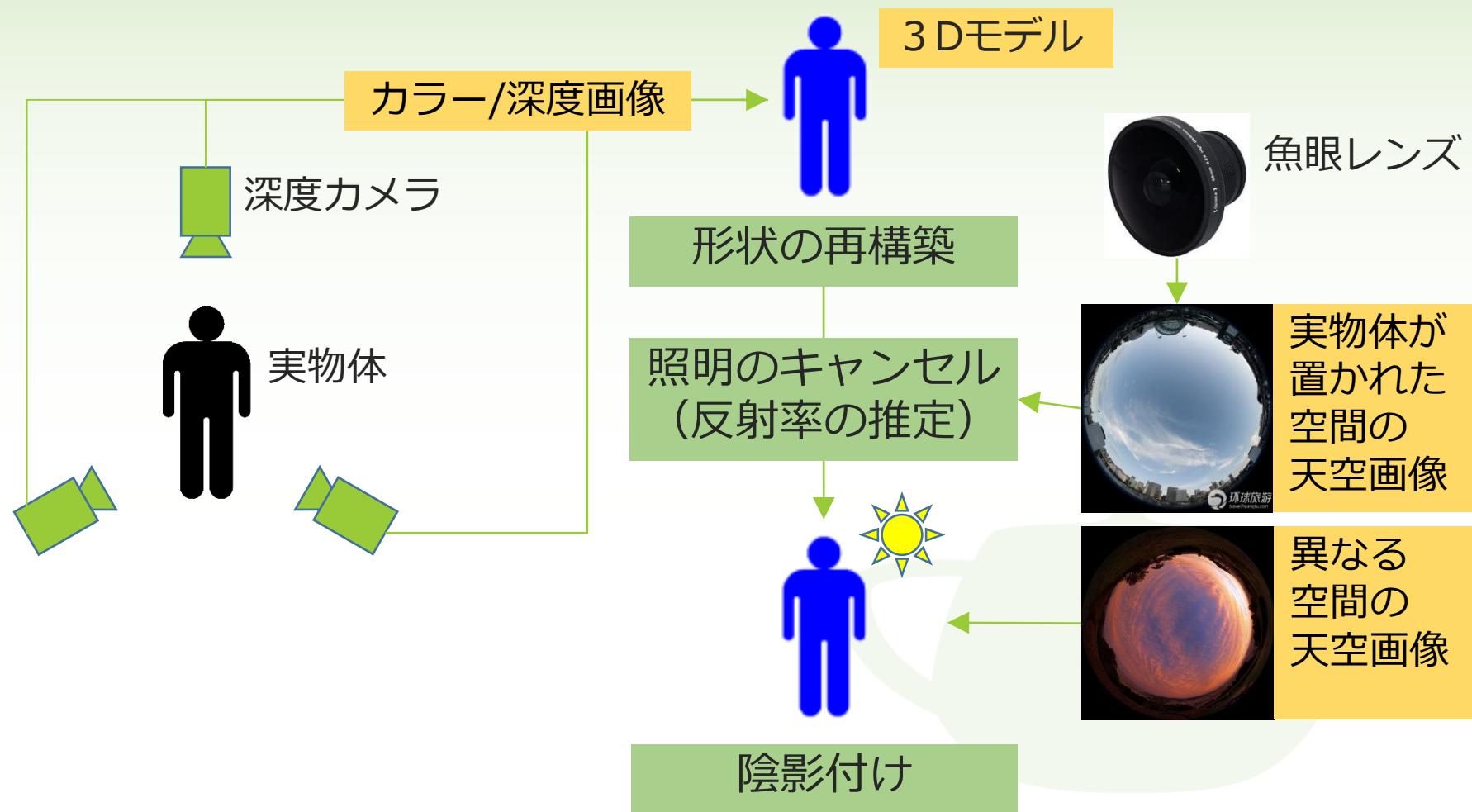


# 光源環境の再現

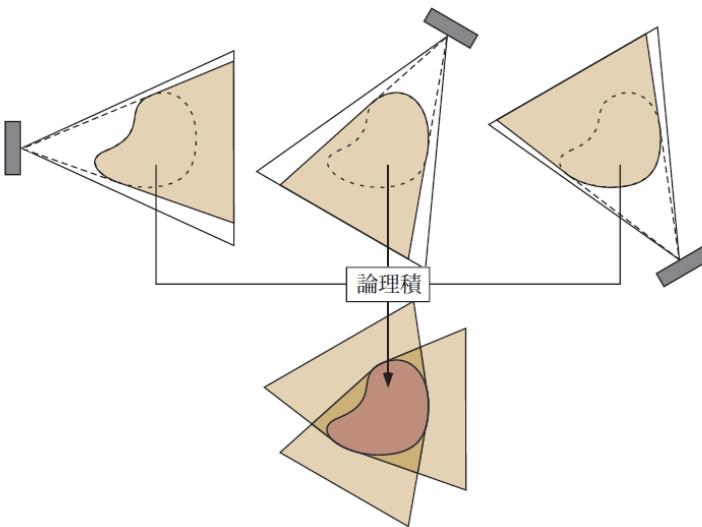
- 光源環境に応じて実物体の陰影を変更する
  - 青空の下に居ながら、夕日を浴びているような陰影



