

# 大規模空間における多視点カメラ配置計画のための VR インタフェースの検討

 松原 尚利\*<sup>1</sup>

 宍戸 英彦\*<sup>2</sup>

 北原 格\*<sup>2</sup>
**VR interface for multi-view-camera layout planning in a large-scale space**

 Naoto Matsubara<sup>1</sup>, Hidehiko Shishido\*<sup>2</sup> and Itaru Kitahara\*<sup>2</sup>

**Abstract --- Free viewpoint video, which enables users to view videos from any viewpoint, has been attracting attention and introduced to sports broadcasting. In order to generate free viewpoint video, it is necessary to shoot multi-view videos by setting on huge number of cameras surrounding the shooting space. However, in large spaces like soccer stadiums, it is difficult to identify suitable installing position of cameras to capture desired multi-view video in advance. This paper proposes a VR interface to variously simulate the multi-view camera layout based on a 3D model of a stadium reconstructed from images shot by a drone.**

**Keywords: Free viewpoint video, Multi-view camera, Camera layout, VR simulation**

## 1 はじめに

多視点画像を計算機内部で統合し、任意視点からの見え方を再現する自由視点映像によって、没入感の高いスポーツ観戦が可能となりつつある[1,2]。スポーツイベントが行われる大規模空間を囲むように複数のカメラを配置する多視点映像撮影の目的は、高品質な自由視点映像を空間全体で生成するために必要な視覚情報を取得することであるが、その条件を満たすカメラ配置の決定には、多大な労力・時間や経験が必要となる。

本研究では、図 1 に示すように、スポーツスタジアムのような大規模空間を対象とした多視点カメラ配置作業の支援を目的とした VR インタフェースを提案する。スタジアムをドローンを用いて撮影した画像からスタジアムの3次元モデルを生成する。その3次元モデルをベースに構築した VR 空間において、ユーザが“撮影要件”（撮影地点、領域、映像の空間分解能）と“観察要件”（視点移動範囲、観察角度（輻輳角・俯角））を入力すると、その要件を満たすカメラパラメータ（カメラの台数、位置姿勢、画角、解像度）を算出する。算出された結果をカメラアイコンを用いて VR インタフェース上で提示したり、バーチャルカメラからの見え方サンプルをレンダリングしたりすることで、カメラ配置の妥当性を事前に評価することができる。また、フィールド上のどの範囲がどの程度の空間分解能で撮影できるかを可視化したり、観

客席のようにカメラの設置が困難な領域にはカメラをレイアウトしないようにする機能によって、実用的なシミュレーションの実現を目指す。



図1 大規模空間における多視点カメラ配置計画のためのVRインタフェース

Fig.1 VR interface for planning multi-view-camera layout in a large-scale space.

\*1 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

\*2 筑波大学 計算科学研究センター

\*1 Graduate School of Systems and information Engineering, University of Tsukuba

\*2 Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

## 2 関連研究

VR 技術の発展に伴い、様々な分野の作業検証に VR シミュレーションが採用されている。スポーツの世界でも、スポーツ競技環境への順応を目的とした導入が進んでいる [3-6]が、本研究で実現するシミュレーションは、大規模空間を撮影するカメラ配置に関するものであり、同じスポーツに関係するが対象が異なる。

多視点カメラの配置を支援する手法として、鈴木ら[7]は VR 環境を用いたカメラ配置シミュレーションを提案している。スタジアム CG モデル上に設置した任意の台数・位置・姿勢のバーチャルカメラで撮影される映像やその空間分解能を HMD (Head Mounted Display) で提示することにより、カメラ配置作業を実際に行う前に、撮影映像の品質を確認することができる。しかし、バーチャルカメラの位置・角度などの情報は、ユーザがボトムアップ的に設定する必要があるため、カメラ配置検討に要する時間・労力の問題は解決されていない。また、自由視点映像生成を目的とした多視点カメラ配置では、多視点カメラを一定の範囲に様に分布することが一般的だが、鈴木ら[7]の研究ではそのような設定機能を有していない。

