

Xth Person View : 多人称視点を連続的に閲覧可能な観察システム

志村 直樹[†] 宍戸 英彦[‡] 亀田 能成[‡] 鈴木 健嗣[§] 北原 格[‡]

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

[‡] 筑波大学 計算科学研究センター

[§] 筑波大学 システム情報系

[†] [‡] [§] 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] s1620791@u.tsukuba.ac.jp, [‡] shishido@ccs.tsukuba.ac.jp,

[‡] [§] {kameda, kenji, kihataru}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本稿では、多視点映像技術により人物や物体と言った多様な人称視点からの観察を可能とする Xth Person View について述べる。シーンの外側から内側を撮影した Outside-In 映像と内側から外側を撮影した Inside-Out 映像を適切に切り替えることによって、様々な視点からの観察を実現する。Outside-In 映像は Bullet-Time 映像を、Inside-Out 映像はパノラマ映像を用いて生成提示することで、多様な視点からの見え方の閲覧を可能とする。二つの映像の切り替え時には、仮想視点がカメラ間を移動したような映像を疑似的に生成・内挿することによって、連続的な映像閲覧を可能とする。提案手法を実装したシステムを用いた定量および定性評価実験を実施し、提案手法の有効性の評価を行う。

キーワード 多人称視点映像, Outside-In 撮影, Inside-Out 撮影, 多視点カメラ, 全方位カメラ, 視点遷移映像

1. はじめに

複数台のカメラで同一シーンを撮影した多視点映像は、様々な方向からの見え方が記録されているため、3次元物体の詳細な観察に適している[1]。Bullet-Time 映像[1][2]は、被写体の周囲を取り囲むように設置したカメラで撮影した多視点映像を、カメラ配置に従って切り替えながら提示する映像提示手法である。視点移動感の再現が可能であることから、映画やプロモーションビデオなどでの利用が進んでいる[3][4]。多面的な観察に優れているが、被写体の周囲に設置したカメラで撮影 (Outside-In 撮影) した映像の閲覧は、撮影空間内部に没入した見え方の再現は困難である。一方、撮影空間内部に設置した全方位カメラで撮影 (Inside-Out 撮影) すれば、没入視点からの見え方を観察することが可能となる。また、被写体を至近距離から撮影するため、被写体の細部まで観察することができる。しかし、単一視点で撮影するため、視点移動を伴う多面的な観測は困難である。

本研究では、図1に示すように撮影空間の周囲と内部に配置したカメラで撮影した映像を適切に切り替えながら提示することにより、Outside-In/Inside-Out 映像の長所を兼ね備えた映像提示方式「Xth Person View」を提案する。また、本システムによる撮影映像の空間解像度を検証する定量評価と、システム使用者の観察作業時の心理負荷評価を評価する定性評価により、本システムの有効性を検証する。

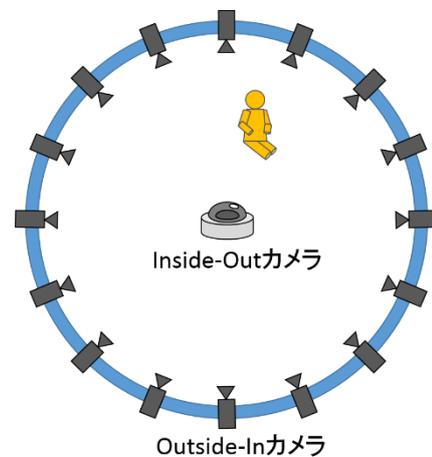


図1. カメラ配置の一例

2. 関連研究

暦本ら[5]は、テレプレゼンスシステムにおいて、特定の一人称視点映像のみを利用するだけではなく、別のカメラで撮影した三人称視点からの映像も使用する JackIn Space を提案している。従来の一人称視点のみを利用するテレプレゼンスシステムでは、遠隔地の環境把握が困難であるといった問題が存在するが、三人称視点映像も利用することで、遠隔地の現場周囲を見渡すことができる。また別の視点からの映像に切り替える際、空間的な位置把握を支援するため、視点遷移映像を生成している。この視点遷移映像は、作業者に

