

# ドーム型スクリーンに投影した広視野画像の印象評価

鈴木 昭二<sup>\*1</sup>

Evaluation of Acquired Images by zeta-vision Projected on a Dome Screen

Sho'ji Suzuki<sup>\*1</sup>

**Abstract** – This paper describes evaluation of acquired images by our vision system, Extra Wide-Vision System called zeta-vision. Our system consists of two cameras and acquires an image with wide field of view by blending images from these cameras. The acquired image can be projected on a dome screen with reducing distortion in the image. We tried to reveal a characteristics of the image of our vision system by comparing with images from a wide camera and a fisheys camera. In addition, we compared projection on a dome screen and display on a flat screen to evaluate an effect of the projection on the dome screen.

**Keywords** : wide image, zeta-vision, dome screen

## 1. はじめに

曲面のスクリーンを用いた映像提示においては、人間の視野範囲をスクリーンで覆うことで映像に対する没入感や臨場感を高めており、正面だけでなく背面を含めた周囲 360°を覆うスクリーンも利用されている<sup>[1][2]</sup>。大型のものとしてはプラネタリウムを活用する事例があり、尾久土らは魚眼レンズを取り付けた 4K カメラで撮影した遠隔地の映像を高い臨場感で提示している<sup>[2]</sup>。この他にも、点検作業の訓練<sup>[3]</sup>や移動ロボットの遠隔操作<sup>[4]</sup>を対象とし、人間の前方の視野範囲を覆うことのできる比較的小型の曲面スクリーンを用い、広視野の映像を提示して作業に必要な情報を提供する取り組みがある。

曲面スクリーンへの投影時には、スクリーン形状に合わせて映像を変形し投影後に不自然に見えないよう処理を行う場合が多いが、尾久土らはカメラとプロジェクタに魚眼レンズを採用することで変換なしの投影を実現している。筆者らは、広視野の映像を取得するコンパクトな装置として合成超広角画像システムを開発し<sup>[5]</sup>、取得した映像がそのままドームスクリーンに投影できることを確かめた<sup>[6]</sup>。その上で、ノート PC のモニタ程度の大きさのドームスクリーンを用いて提示を行うこととし、観光 PR 用映像の取得と提示を試みた。また、提案した画像システムの応用として、水産業における養殖環境のモニタリング<sup>[7]</sup>、移動ロボットの遠隔操作<sup>[8]</sup>、ドライブレコーダー<sup>[9]</sup>など広視野の映像が役立つ利用方法を提案してきた。

しかしながら、これまでの取り組みでは合成超広角

画像システムで取得した映像の評価や小型のドームスクリーンによる映像提示の効果に対する評価が十分ではなかった。そこで本稿では、合成超広角画像システムによる取得映像の特徴を明らかにすることを目指し、他の広視野映像との比較を通じた評価および平面モニタと比較したドームスクリーンによる映像提示の評価に取り組む。

## 2. 合成超広角画像システムの概要

### 2.1 基本原理

合成超広角画像システム (Synthesized Extra-Wide Vision System: zeta-vision)<sup>[5]</sup>の構成を図 1 に示す。システムは広角カメラと全方位カメラおよび合成処理装置により構成され、2つのカメラは図に示すように光軸を一致させて背中合わせに配置されて組み合わせられる。2つのカメラからの映像は図 2 に示す合成処理により、全方位カメラの映像の中央部分に広角カメラの映像を縮小して重ねることで1枚の広視野映像が合成される。得られる映像の画角は組み合わせる全方位カメラの画角にも依存するが、水平方向に 200 度程度、垂直方向に 180 度程度となる。