# リライティング



# 形状の再構築



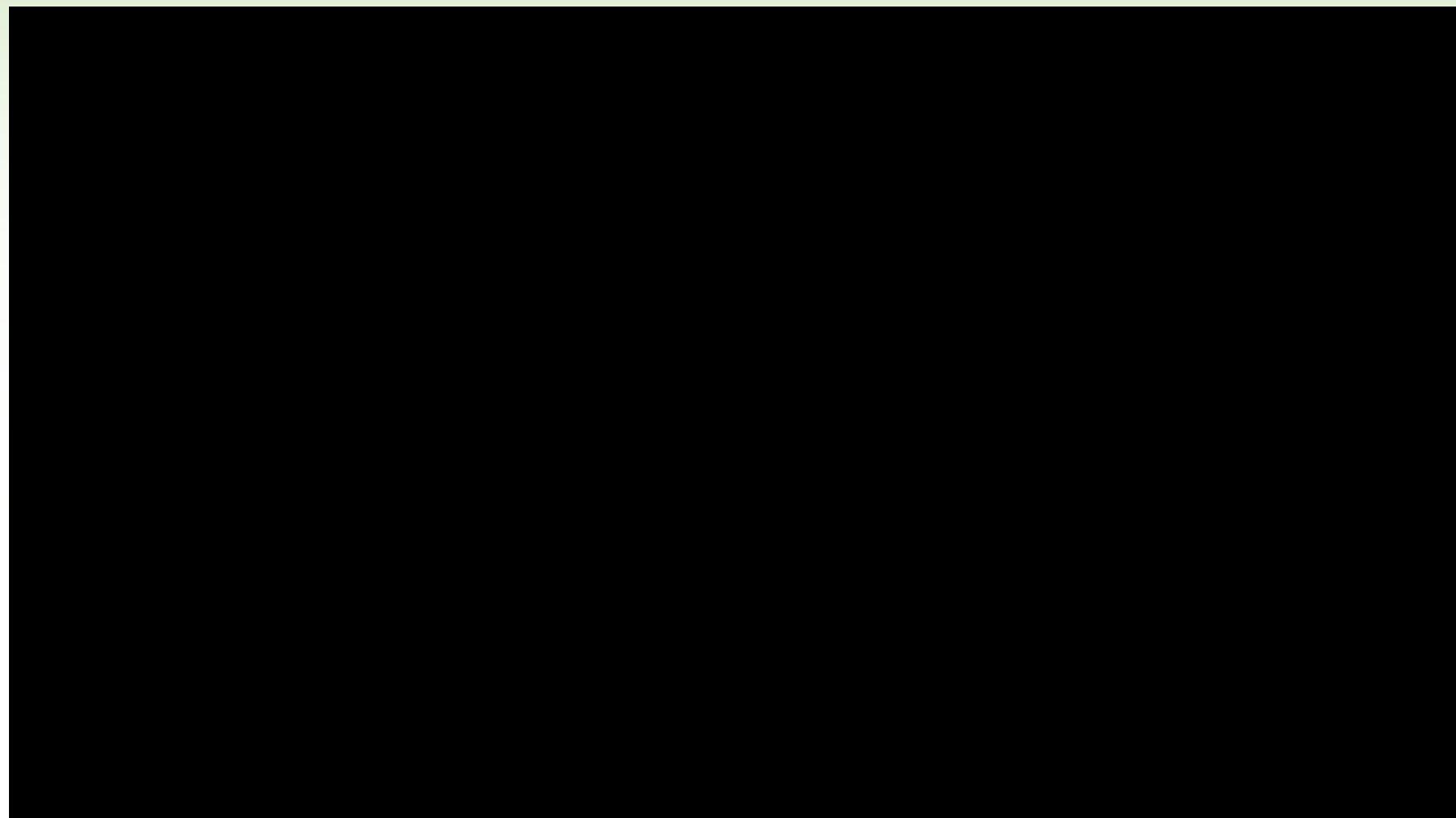
## KinectV2

深度を測定できるセンサ。  
投光した赤外線が反射して  
戻ってくる時間から測定。

## 形状再構築

複数のKinectV2を用いて  
実物体の全周の深度を計測.  
論理積により形状を再構築.