取り付けた広角カメラと、遠隔環境に取り付けた複数のデプスセンサを用いることで生成している。

本研究でも、被写体の周囲に設置したカメラで Outside-In 撮影した映像で撮影空間の全体像を把握するのに加え、撮影空間内部に設置した全方位カメラで Inside-Out 撮影した映像を用いることで、詳細な被写体の観察を可能とする。一方で、Outside-In 撮影と Inside-Out 撮影では、各カメラの撮影方向が大きく異なるため、それらの映像を単純に切り替える場合、図 2 に示すように、撮影空間の相対的な位置関係が把握しにくくなるのが懸念される。撮影対象空間の 3 次元形状が既知であれば、自由視点映像技術[6][7]を用いることで Outside-In 撮影と Inside-Out 撮影の中間の見え方を再現することが可能であるが、動的なシーンの 3 次元情報を実時間で復元するためには膨大な計算コストが必要となる。Tsuda らは、あらかじめ生成しておいた撮影空間の静的な物体の 3 次元モデルを用いて、異なる地点で撮影した多視点映像の間を滑らかに遷移する映像生成提示手法を提案している[8]。本方式でも壁や床面などの静止領域の 3 次元形状を用いて視点遷移映像を生成することにより、Outside-In 撮影映像と Inside-Out 撮影映像の見え方を滑らかに補間し、撮影空間の位置関係の把握を支援する。

3. 提案手法

提案手法の流れを図 3 に示す。Outside-In 撮影は、被写体の周囲を取り囲むように設置した n 台のカメラによって、撮影空間の外側から内側に向かって撮影する。また Inside-Out 撮影は、撮影空間内部に設置した m 台のカメラによって、撮影空間内部から外側に向か



図 2. 撮影距離の異なる 2 台のカメラで撮影した映像の切り替え

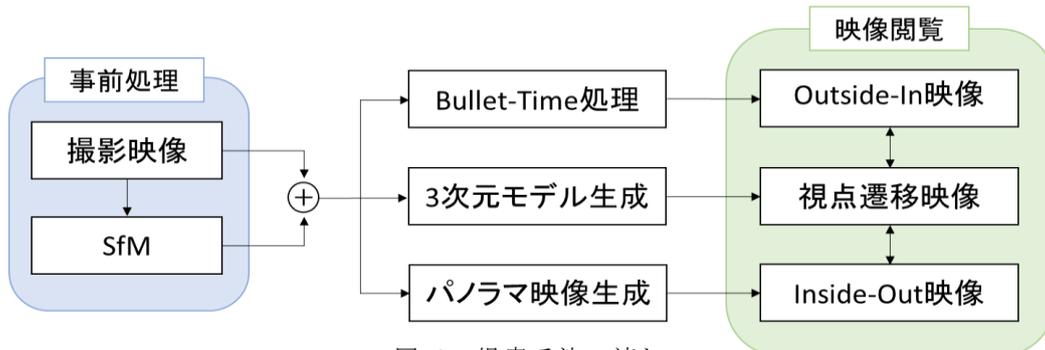


図 3. 提案手法の流れ

って撮影する。これらの多視点映像に Structure from motion (SfM) を適用しカメラキャリブレーションを行い、全てのカメラの内部・外部パラメータを推定する[9][10]。

Outside-In 映像は、Bullet-Time 映像を用いて閲覧映像を生成する。Bullet-Time 手法を用いることで、注目物体の周囲を移動したような視覚効果を再現する。明智らが提案する拡張バレットタイム映像を適用することにより、3次元空間中の任意の箇所に注目物体を設定することが可能である[2]。Inside-Out 映像は、パノラマ映像を用いて閲覧する。本システムでは、m 台の Inside-Out カメラ映像から 1 枚のパノラマ映像を用いて、撮影空間内部から周囲を見渡したような閲覧映像を生成する。