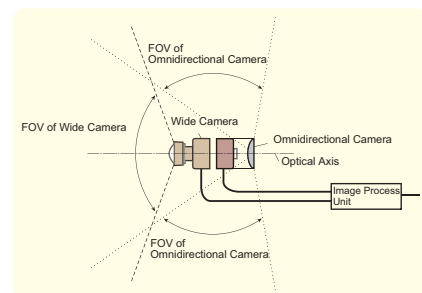


図 1 合成超広角画像システムの構成  
Fig. 1 Configuration of zeta-vision

<sup>\*1</sup>: 公立はこだて未来大学

<sup>\*1</sup>: Future University Hakodate

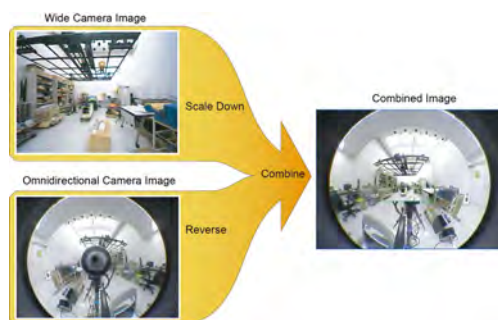


図 2 合成処理

Fig. 2 Image processing of zeta-vision

## 2.2 試作システム

試作した合成超広角画像システム (以下 zeta-vision) のカメラ部分を図 3(a) に示す。SENTECH のボードカメラ STC-N63CS に日東化学の画角 125 度の低歪広角レンズ SY125M を組み合わせて広角カメラとし、同じ型のボードカメラに V-Stone の全方位レンズ VS-C450MR-TK を組み合わせて全方位カメラを構成した。各カメラからの映像は NTSC 信号であり、これらを FPGA 上で合成し NTSC の映像信号として出力し画角 190 度程度の合成映像を得る。試作したシステムを自転車に搭載し取得した映像の例を図 4(a) および図 5(a) に示す。

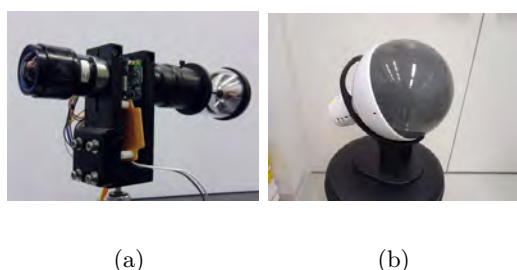


図 3 試作システムとスクリーン

Fig. 3 Prototype of zeta-vision and screen

zeta-vision の取得映像は双曲面ミラーからの反射の投影として近似でき、双曲面ミラーの形状は半球で近似できると考えられる。したがって、取得した映像をドームスクリーンに投影することで双曲面ミラー上の像の歪みが補正され自然な映像として提示できると考えられる [6]。

小型のドームスクリーンとして図 3(b) に示す学研 WorldEye を用いた。ドームの直径は 250mm であり、640 x 480 の映像を投影できる。これを用いた映像の投影例を図 4 および図 5 に示す。いずれの図も (a) が zeta-vision により取得した映像であり、これをドームスクリーンに投影してスクリーンの左方、正面、右方から見たものがそれぞれ図の (b)(c)(d) である。ドーム

ムスクリーン上に投影した映像は見る方向が変わると印象が大きく異なることが確認できる。

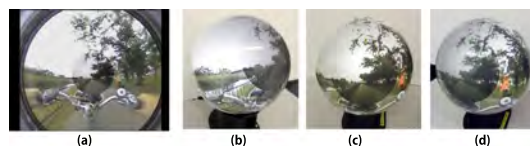


図 4 取得映像とドーム投影の例 (1)

Fig. 4 Example of an acquired image and its projection on dome screen(1)

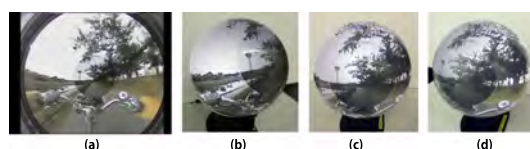


図 5 取得映像とドーム投影の例 (2)

Fig. 5 Example of an acquired image and its projection on dome screen(2)

## 3. 広視野映像の比較評価

### 3.1 評価の概要

zeta-vision による取得映像の特徴を明らかにするために他の広視野画像との比較を行う。比較対象は広角カメラ、魚眼カメラおよび zeta-vision による取得映像の 3 種類とし、ここではそれぞれ広角映像、魚眼映像、zeta-vision 映像と呼ぶ。また、zeta-vision 映像を球面に投影することで映像の歪みが補正されることを確認するために、平面モニタへの投影とドームスクリーンへの投影を比較する。