# 人体全周プロジェクションマッピング



# 反射率の推定

反射率 = 反射した光

- ・鏡面反射
- ・拡散反射



KinectV2のカラー画像

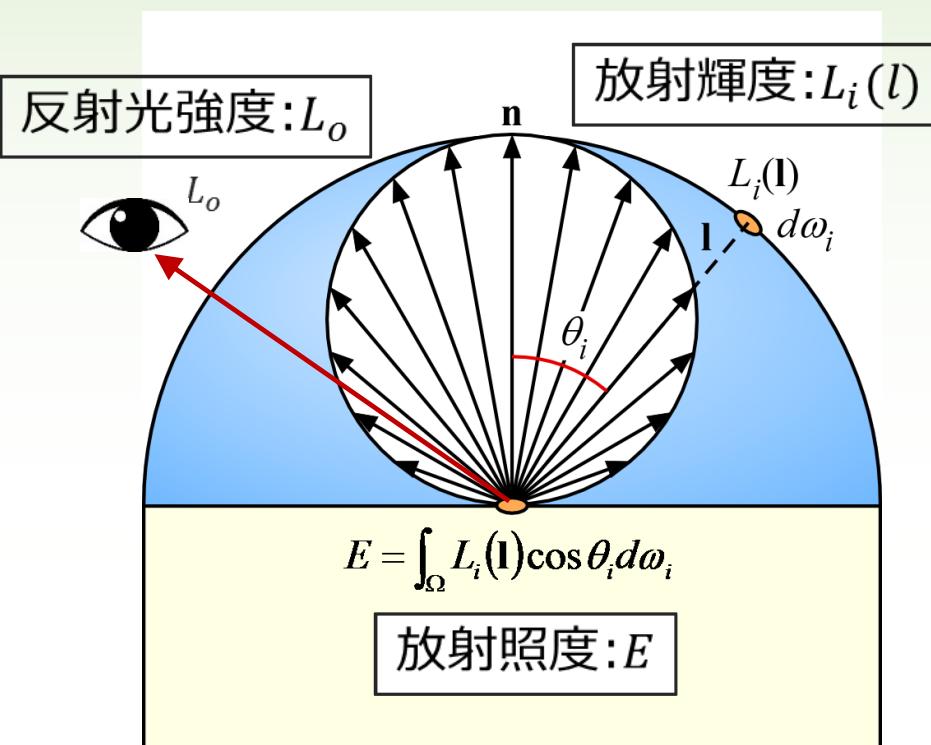
÷ 入射した光

- ・放射照度



天空画像

# 放射照度の見積もり



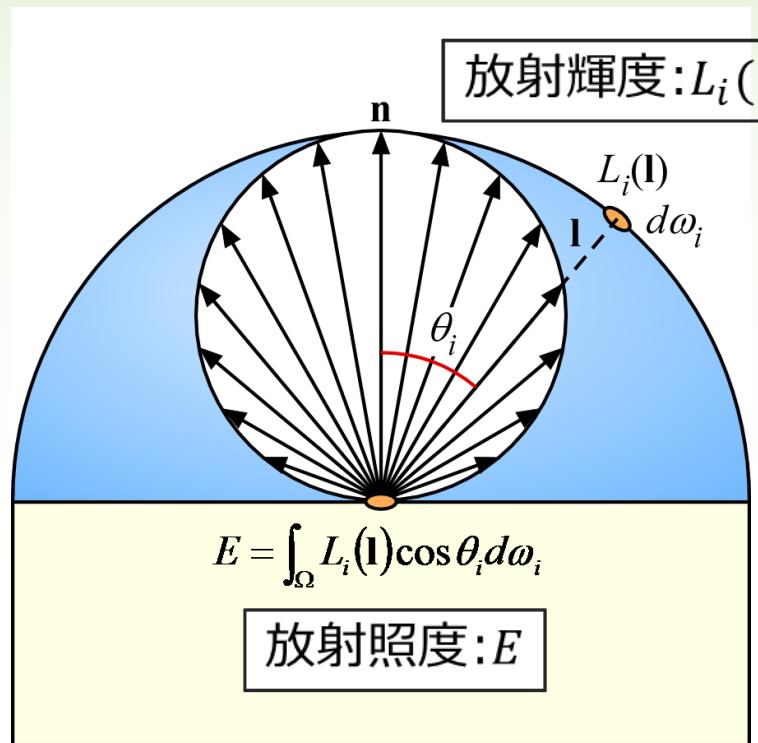
陰影付けモデル

天空画像より放射照度  $E$ 、  
カラー画像より反射光強度  $L_o$   
が算出できる。

鏡面反射を持たなければ、

反射率 :  $f = L_o/E$

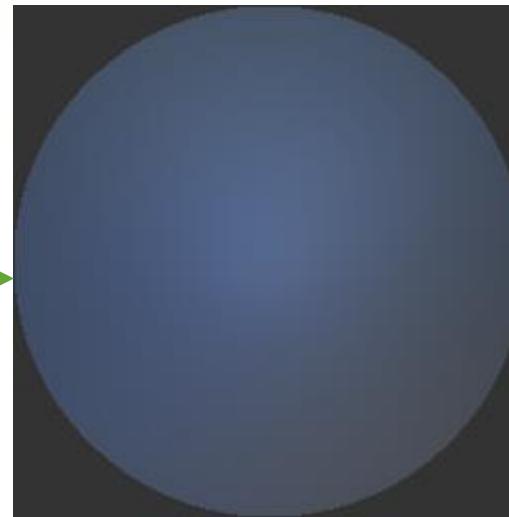
# 放射照度マップ



陰影付けモデル



入力画像



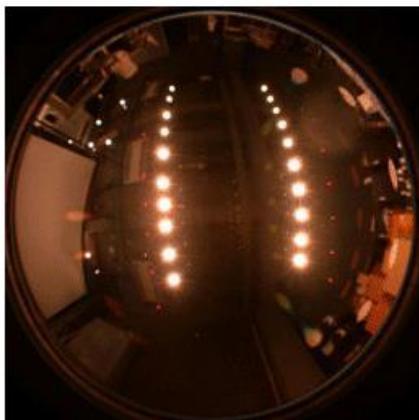
放射照度の  
計算結果

# 実験

- 2台の深度カメラで物体を撮影
- 異なる環境の天空画像による陰影の変化を確認



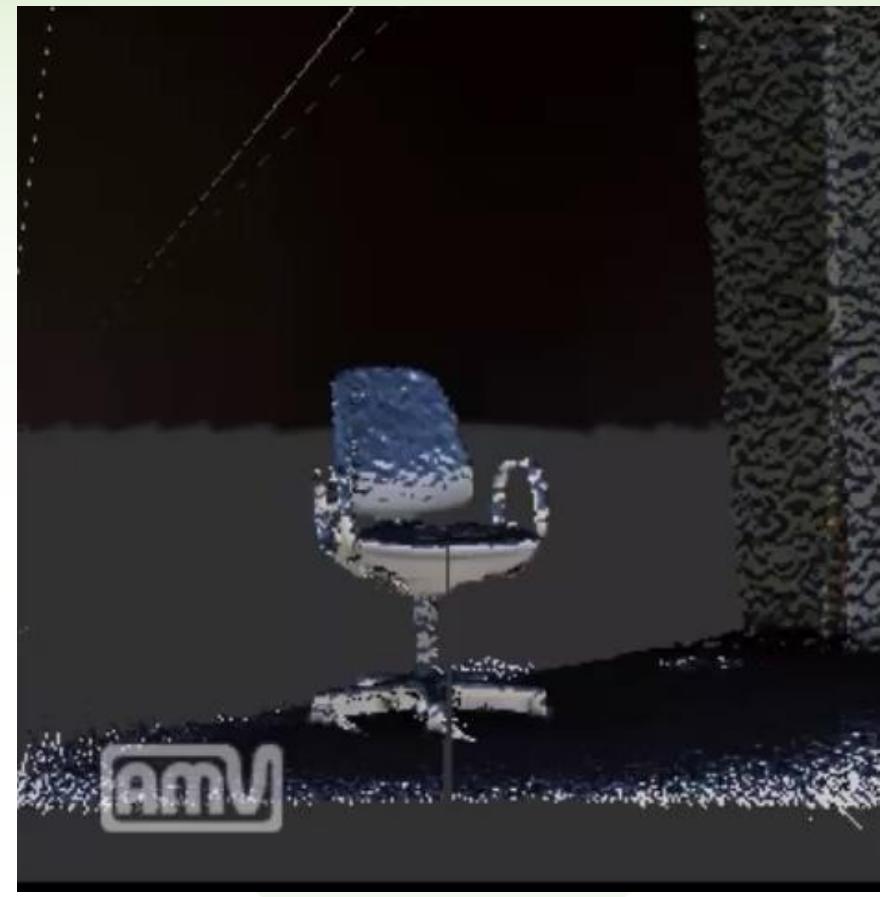
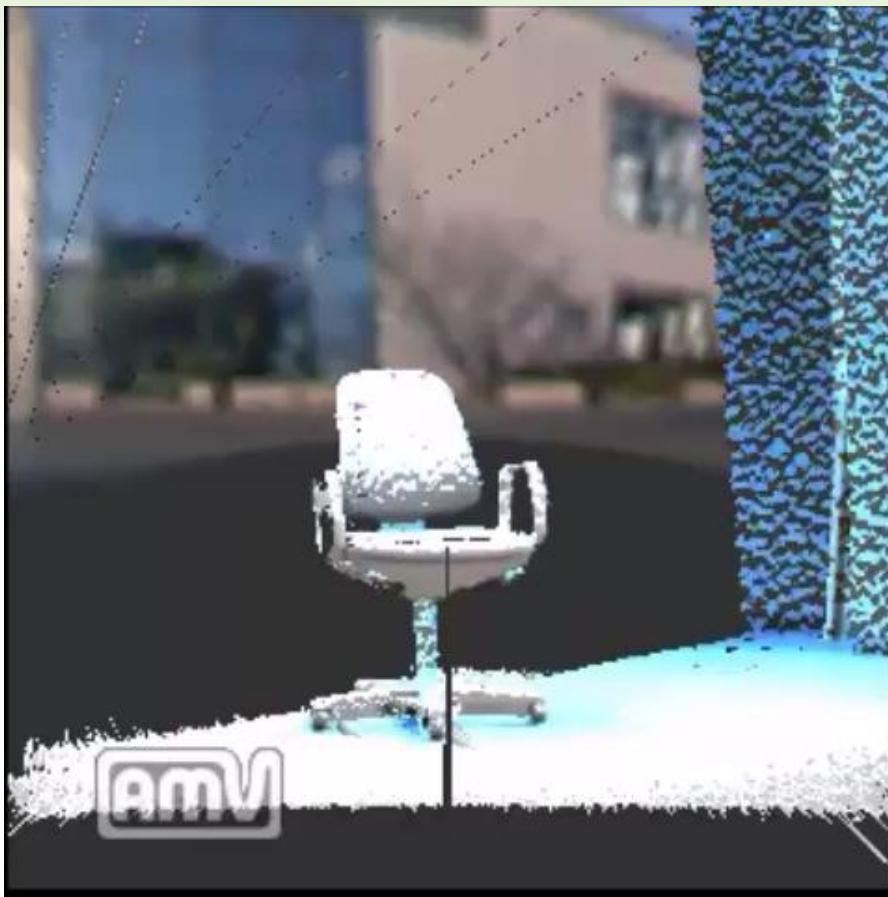
対象  
椅子、人