本手法では Outside-In 映像と Inside-Out 映像を用いて多様な視点からの観察映像を生成提示するが、これらのカメラは撮影方向が大きく異なるため、Outside-In カメラ映像から Inside-Out カメラ映像に視点を切り替えると、カメラの相対的な位置関係が把握しづらくなる問題点が発生する。そこで、これらのカメラの間を視点が疑似的に移動したような視点遷移映像を生成する。視点遷移映像は、算出したカメラパラメータを用いて、撮影空間の大まかな 3 次元モデルを生成し、そこに撮影映像を投影することで生成する。この視点遷移映像を用いることで、Outside-In 映像と Inside-Out 映像の連続的な閲覧が実現される。

4. 多視点映像撮影・カメラキャリブレーション

本手法では、Outside-In 撮影と Inside-Out 撮影の 2 種類の映像を撮影する。Outside-In カメラは n 台のカメラで構成される。カメラは、n 枚のパネルに固定され被写体周囲に設置する。パネルとカメラの台数を増減することにより、撮影対象空間の大きさを変更することが出来る。パネルを用いた撮影装置を用いることで、パネルをつなぎ合わせる簡単な組み立て作業によって Outside-In 撮影が可能となる。Inside-Out カメラは、m 台のカメラから構成される。それらを図 4 に示すリグに固定して Outside-In カメラとほぼ同じ高さに設置す

る。高さを揃えることにより、Outside-In カメラと Inside-Out カメラの両方の映像に映る共通領域を大きくし、視点移動の際にカメラの位置関係を把握しやすくする。

これらのカメラで撮影した映像を用いて、この後の処理に必要なカメラパラメータを求める。カメラパラメータは、SfM により求める。SfM は、同一シーンを撮影した複数枚の画像間での対応点情報から、シーンの 3 次元形状と多視点カメラの位置・姿勢を同時に復元する手法である。この処理により、カメラが設置されている 3 次元位置と姿勢(カメラの光軸の向き)を推定する。

5. Outside-In 映像処理

Outside-In 映像は Bullet-Time 処理を用いて閲覧する。被写体を取り囲むように設置した Outside-In カメラで撮影した映像を、カメラ配置に応じて切り替えることで、被写体の周囲を移動しているような視覚効果を再現する。

各カメラの光軸が一点で交わっていない多視点映像を切り替えながら提示すると、画面上での注目物体



図 4. Inside-Out 撮影で用いたカメラリグ

の観測位置(注目点)が変動するため、滑らかな視点移動知覚を与えることが難しくなる。本研究では、注目点の 3 次元位置に基づいて提示映像を撮影する仮想カメラの光軸方向を再設定し(撮影映像に射影変換を施し)、注目点が画面上の同一位置で観測されるように Outside-In 映像の見え方を変換する。

変換処理に前節で述べたカメラパラメータを用いる。推定した Outside-In カメラの位置ベクトル M_{out} と注目点の位置ベクトル X から仮想カメラの光軸の方向ベクトル D は式(1)のように表せる。

$$D' = X - M_{out} \quad (1)$$

$$D = \frac{D'}{|D'|} \quad (2)$$

Outside-In カメラ映像に切り替える際には、式(1)(2)の再計算を行うことで、常に仮想カメラの光軸と注目点を一致することが可能となる。また、切り替え前後で映像の連続性を保つために、注目物体の見かけの大きさを一定にする必要がある。そこで本システムでは、切り替え前後で仮想カメラの画角の再設定を行う。切り替え前後の仮想カメラの画角を α_n 、切り替え前の仮想カメラと注目点の距離を d_n 、切り替え後の仮想カメラと注目点の距離を d_{n+1} とすると、切り替え後の仮想カメラの画角を α_{n+1} は、式(3)のように表せる。

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n \frac{d_n}{d_{n+1}} \quad (3)$$