本研究では、生成映像の品質に影響を与える“撮影要件”と“観察要件”を設定し、それを満たすカメラパラメータをトップダウン的に算出・提示することにより、カメラ配置の検討に要するコストを大幅に削減する VR インタフェースを提案する。

### 3 多視点カメラ配置計画のための VR インタフェース

本節では本研究の全体概要について述べる。本研究は図 1 に示す「スタジアムの3次元モデル生成」と「多視点カメラ配置インタフェース」の二つの要素から構成される。

#### 3.1 スタジアムの3次元モデル生成

VR 空間におけるカメラ配置シミュレーションのために、撮影対象となるスタジアムの3次元モデルを生成する。撮影を行うスタジアムに下見(ロケハン)に行った際に、ドローンを用いてスタジアムの多視点画像を撮影する。撮影した多視点画像からスタジアムの3次元形状を復元する。3次元形状復元手法としては、LiDAR スキャナ[8]や ToF (Time of Flight) カメラ[9]などの 3D スキャナを用いる方法が考えられるが、本研究では、空撮画像群に Structure from Motion (SfM) [10]を適用し、3次元形状を復元する。その後、表面情報を推定し、形状を表すポリゴンデータと表面の見え方を表すテクスチャデータとして 3次元モデルを生成する。

#### 3.2 多視点カメラ配置インタフェース

生成したスタジアムの3次元モデルを用いて多視点カメラ配置シミュレーションを行う。ユーザがインタフェースに入力する情報は、多視点カメラの撮影の仕方を規定する“撮影要件”と、提示映像の見え方を規定する“観察要件”の2要件である。入力された要件に基づき、各カメラのカメラパラメータを算出し、カメラパラメータを参照して3次元モデル上にカメラアイコンを配置することで、ユーザからのトップダウン的要望に応じた多視点カメラ配置を実現する。

## 4 スタジアムの3次元モデルの生成

### 4.1 ドローンを用いた撮影

スタジアムの3次元モデルを生成するために、ドローンを用いてスタジアムの撮影を行う。スタジアム内部からスタジアム上空にドローンを飛行させ、ドローンを移動させながら俯瞰映像を撮影し、スタジアムの多視点画像を取得する。

### 4.2 3次元復元

図 2 に示すように、ドローンで撮影した映像から一定時間間隔で画像を切り出すことで多視点画像を取得する。SfM を用いて取得した多視点画像から3次元点群を生成する。SfM は、多視点画像間の対応点情報から、撮影カメラのパラメータと被写体の3次元形状を同時に推定する手法である。SfM を用いて生成した点群にメッシュを張ることにより3次元ポリゴンモデルを生成する。なお、ここで示した例は、ミニチュアモデルをハンディカメラで撮影することによってドローン撮影を模したものである。

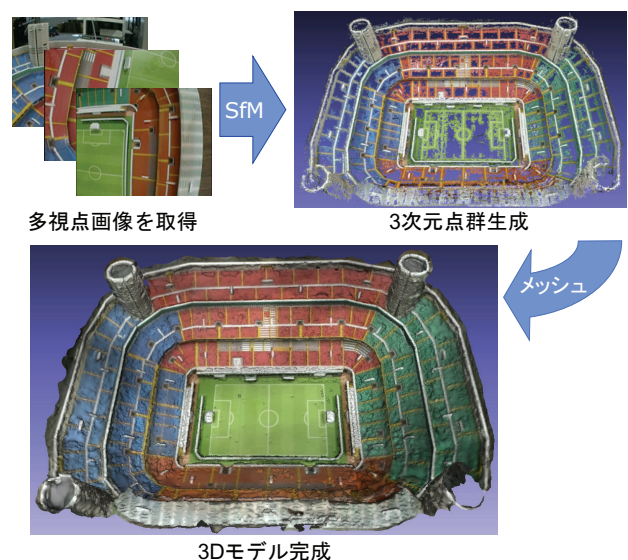


図2 3次元モデル生成処理

Fig.2 3D model generation.