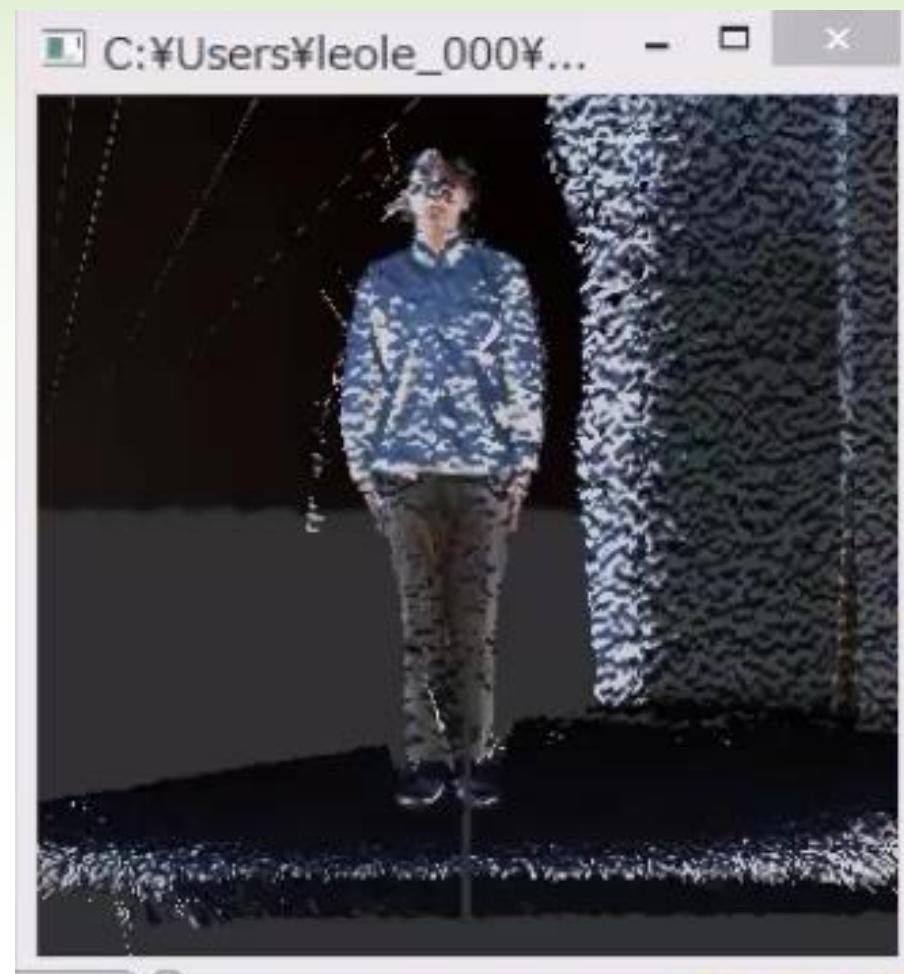
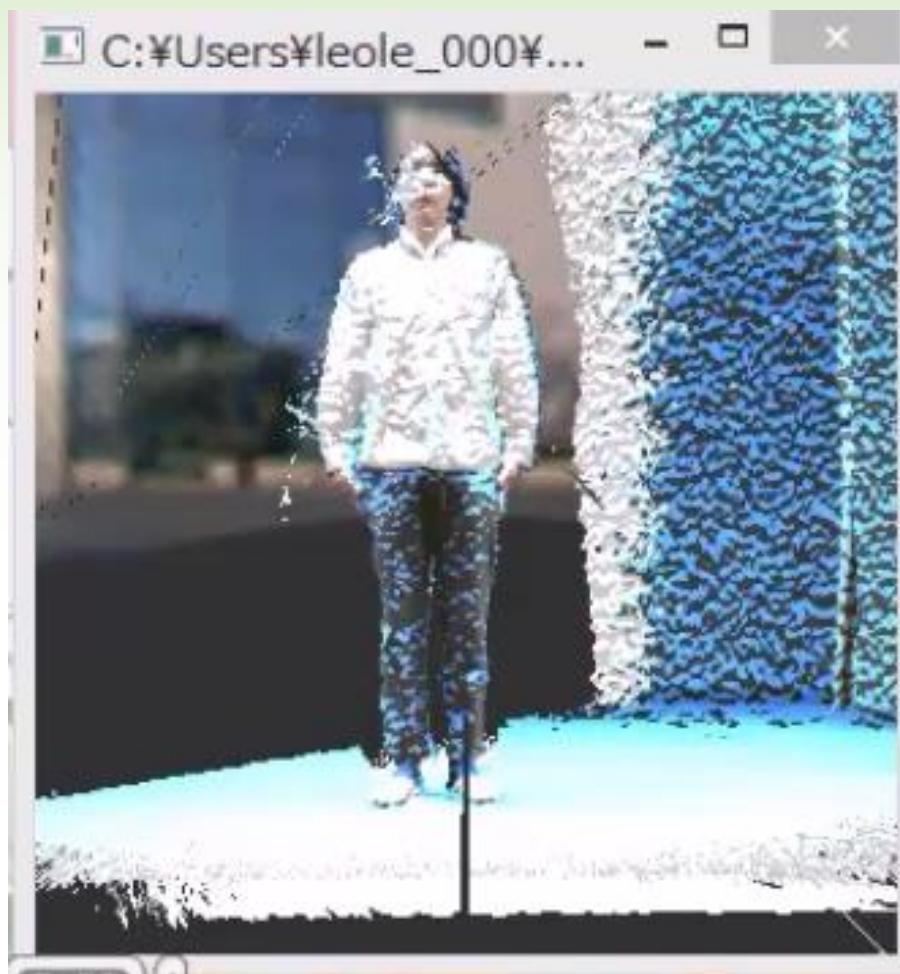
撮影環境  
屋内