これらの処理を施した結果画像を図 5 に示す。



図 5. Outside-In カメラの注視点設定処理(上:元画像,下:処理後画像)



図 6. パノラマ映像の一例

6. Inside-Out 映像処理

Inside-Out 映像はパノラマ映像を用いて生成する。360 度カメラを用いれば 1 台で全方位を撮影することが可能であるが空間分解能が低下するため、本システムでは、リグに固定した m 台のカメラを用いて Inside-Out 映像を撮影する。8 枚の Inside-Out カメラ映像にステッチング処理を施し 1 枚のパノラマ映像を生成する。図 6 に合成したパノラマ映像の一例を示す。

また Outside-In カメラ映像から Inside-Out カメラ映像に切り替える際には、常に注目物体を捉えつつ視点を切り替えるため、注目物体が映像中に写っている Inside-Out カメラ映像に切り替える必要がある。まず、Inside-Out カメラの重心位置から注目物体へ方向ベクトル D_X を求める。ベクトル D_X は Inside-Out カメラ群の重心の位置ベクトル M_C を用いて、式(7)のように表される。

$$D_X = X - M_C \quad (4)$$

求めた D_X と全ての Inside-Out カメラの光軸の方向ベクトルとの内積を求め、最も内積が大きくなる Inside-Out カメラを選択する。そして、選択した Inside-Out 映像に基づいて、パノラマ映像を切り出し表示する。

7. 視点遷移映像生成

Outside-In カメラ映像から Inside-Out カメラ映像に映像を切り替える際、それらの間を疑似的に視点が移動しているような視点遷移映像の生成処理について述べる。

7.1. 3次元モデル生成

視点遷移映像生成には静止領域の 3 次元モデルが必要である。図 7 に示す撮影空間を例に 3 次元モデルの生成処理について説明する。この場合、Outside-In カメラは、パネルの所定位置に固定されている。SfM で推定したカメラパラメータから、壁・床・パネルの 3 次元モデルを生成する。床は平面形状とし、Outside-In カメラの高さから規定値だけ下方に設置する。壁の 3 次元形状は、Outside-In カメラの光軸が交わる点を中心とし床面に直立する円筒とする。パネルは、Outside-In カメラの位置姿勢に基づいて規定サイズの直方体を配置する。推定した 3 次元形状に投影テクス



図 7. 撮影空間

チャマッピングを用いて多視点映像を貼り付ける [12].

7.2. 仮想カメラ

7.1. で生成した 3 次元空間において、Outside-In カメラと Inside-Out カメラの間で仮想カメラを移動させることにより視点遷移映像を生成する。仮想カメラの位置ベクトル M は、Inside-Out カメラの位置ベクトル M_{in} と、Outside-In カメラの位置ベクトル M_{out} を用いて式 (1) で表される。

$$M = kM_{in} + (1 - k)M_{out} \quad (5)$$

$$0 \leq k \leq 1$$

仮想カメラの光軸の方向ベクトル D は、注目物体の位置ベクトル X と仮想カメラの位置ベクトル M を用いて、式(3)で表される。

$$D' = X - M \quad (6)$$

$$D = \frac{D'}{|D'|} \quad (7)$$

式(3)(4)によって仮想カメラの光軸の方向ベクトル D を常に注目物体に向けることで、図 8 に示すように注目物体を捉えつつ Outside-In カメラ映像から Inside-Out カメラ映像に視点を切り替える。