### 3.2 評価用映像の取得

#### 3.2.1 撮影機材

広角カメラの映像は zeta-vision における合成前の映像を利用し、画角 125 度の広角レンズを取り付けた NTSC カメラからの映像として取得した。魚眼映像は Watec の NTSC カメラ WAT-232 にフジノンの画角 185 度の魚眼レンズ FE185C046HA-1 を取り付けて構成した魚眼カメラにより取得した。

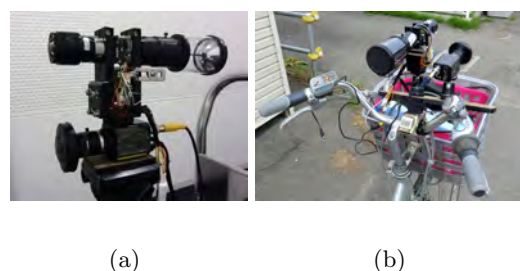


図 6 評価映像撮影用カメラ

Fig. 6 Cameras for image acquisition

比較する映像は同一地点・同一時刻において撮影したものが望ましいことから、3種類の映像を同時に取得できるよう zeta-vision と魚眼カメラを図 6 に示すように組み合わせて用いることとした。図 6(a) は、2 台のカメラを上下に配置して一脚に固定しており、撮影者はこれを持って徒歩で移動しながらビデオに記録する。図 6(b) は、2 台のカメラを並べて自転車のハンドルに固定し、自転車で移動しながら撮影できるようにしたものである。

### 3.2.2 屋内における取得

zeta-vision をロボットの遠隔操作に用いる場合、ロボットは屋内を移動する場合が多いと考えられる。そこで、評価用の屋内映像を図 7(a) に示す公立はこだて未来大学の本棟から研究棟に至る通路で取得することとし、図 6(a) のカメラを持って徒歩で移動し 30 秒程度の映像を撮影した。広角カメラ、魚眼カメラ、zeta-vision により取得した映像の一部を、それぞれ図 7(b)、図 7(c)、図 7(d) に示す。

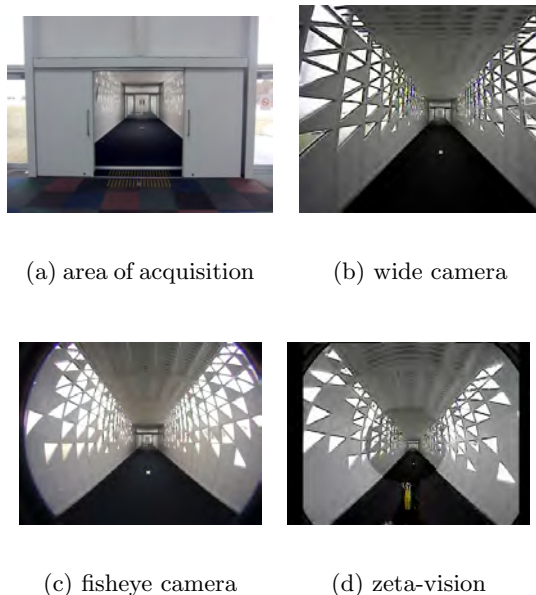


図 7 評価用屋内映像（一部）  
Fig. 7 Acquired indoor images

### 3.2.3 屋外における取得

zeta-vision による観光 PR 用映像の取得やドライブレコーダーへの応用は屋外での映像取得が必要となる。そこで、屋外の撮影場所として図 8(a) に示す五稜郭公園を選び、図 6(b) を用いて自転車で移動し撮影を行った。図中に示した五稜郭タワーから五稜郭公園の堀に沿って遊歩道を南下し 50 秒程度の映像を撮影した。広角カメラ、魚眼カメラ、zeta-vision により取得した映像の一部を、それぞれ図 8(b)、図 8(c)、図 8(d) に示す。