合成先環境  
屋外（昼）  
屋外（夜）

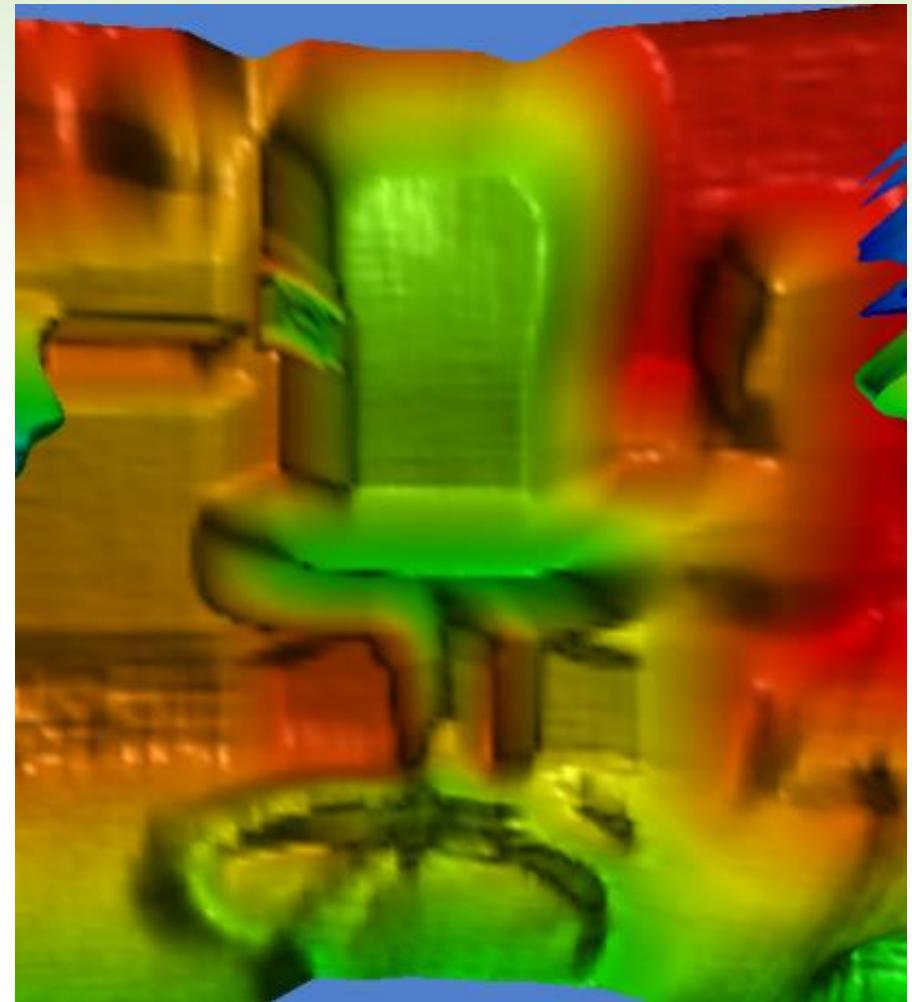
# 実験結果



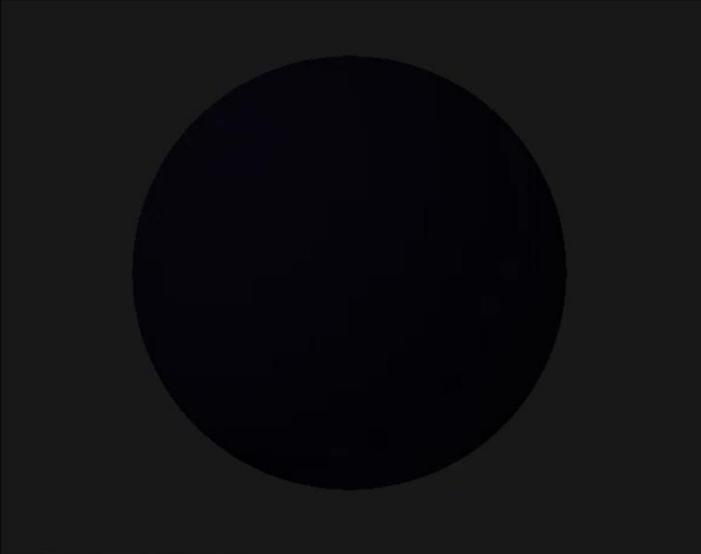
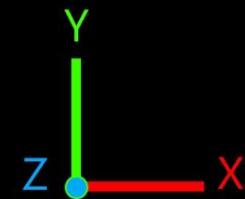
# 実験結果