7.3. 映像のブレンディング処理

視点移動映像では、切り替え前後の Inside-Out カメラと Outside-In カメラから得られる 2 台のカメラ映像

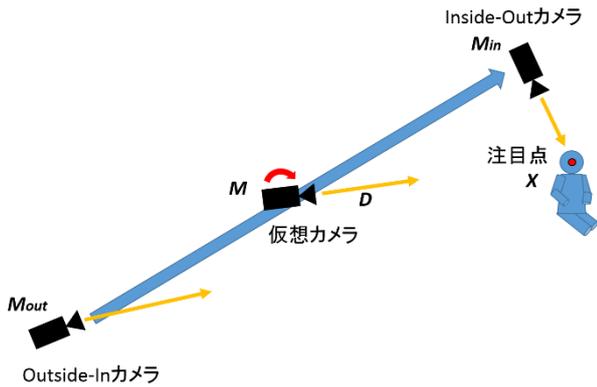


図 8. 仮想カメラの動き

を 3 次元モデルに投影し、提示映像を生成する．2 台のカメラ映像を用いるため、カメラのキャリブレーションの誤差や被写体を近似した 3 次元モデルを使用している等の理由により、二つのテクスチャがずれた映像が生成されることがある．そこで、二つのテクスチャのブレンド比率を調整することにより、ずれによる違和感を軽減する．投影するテクスチャのブレンド比率を、仮想カメラの位置によって決定することにより、テクスチャのずれによる違和感を失くしつつ、自然な映像切り替えを実現する．処理結果の一例を図 9 に示す．

8. パイロットシステムの構築

提案手法を実装したパイロットシステムについて述べる．撮影は 710[cm]×760[cm]の室内空間で行った．映像処理に使用した計算機は、CPU : Intel Core i7 3.40GHz, GPU : NVIDIA GeForce GTX 550 Ti, メモリ : 8.00GB RAM を搭載したデスクトップ PC である．Outside-In カメラ・Inside-Out カメラには、無線同期撮影が可能な GoPro 社の GoPro HERO4 ブラック edition をそれぞれ 17 台(Outside-In)・8 台(Inside-Out)を使用し、4K 解像

度 (3840[pixel]×2160[pixel])、毎秒 30 枚、水平画角 122.6°、垂直画角 94.4° で撮影した．Outside-In カメラは撮影シーンを取り囲むよう円形に配置し、幼児用ゲージのパネルの所定位置に固定する．Inside-Out カメラは撮影空間内部に Outside-In カメラと同じ高さとなるようリグに固定した．また、撮影した 8 枚の Inside-Out 映像からパノラマ映像生成を行うソフトとして Kolor 社の Autopano Giga を用いた[11]．

SfM カメラキャリブレーションには VisualSfM[13]を用いた．処理に要した時間は、カメラキャリブレーションに 82 秒、揭示処理の時間は初期設定時に 8 秒ほどかかるが、それ以降の閲覧開始後の処理は、ビデオレートで実行可能である．

9. 評価実験

本節では、本システムの閲覧映像の空間解像度を検証する定量評価と、観察作業時の心理負荷の評価を行うため NASA-TLX を使った定性評価について紹介する．本実験では、二人の人物が向かい合って座っている様子を撮影した撮影映像の視野領域と空間解像度を計算する．また、本システムを用いた撮影空間の観察作業を実施し、NASA-TLX によってユーザビリティに関する評価を行う．

9.1. 定量評価

提案手法の特長の一つは被写体の詳細な観察を可能とすることである．本システムによって映像中で観察される被写体の空間解像度を可視化したマップを用いて、提案手法の有効性を検証する．

9.1.1. 評価方法

実験環境について述べる．図 10 に示すように二人の人物が向かい合って座っている様子を 8 節で紹介したシステムを用いて撮影する．撮影した多視点映像に SfM を適用しカメラパラメータの推定を行う．推定さ