## 5 多視点カメラ配置インタフェース

本節では、提案する多視点カメラ配置計画のためのVRインタフェースについて述べる。

### 5.1 バーチャルカメラのパラメータ設定

最大・最小焦点距離やセンサーサイズといったVR空間に配置するバーチャル多視点カメラのパラメータは、実際の撮影で使用するカメラの仕様を参照し、同様の値を設定する。

### 5.2 カメラ配置決定のための要件

カメラを配置する際に満たすべき要件を設定する。具体的には、図3に示すように、多視点映像撮影に関する“撮影要件”と、生成映像の観察に関する“観察要件”の二つの要件について述べる。

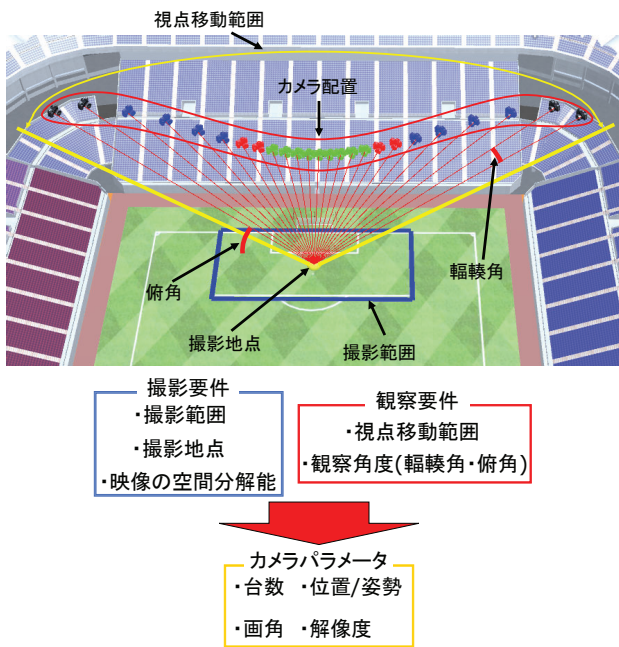


図3 インタフェース概要

Fig.3 Interface overview.

#### 5.3.1 撮影要件

撮影要件として、多視点カメラによって撮影される“地点”、“範囲”、撮影映像の“空間分解能”を設定する。撮影地点は、全ての多視点画像の画面中心で観察される位置である（つまり、全てのカメラの光軸がこの点を通る）。次に、撮影地点を中心とした矩形でフィールド上の撮影範囲を設定する。空間分解能は、撮影映像上の1画素で観測される3次元空間の広がりである。この値が小さいほど精細な視覚情報が撮影される。

#### 5.3.2 観察要件

観察要件としては、生成映像観察時に視点が“移動できる範囲（移動範囲）”、“観察角度（輻輳角・俯角）”を設定する。移動範囲は図3に示すように、撮影地点周

りの先頭と後尾の角度として設定する。輻輳角は、観察映像における視点の切り替わり感に影響を与えるパラメータである。自由視点映像の実現法によって適切な角度が与えられる。バレットタイム映像を生成する場合、多視点カメラが同一平面上に配置されていると、滑らかに視点が移動する映像の生成が可能である。本インタフェースでは、各カメラの光軸とフィールド面がなす角度（俯角）として、多視点カメラの配置要件を与える。

### 5.3 多視点カメラパラメータの算出

上述した撮影要件と観察要件に基づき、カメラの台数、位置姿勢、画角、解像度といった多視点カメラパラメータを算出する。カメラ台数は観察視点移動範囲・輻輳角から求まる。観察視点移動範囲・輻輳角・俯角を用いて撮影地点から各カメラ中心に向かうベクトル（カメラ姿勢）を算出する。撮影地点とカメラ姿勢ベクトルから各カメラの光軸を求め、光軸と3次元モデルの交点をカメラ位置とする。撮影範囲・空間分解能・カメラから撮影地点までの距離から各カメラに求められる画角・焦点距離と解像度が算出される。算出したカメラ台数と各カメラの焦点距離や空間分解能はコンソール上にも表示する。