# 深度画像の平滑化

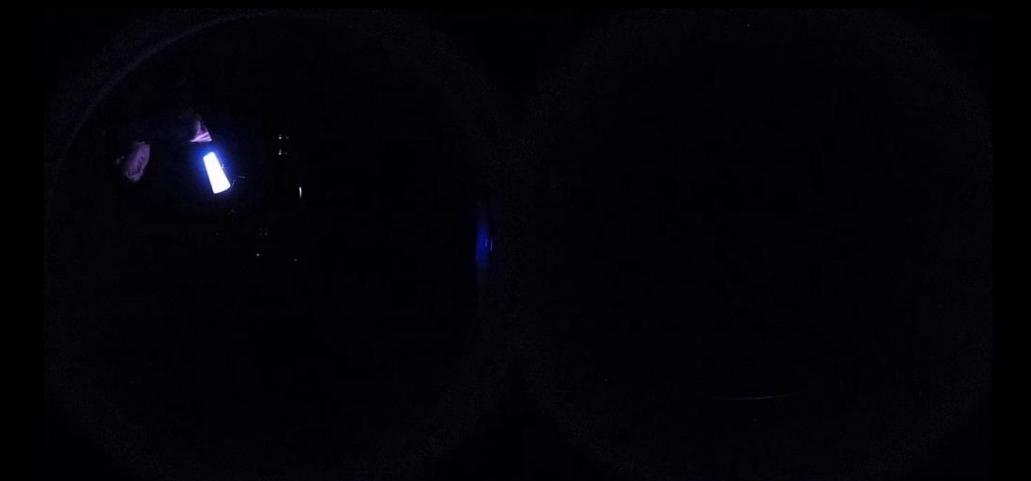


# 放射照度計算のリアルタイム化



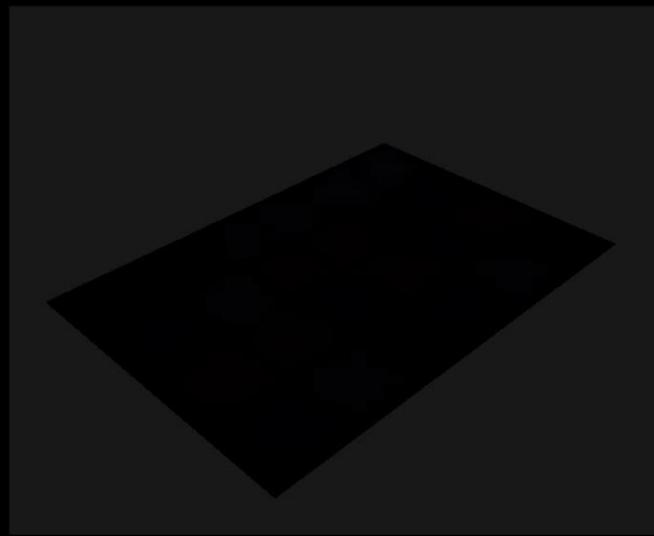
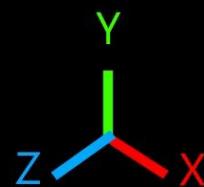
Result