図 9. Outside-In カメラから Inside-Out カメラへの視点遷移映像



図 10. 撮影環境

れたパラメータに基づき撮影空間の床，パネル，人物の大まかな3次元モデルを生成する．このとき，生成した3次元モデルは微細なパッチに分化する．各パッチに対して，閲覧映像中で観察される空間解像度を計算し，パッチの輝度情報とする．ここでの空間分解能とは，映像中の1画素が捉えている空間中の大きさと定義する．カメラからモデルまでの撮影距離を d ，カメラの画角を α ，画像の解像度を p としたとき，空間分解能 r は以下の式で表される．

$$r = d \tan \theta \quad (8)$$

$$\theta = \frac{\alpha}{p} \quad (9)$$

本実験では撮影カメラとして GoPro HERO4 Black edition を使用する．解像度は 3840×2160 [pix]，画角は水平画角 118.2° ，垂直画角 69.5° である．空間分解能は，全てのカメラにおける空間解像度の中で最も小さい（最も分解能の高い）値を採用する．この処理を Inside-Out カメラありの場合と Inside-Out カメラなしの場合と比較を行うことで，空間分解能の変化を検証する．Inside-Out カメラを撮影空間の中心に設置することで，カメラと人物との撮影距離が短くなるため，主に人物の正面領域の空間分解能が向上することが期待される．

9.1.2. 結果

空間分解能の可視マップ化についての実行結果と考察について述べる．図 11 上段が Inside-Out カメラを設置した場合，図 11 下段が Inside-Out カメラを設置しなかった場合の結果である．Inside-Out カメラを設置した場合，設置しなかった場合に比べ，白い領域つまり空間分解能が高い領域が増加している．特に，Inside-Out カメラを用いて表情や視線といった細部の観察を行いたい人物の正面領域で効果が顕著に表れている．

9.2. 定性評価

本システムを用いた観察作業において，観察者の心的負荷を含めたユーザビリティテストを行うため，人

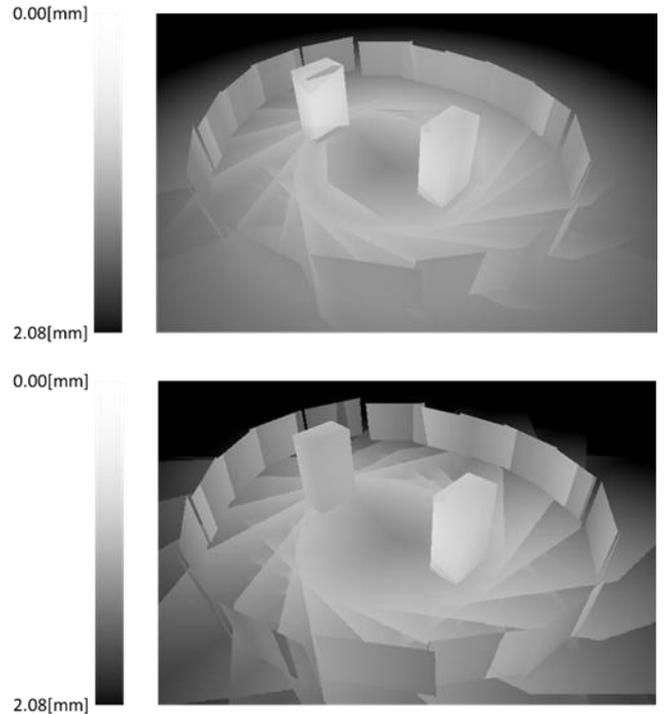


図 11. 空間解像度マップ（上：Inside-Out カメラあり，下：Inside-Out カメラなし）

間工学分野で広く用いられる NASA-TLX を用いた定性評価を実施する．

9.2.1. NASA-TLX

NASA-TLX[14]は，ある作業を被験者に行ってもらい，この作業に対して質問を行うことで，被験者の作業における Mental Demand (MD), Physical Demand (PD), Temporal Demand (TD), Effort (EF), Frustration (FR), Own Performance (OP)の6つの心的負荷の尺度をスコアとして表示する評価手法である．また Mean Weighted Workload Score (WWL)は，各尺度の点数に一对比較による重みを乗じて平均したものである．本実験では，正面と背面に図 10 に示すような絵を貼った二人の人物が向かい合って座っている映像を用いた観察作業を，本システムを使って行ってもらい．観察作業は2回実施し，1回目は Inside-Out カメラを設置した状況，2回目は Inside-Out カメラを設置しない状況で行い，それぞれの観察作業終了後に NASA-TLX テストを行い，本システムが観察者に与える心的負担を検証する．