### 5.4 多視点カメラパラメータの可視化

前節で算出した各カメラのパラメータを参照し図3に示すようにVRインタフェース上にカメラアイコンを配置する。カメラアイコンの色を変化させることにより、各カメラの画角や空間分解能の状態を提示する。各カメラから撮影地点への視線は赤線で表現する。カメラパラメータを可視化することにより、カメラ配置場所の直感的な把握が可能となる。また、図4に示すように、算出したカメラパラメータに基づいて配置した多視点カメラからの見え方をレンダリングすることにより、実際に現場でロケハン撮影を実施せずに、撮影される多視点画像の見え方の確認や、多視点画像を用いた自由視点映像生成プログラムの開発が可能となる。

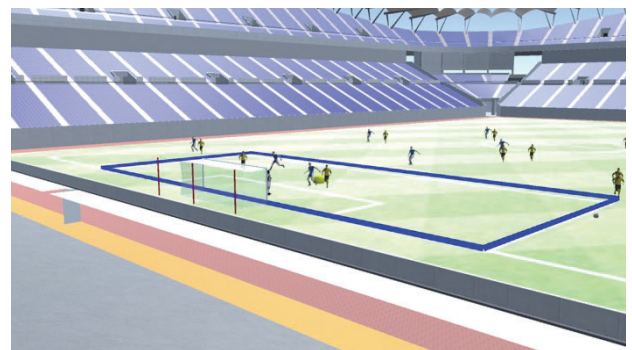


図4 多視点カメラからの見え方の一例

Fig.4 An example view from one of the multi-view cameras.

## 5.5 空間分解能の可視化

映像中の1画素で表現可能な被写体の精密さを表す空間分解能を VR シーンで可視化することにより、撮影画像の品質把握を可能とする。フィールド面を  $0.1\text{m}$  四方に分割し、その一つを  $S$  とする。 $S$  の中心座標を  $(x_c, z_c)$  として、配置した任意のカメラ  $C_k$  ( $k=1,2,\dots,n$  ( $n$  はカメラ台数)) から  $(x_c, z_c)$  までの距離を  $L$  とする。 $C_k$  の画角を  $\alpha$ 、解像度を  $\beta$  とすると、カメラ  $C_k$  から  $S$  を撮影した際の空間分解能  $R_k$  は式(1)で表される。

$$R_k = L \tan \frac{\alpha}{\beta} \quad (1)$$

また、 $S$  を赤く着色させる条件は式(2)で表される。

$$\frac{\sum_1^n R_k}{n} < 0.015 \quad (2)$$

式(2)を満たす範囲の内、全てのカメラの画角に収まっている範囲が図5に示すように赤に着色されて提示される。

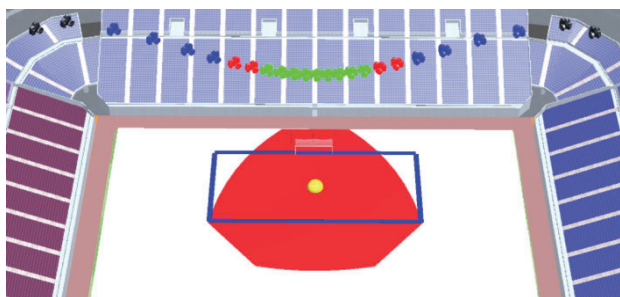


図5 空間分解能の可視化

Fig.5 Visualization of spatial resolution on the field.