Front



Dual-Fisheye

# 放射照度計算のリアルタイム化



Result

Front

Back

Dual-Fisheye

# 色再現性の検証

全周画像から陰影付けした  
CGモデル



同じ光源下で撮影した  
実物体

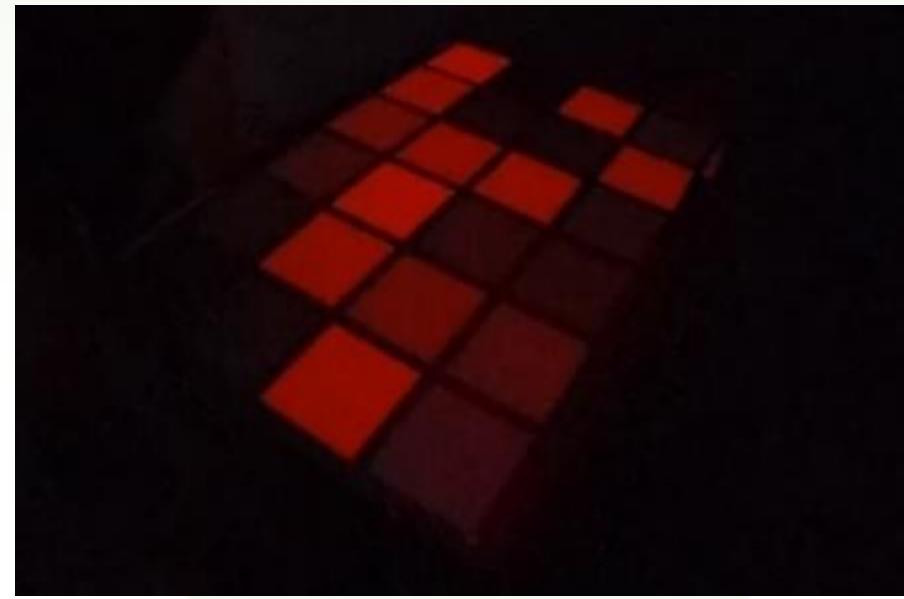


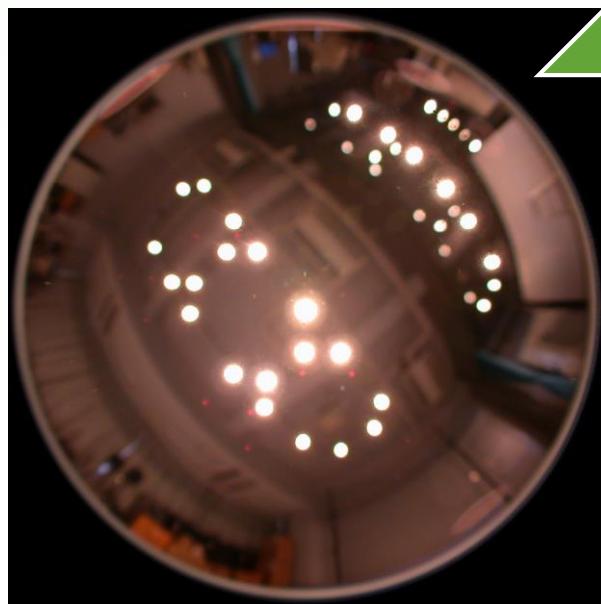
# 色再現性の検証

全周画像から陰影付けした  
CGモデル

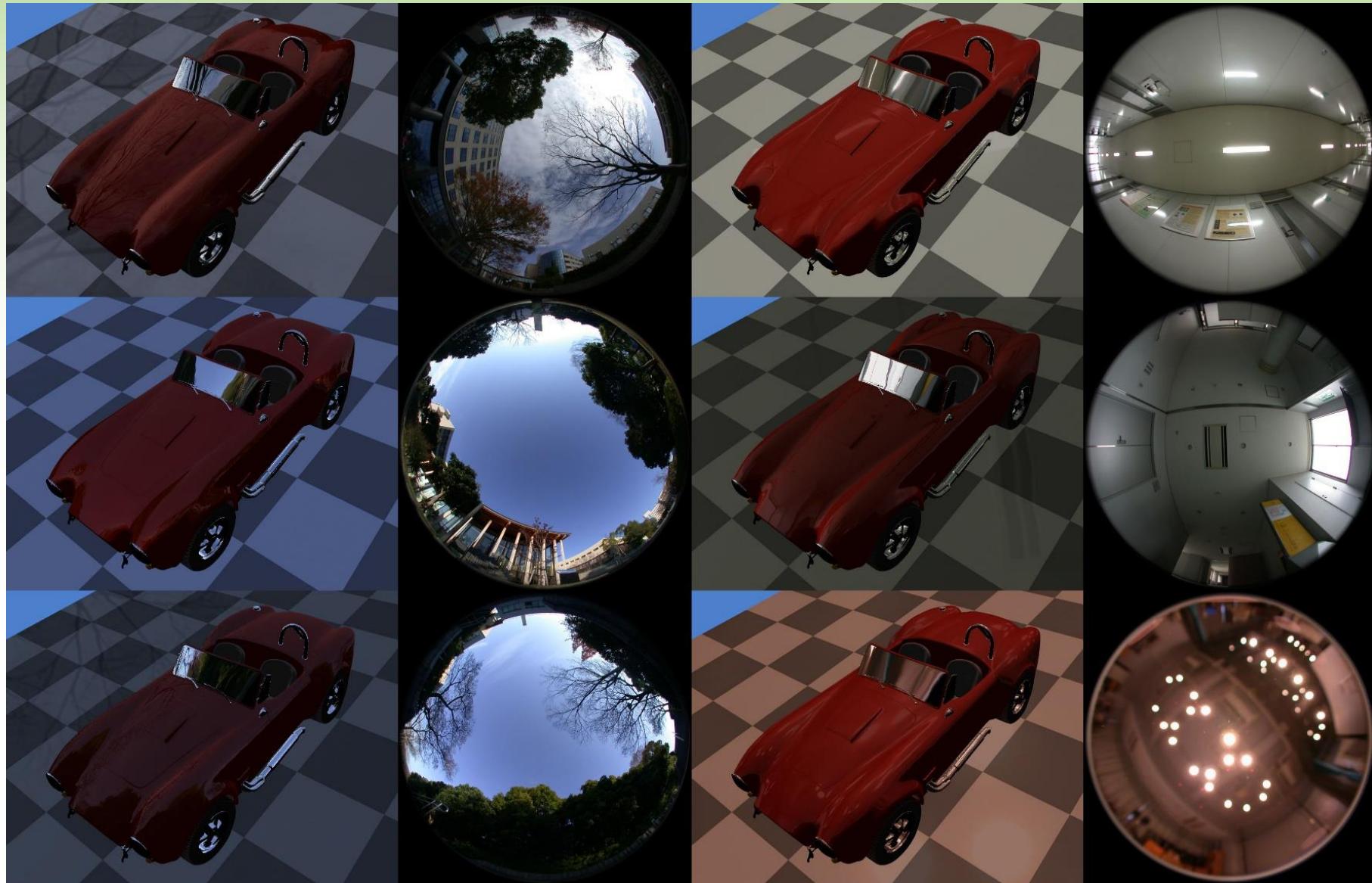


同じ光源下で撮影した  
実物体





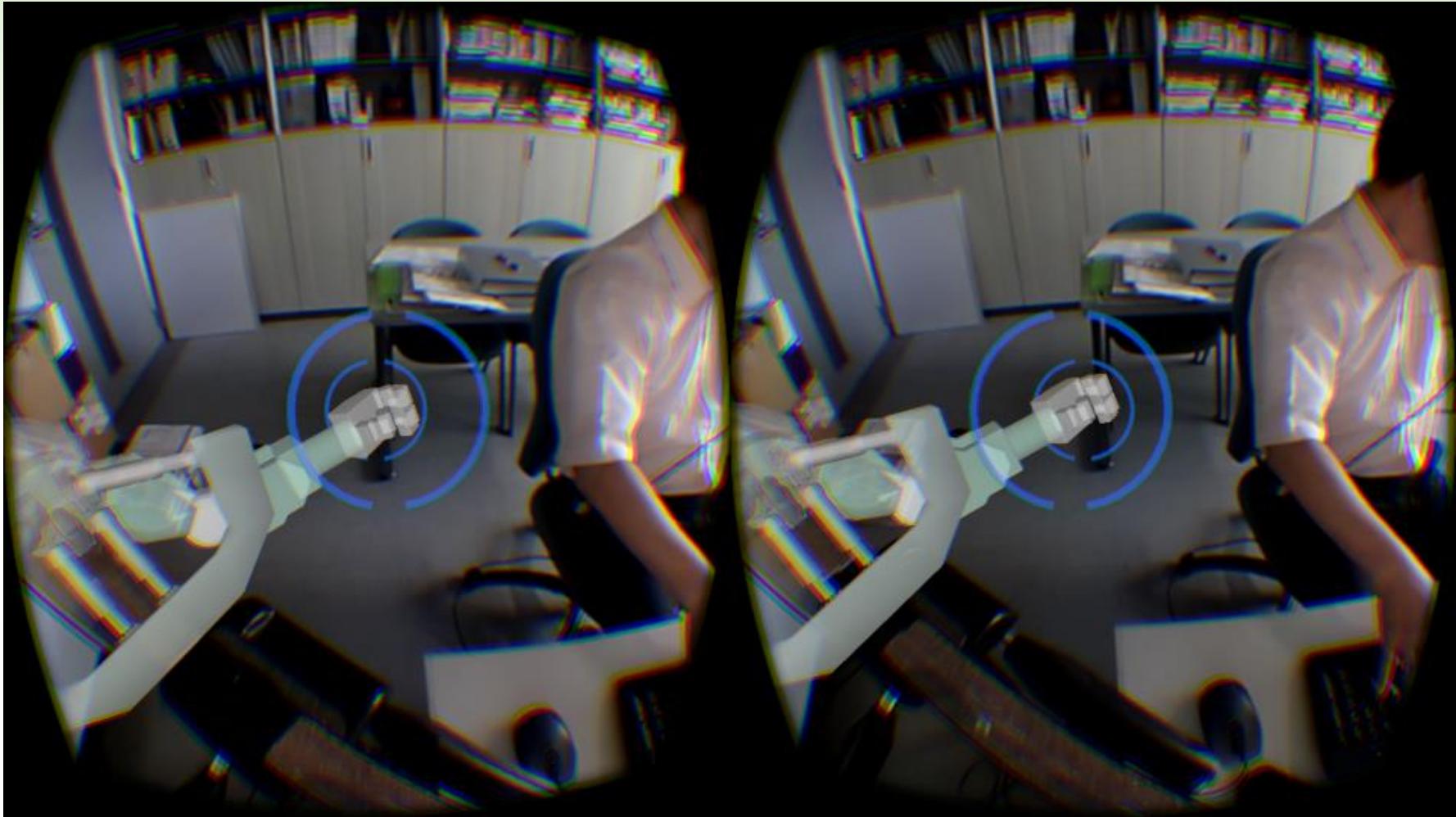




# 光源環境の動的変化



# 仮想物体の重畠



# 視野に重畠する仮想物体

- 世界座標系に配置する物体
  - ロボット、対象物等
- 操縦者の頭の動きに追従する物体
  - 操縦者の視線マークなど
- ロボットのカメラの動きに追従する物体
  - ロボットの視線マークなど