9.2.2. 評価方法

本実験では，提案システムを用いて事前に撮影した映像の観察作業を行う．映像定時に用いたディスプレイは，解像度 2560 画素 \times 1440 画素，画素ピッチ 0.233 mm \times 0.233 mm の EIZO 社 EV2736W である．また，提示映像は 1728 画素 \times 972 画素でディスプレイに表示される．撮影環境中には図 10 に示すように撮影空間内部に二人の人物が向かい合って座っている．また人物



図 12. E チャート

の正面と背面に図 12 に示す E チャート図形が五つ描かれた紙を貼る．五つの図形の大きさはそれぞれ 4, 3, 2, 1, 0.5 cm である．被験者には、これらの紙に描かれている図形の穴の開いた方向を読み取る作業を行ってもらう．実験者 1 人当たり、練習を 1 回行った後、Inside-Out 映像を設置した場合と設置しなかった場合の 2 回の観察作業を行う．順序効果を考慮して、Inside-Out 映像を設置した場合と設置しなかった場合の順番は、被験者毎で無作為に決定する．映像観察作業を一つ終えるごとに NASA-TLX によるアンケートを実施する．

9.2.3. 結果

本システムを用いた文字読み取り作業の正答率と、NASA-TLX による心的負担推定の結果について述べる．

図 13 は文字読み取り作業の正答率である．Inside-Out カメラを設置した場合の方が、人物正面の読み取り正答率が高いことがわかる．これは、7.1 で述べたように空間分解能が、人物正面領域で向上したためであると考えられる．また、Inside-Out カメラを設置しなかった場合、平均正答数が 3.18 であった．ここで観察者の目からディスプレイまでの距離を 600[mm]、図形のディスプレイ上での大きさを s とすると、図形の視角 v は以下の式で求められる．

$$v = \arctan \frac{s}{600} \quad (10)$$

式(10)を用いると、視角は 2cm の図形の時 0.156° 、1cm の図形の時 0.067° となる．また、ディスプレイ上では 2cm の図形は 7[pix] (1.631[mm])、1cm の図形は 3[pix] (0.699[mm]) であり、映像の解像度でも Outside-In カメラのみの場合では限界がある．一方、Inside-Out カメラを設置した場合、人物正面の図形読み取り作業の正答率が満点に近い値となっており、Inside-Out カメラを設置し、近い距離から撮影することで、Outside-In カメラでは見えなかった細部まで観察が可能となっていることがわかる．人物背面の図形読み取り作業ではあまり差が出ていないが、これは Inside-Out カメラを設置した場合でも、Outside-In カメラ映像を用いて