## 5.6 配置不可能領域の設定

カメラ配置検討を行うスタジアム内には、スタジアムの観客席のようにカメラ配置が困難なエリアが存在する。本インタフェースでは、図6に示すように3次元モデル表面上をカーソルでなぞったりクリック点で囲むなどしてカメラ配置困難領域を指定する。前述したカメラ配置処理によって、配置困難領域にカメラが配置される結果となった場合、図7に示すように、配置可能な領域にカメラを再配置する。図7中の赤線で繋がれたカメラが再配置前後の対応関係を示しており、赤線の上側が再配置後、下側が再配置前のカメラである。

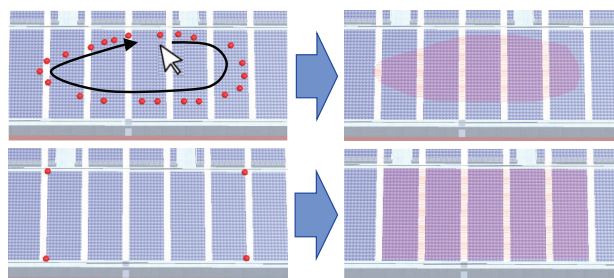


図6 カメラ配置不可能領域の指定

Fig.6 Specifying areas where cameras cannot be placed.



図7 配置不可能カメラの再配置

Fig.7 Relocation of non-placable cameras.

## 6 カメラパラメータ算出に必要な情報とその算出法

本節では、カメラパラメータの算出に必要な情報について記述する。

### 6.1 スタジアムの3次元モデルの設置

本研究では、撮影シーンの3次元空間情報として、ドローンで撮影した空撮映像からスタジアムの3次元モデルを生成する。3次元モデルの生成が困難な場合には、スタジアムの建築時に使った CAD モデルや、ウェブ上で公開されている VR 空間構築用の CG モデルを使用することも可能である。本インタフェースでは、スタジアムの3次元モデルを VR 環境構築プラットフォームの Unity にインポートし、スタジアムの横、縦の向きがそれぞれ Unity 座標の  $x$  軸、 $z$  軸と平行に、選手のプレーするフィールドの中心点が  $xz$  座標の原点と重なるようスタジアムの CG モデルを配置する。

### 6.2 撮影要件の設定法

撮影要件(多視点カメラで撮影する地点、範囲、撮影映像の空間分解能)の設定法について述べる。撮影範囲は、フィールド上に矩形領域を指定することで設定する。矩形領域のサイズは Unity のコマンドウィンドウに  $x$  座標の範囲と  $z$  座標の範囲を入力することで与える。 $x$  座標の範囲を  $x_1$  から  $x_2$ 、 $z$  座標の範囲を  $z_1$  から  $z_2$  とした場合、 $(x_1, z_1)$ 、 $(x_1, z_2)$ 、 $(x_2, z_1)$ 、 $(x_2, z_2)$  の4点を頂点とする矩形が撮影範囲となる。撮影地点は、この矩形の中心であり、フィールド上での座標は、 $(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{z_1+z_2}{2})$  となる。空間分解能は、Unity の入力窓に、撮影地点において、

撮影画像の1画素に収まる3次元物体のサイズ(長さ)を入力する。

$$r = \frac{\theta_c}{\text{arc tan} \frac{s}{L}} \quad (5)$$

### 6.3 観察要件の設定法

観察要件(生成映像において観察視点移動範囲, 観察角度(輻輳角・俯角))の設定法について述べる。観察視点移動範囲は, フィールド面(xz 平面)上で撮影地点を原点として x の正方向を 0 度とした際との角度として与える。この時, 単位円と同様に左回りを回転の正方向とする。範囲の開始(先頭)角度を  $\theta_s$ , 終了(後尾)角度を  $\theta_e$  とする。撮影地点から  $\theta_s$  方向,  $\theta_e$  方向への直線と円弧によって描かれる扇型を xz 平面の垂直方向(すなわち y 軸方向)の正の向きの間を動かして描かれる領域が観察視点移動範囲となる。観察角度の内, 輻輳角  $\theta_t$  は, 隣り合うカメラの光軸がなす角度として与える。俯角  $\theta_g$  は, フィールド面とカメラの光軸がなす角度である。 $\theta_s, \theta_e, \theta_t, \theta_g$  を Unity のコマンドウィンドウを介して入力する。