# シーンの記述

- JSON形式のシングラフによる
  - オブジェクトは ALIAS OBJ 形式
  - 共有メモリを介して外部プログラムで取得した配置情報を参照可能
    - Leap Motion とのインターフェース作成中

```
{  
  "position": [ x, y, z ],  
  "rotation": [ x, y, z, angle ],  
  "scale": [ x, y, z ],  
  "model": "形状データファイル名",  
  "children": [  
    シングラフのノード,  
    :  
    シングラフのノード  
  ]  
}
```



# 提案手法の拡張

現状の課題と今後の計画



# 全方位画像を用いた場合の問題

- データ量が大きい
  - 注視方向以外も伝送される
- 注視方向の解像度が低い
  - 全方位画像の一部を切り取って拡大している

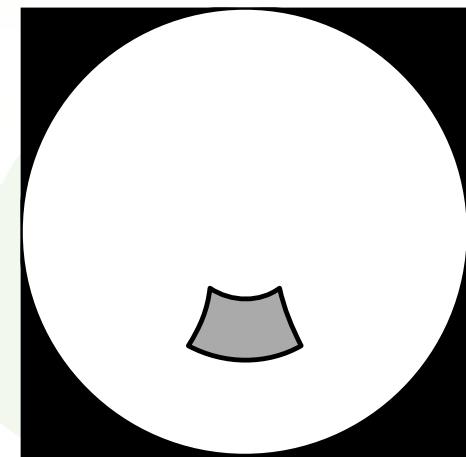


# 全方位画像の逐次生成

- 画像伝送後に操作者側で全方位画像を生成する
  - パンチルト(ズーム)カメラを用いる
  - 画像とともに視線の情報(位置, 方位, 画角)を伝送する
  - 伝送された画像は全方位画像に蓄積する



パンチルトカメラ  
(Ovrvision + Oculus Rift で代用中)



# 生成する全方位画像

- キューブマップ
  - 視点を中心に置いた立方体の6面の画像を用いる
- 二重放物面画像・二重魚眼画像
  - 放物面の反射画像あるいは魚眼画像を2枚用いる
- ハイパードームマスタ画像
  - 360°の画角を持つ单一の魚眼画像
  - 光学的な作成は困難なので計算で生成する

# 視線情報の伝送



# 映像の伝送

## ■ Real Time Streaming Protocol<sup>†</sup>

- データは UDP ベースの Real-time Transport Protocol
- 遅延が少ない
- コーデックによっては視線情報をフレームに同期できない

## ■ とりあえず Motion JPEG で実験

- フレーム単位に JPEG による符号化
- 視線情報をフレームに対応付ける
- 効率は悪い

<sup>†</sup> RTSP, オーディオ, ビデオなどのマルチメディア・データを含むサーバを遠隔操作するためのプロトコル, RFC 2326

# 視線の共有



# コーデックの開発

- フレームと視線情報の同期
- パンチルト(ズーム)カメラの特性への対応
  - パン・チルト時は隣接フレームの差分情報だけ伝送
  - 静止時・ズーム時は視野の中心付近を詳細に伝送
- 既存のコーデックとの比較

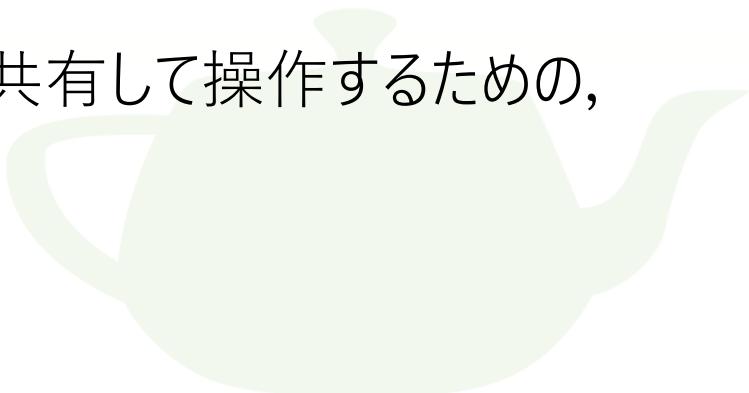


# パノラマステレオ

- ステレオカメラをパンチルトヘッドで回転してもパノラマステレオ映像は生成できない
  - カメラが回転軸からオフセットしているために全方位画像を生成する際に画像がぶれる
  - 全方位画像上ではエピポーラ平面が一意に定まらない
- 深度画像を用いる
  - 探査対象の形状測定は必要
  - ステレオカメラ, 単眼カメラ, 深度センサ等を併用

# 終わりに

操縦者が遠隔地のロボットの視野を共有して操作するための,  
HMDを用いた表示システムの開発



# 通信路の伝送遅延への対処

- あらかじめ伝送された観測対象の測定データとその環境データをもとに手元にあるものとして観測する
- あらかじめ伝送されたロボットの周囲の環境映像から操縦者の視野の映像を切り出して表示する
- 操縦者の頭部の動き（視線の移動）に伴う表示の遅れを見かけ上解消することができる

# 今後の課題

- この目的に適した環境映像の伝送手法の開発
- 環境の深度情報の取得と応用
  - パノラマステレオの実現
  - 探査対象との干渉を考慮した重畠表示
- 実際のロボットや操縦者のジェスチャーセンサーをこのシステムと接続
  - システムの操作性やロボットによる作業性の評価
  - このシステムによる遠隔ロボット制御フレームワークの検討

# 実験に使用しているロボット



(玉川大学)



# 遠隔環境の再現性について

- 遠隔環境は地球上の環境とは異なる
  - そもそも人間に知覚容易(可能)なのか
  - 明るさのコントラスト・ダイナミックレンジの取り扱い
  - マルチスペクトル画像の取り扱い
  - スケールの取り扱い
- 遠隔環境を地上の環境に合わせて表現する
  - トーンマッピング
  - 放射照度マッピング
  - 疑似カラー・イラストレーション化

# お問い合わせ先

和歌山大学

産学連携・研究支援センター

コーディネーターグループ

鈴木、前田、米田

e-mail [liaison@center.wakayama-u.ac.jp](mailto:liaison@center.wakayama-u.ac.jp)

T E L        0 7 3 - 4 5 7 - 7 5 6 4

F A X        0 7 3 - 4 5 7 - 7 5 5 0