文字読み取り作業を行っていたからである．

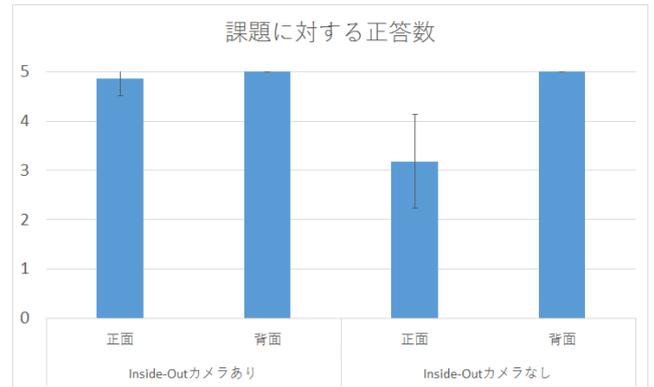


図 13. 課題の正答率

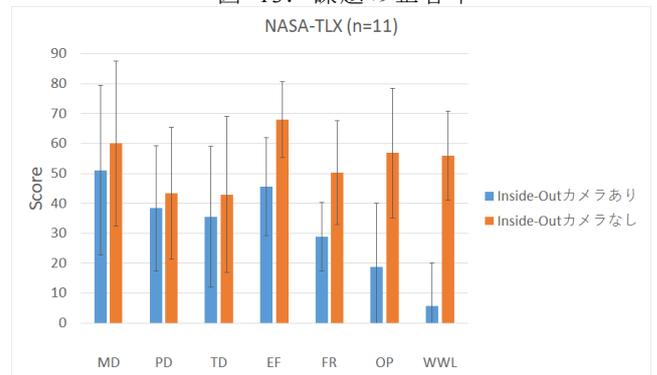


図 14. NASA-TLX

図 14 は NASA-TLX の結果である．総合的な評価指標である WWL が Inside-Out カメラを設置した方がよい結果となった．また、EF, FR, 特に OP で顕著な差が見られた．Inside-Out カメラありのとき、EF が良い結果となった原因として、Inside-Out 映像なしの場合、文字を読み取るために様々なカメラ映像に切り替えながら最もよく見えるカメラ映像に切り替える必要があるからだと考えられる．FR は Outside-In カメラのみの観察作業では、文字が見えないためストレスに感じたことが原因だと考えられる．また、OP で顕著に差が表れたのは、Inside-Out カメラ映像を設置した場合、ほぼすべての文字を読み取ることができたため、作業の達成感を感じることができたことが原因だと考えられる．これより、本システムを用いて観察作業を行うことで、心的負荷を少なくすることが確認できる．

10. おわりに

本研究では、Outside-In カメラ映像に加え、Inside-Out カメラ映像を用いることにより、双方の長所を兼ね備えた映像閲覧システムについて提案した．従来の Outside-In 映像のみでは観察できないような、撮影空間内部からの映像を撮影することによって、より詳細な観察を可能とした．提案システムの有効性を検証するため、空間分解能マップに基づく定量評価を行った．

また、NASA-TLX を用いて本システムの定性評価を実施した。

文 献

- [1] 富山 仁博, 岩館 祐一, “多視点ハイビジョン映像生成システムの開発,” 映像情報メディア学会誌, vol. 64, No. 4, pp.622-628, 2010
- [2] N. Akechi, I. Kitahara, R. Sakamoto, Y. Ohta, “Multi-resolution bullet-time effect,” ACMSIGGRAPH-Asia, December.2014.
- [3] <http://timeslicefilms.com/>
- [4] <http://tvtropes.org/pmwiki/pmwiki.php/Main/BulletTime>
- [5] R. Komiya, T. Miyaki, J. Rekimoto, “JackIn space: designing a seamless transition between first and third person view for effective telepresence collaborations” Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference. Article No. 14, 2017.
- [6] T. Kanade, P. Rander, P. J. Narayanan, “Virtualized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scene,” IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.34-47, 1997.
- [7] L. McMillan and G. Bishop, “Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System ,” Proc. SIGGRAPH 1995, pp.39-46, 1995
- [8] T. Tsuda, I. Kitahara, Y. Kameda, Y. Ohta, “Smooth Video Hopping for Surveillance Cameras,” The 33rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2006) Sketches Article No. 129, 2006
- [9] C. Wu, “Towards Linear-time Incremental Structure from Motion,” 3DV, 2013
- [10] C. Wu, S. Agarwal, B. Curless, S. Seitz, “Multicore Bundle Adjustment,” CVPR, 2011
- [11] AutoPano, Alexandre Jenny:
<http://www.kolor.com/autopano/>
- [12] M. Segal, C. Korobkin, R. van. Widenfelt, J. Foran, P. Haerberli, “Fast Shadow and Lighting Effects Using Texture Mapping,” Proceedings of SIGGRAPH’92, pp.249-252, 1992
- [13] VisualSFM , C. Wu:
<http://ccwu.me/vsfm/>
- [14] S.G. Hart, L.E. Staveland, ” Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research,” Human Mental Workload, Elsevier Science Publishers B.V. , pp.139-183, 1988