### 6.4 カメラパラメータの算出法

ここでは, カメラパラメータの算出方法について述べる。まず, 観察視点移動範囲と輻輳角から, 式(3)を用いてカメラ台数  $n$  を求める。

$$n = \left\lceil \frac{\theta_e - \theta_s}{\theta_t} \right\rceil \quad (3)$$

次に, 多視点カメラの位置と姿勢を求める。各カメラの方向ベクトル  $v_k$  は, 各カメラのカメラ配置範囲内での角度を  $\theta_k (k = 1, 2, \dots, n)$  とすると, 式(4)で表される。

$$v_k = \begin{pmatrix} \sin(90 - \theta_g) \cos \theta_k \\ \cos(90 - \theta_g) \\ \sin(90 - \theta_g) \sin \theta_k \end{pmatrix} \quad (4)$$

撮影地点と式(4)で求めたベクトルによって表現される直線が各カメラの視線である。対応するカメラの位置は, 視線と3次元モデルの交点として求まる。また, そのカメラの姿勢は, xz 平面上で撮影地点を中心に x の正方向を 0 度として  $\theta_k$  度左回転させて地面から  $\theta_g$  度傾ける回転行列としてカメラを回転させた姿勢に決まる。

最後に, カメラの画角と解像度を算出する。あるカメラから見て, その視野に撮影範囲(フィールド上で指定した矩形領域)を底面とする高さ 5m の直方体が収まる最も小さい視野角として, カメラの画角  $\theta_c$  を算出する。画角  $\theta_c$ , 指定された空間分解能  $s$ , 注目しているカメラから撮影地点までの距離  $L$  とすると, カメラの解像度  $r$  は式(5)によって算出される。

## 7 実証実験

提案手法のプロトタイプシステムを実装し, 実証実験を実施した。現状, スタジアムでのドローン撮影が困難であるため, 図 8 に示すスタジアム模型を用意し, ドローンの代わりに腹腔鏡「OLYMPUS LTF-S190-5」を用いて撮影した。腹腔鏡を動かしながらスタジアム模型の動画を撮影し, 動画から毎秒 10 枚の画像を等時間間隔で切り出したものを多視点画像とした。多視点画像に SfM を適用することで, 被写体の 3次元形状(3次元点群)を復元し, それらにメッシュを張ることにより, 図 2 に示す 3次元モデルを生成した。

生成した 3次元モデルを Unity で構築したインタフェースにインポートし, VR 空間を構築した。次に, インタフェースの入力として各要件を指定した。撮影要件として, 撮影範囲の対角に位置する 2 点を xz 座標で指定し, 目標の空間分解能を数値で指定した。観察要件として, 観察視点の移動範囲と観測角度(俯角/輻輳角)を指定した。図 9 に示すように, 1 台目のカメラを配置する位置を決めると, そこから観察視点移動範囲の間に収まるように左右に拡大しながら等間隔にカメラが配置される。図 10 に示す入力欄に各要件と保有カメラ台数を入力すると, カメラのパラメータ(カメラの位置と姿勢)が自動計算され, 3次元モデル上に図 11 に示すようにカメラアイコンとして出力される。フィールド上の黄色の点が撮影地点を, 青線で囲まれた領域が撮影範囲を, カメラアイコンが各カメラの位置を示している。図 12 に, 配置したバーチャルカメラで撮影した映像を示す。

このように, 入力された要件に基づいてカメラの配置を可視化することで, 事前に設置の段取りや手順を検討することが可能となり, 大規模空間における多視点カメラの配置決定にかかる労力や時間を削減することが可能となる。



図8 実験で使用したスタジアム模型

Fig.8 Stadium miniature model.

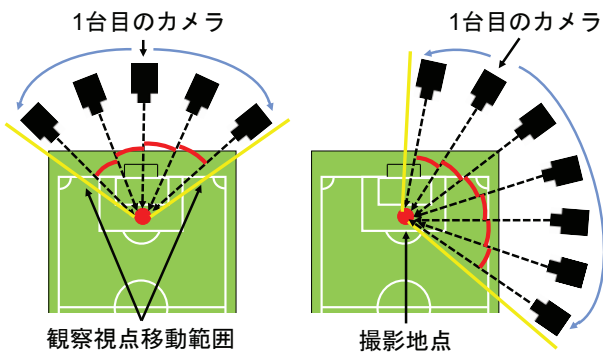


図9 カメラ配置手順

Fig.9 Camera arrangement order.



図10 入力欄

Fig.10 Input window.



図11 カメラ配置出力

Fig.11 Camera layout output.

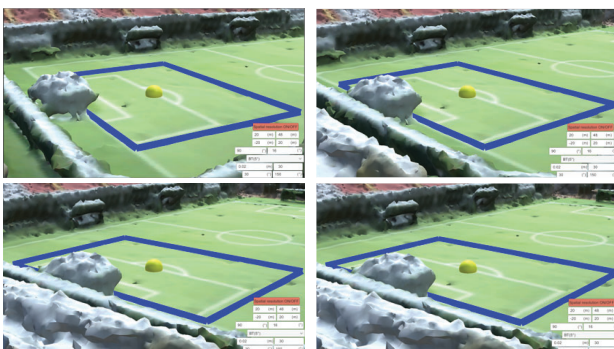


図12 多視点カメラからの見え方 (視点切替)

Fig.12 View from multi-view camera (Switching viewpoint).

## 8 おわりに

本研究ではスポーツスタジアムのような大規模空間における多視点カメラの配置計画を支援するためのVRイ

ンタフェースを提案した。撮影シーンの3次元空間情報を得るために多視点画像からスタジアム模型の3次元モデルを生成し、Unityで構築したVRインタフェースにインポートした。インタフェースは撮影要件と観察要件を入力として、それを満たすカメラパラメータを自動的に算出し、その結果(カメラ配置)を生成した3次元モデル上に提示することを確認した。本手法を用いることで、多視点カメラ配置の決定にかかる労力と時間の削減を期待できる。

本研究は科研費(17H01772)の助成によるものである。

## 参考文献

- [1] 渡邊哲哉, 北原格, 亀田能成, 大田友一: 正確で直感的なカメラ操作を可能とする両手を用いた自由視点映像撮影インタフェース; 電子情報通信学会論文誌 D, vol(J95-D), 687-696 (2012)
- [2] Jean-Yves Guillemaut, Adrian Hilton: Joint Multi-Layer Segmentation and Reconstruction for Free-Viewpoint Video Applications; International Journal of Computer Vision, vol(93), 73-100 (2012.3)
- [3] Lei Zhenhan, Shimizu Shunta, Ota Natsuka, Ito Yuji, Zhang Yuesong: Construction of Urban Design Support System using Cloud Computing Type Virtual Reality and Case Study; International Review for Spatial Planning and Sustainable Development, vol(5), 15-28 (2017)
- [4] Changmok Choi, Jungsik Kim, Hyonyung Han, Bummo Ahn, Jung Kim: Graphic and haptic modeling of the oesophagus for VR-Based medical simulation; International Journal of Medical Robotics Computer Assisted Surgery, vol(5), 257-266 (2009)
- [5] Takano et al : Scenery simulation using VR About Display; 3D Video Forum, vol(8), 48-54 (1994)
- [6] S. Xu, P. Song, G.G. Chua, C.L. Chin, Z. Huang, S. Rahardja: Tennis space: An interactive and immersive environment for tennis simulation; Proceedings of the 5th International Conference on Image and Graphics, Xi'an, China (2009)
- [7] 鈴木啓太, 宍戸英彦, 亀田能成, 北原格: サッカー自由視点映像を対象としたカメラワーク検討のためのインタフェース; 情報処理学会全国大会講演論文集, 45-46 (2018)
- [8] R. J. You, B. C. Lin: A quality prediction method for building model reconstruction using lidar data and topographic maps; IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol(49), 3471-3480 (2011)
- [9] R.Lange, P.Seits: A Solid stste time-of flight range camera; IEEE Journal Quantum Electronics, vol(37), 390 (2001)
- [10] Carlo Tomasi, Takeo Kanade: Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method; International Journal of Computer Vision, vol(9), 137-154 (1992)