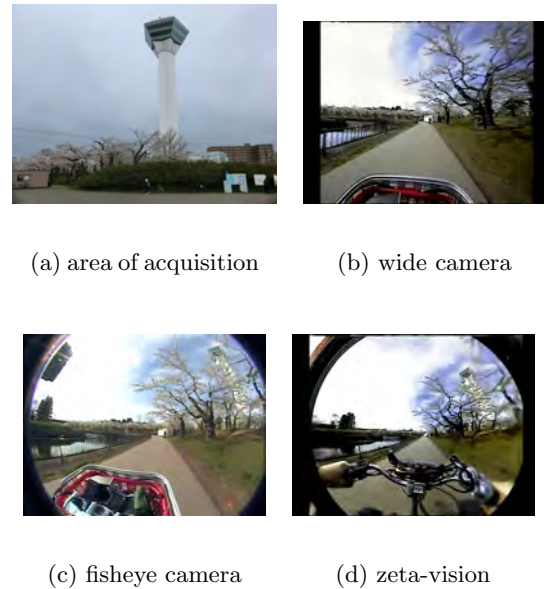


図 8 評価用屋外映像（一部）  
Fig. 8 Acquired outdoor images

## 3.3 評価実験

### 3.3.1 実験の概要

被験者を集め、図 7 および図 8 に示した映像を利用し以下の 2 つの実験により評価を行うこととした。

実験 1 異なるカメラにより取得した映像の比較

実験 2 異なる形状のモニタに提示した映像の比較

これらの実験では映像の用途を示さずに提示を行い、映像そのものの評価に集中してもらった。

被験者は公立はこだて未来大学の学生とし、屋内映像を提示するグループ I と屋外映像を提示するグループ II の 2 つのグループに分けて実験を行った。被験者はのべ 28 名で、その内訳は、グループ I が 16 名、グループ II が 12 名、重複する被験者が 10 名であった。各被験者には、実験 1 に続いて実験 2 に参加してもらった。実験の詳細を以下に述べる。

### 3.3.2 実験 1 の詳細

実験 1 は提示用モニタとして平面モニタである液晶ディスプレイを用い、提示映像として広角映像、魚眼映像および zeta-vision 映像の 3 種類を用いた。映像の提示順は以下に示す 2 パターンとし、各被験者にはいずれか一方のパターンで 3 種類の映像を順に提示し、提示後にアンケートに回答してもらった。

A 広角映像、魚眼映像、zeta-vision 映像

B 広角映像、zeta-vision 映像、魚眼映像

提示した映像に関するアンケートの設問は次の通りとした。

Q1 通常のカメラより視野が広いと思う（視野の広さ）

Q2 映像の見づらさや違和感が少ないと感じる（違和



感の少なさ)

Q3 撮影者の移動速度が速いと思う(撮影者の速度)

Q4 映像が自分の記憶している風景に類似していると思う(風景との類似性)

Q5 撮影場所がどこか特定しやすいと思う(場所のわかりやすさ)

Q1, Q2, Q3 は 1 種類の映像を見るたびに評価してもらい, Q4 と Q5 は 3 種類の映像をすべて見終わってから評価してもらった. Q2 以外の設問については, 5: 強く思う, 4: 思う, 3: どちらでもない, 2: あまり思わない, 1: 思わないの 5 段階で評価してもらい, Q2 については, 1: かなり強く感じる, 2: 強く感じる, 3: やや感じる, 4: 感じないの 4 段階で評価してもらった. さらに, Q2, Q4, Q5 に関しては自由記述で評価の理由を尋ねた.

### 3.3.3 実験 2 の詳細

実験 2 は同じ映像を異なる形状のモニタに提示し比較評価してもらった. 平面モニタとして実験 1 と同じ液晶ディスプレイを用い, 球面への投影は図 3(b) に示したドームスクリーンを利用した. 提示映像は zeta-vision 映像のみを用い, これを平面モニタ, ドームスクリーンの順に投影した後に次のアンケートに回答してもらった.

Q6 平面と球面のどちらに見づらさや違和感を強く感じるか

Q7 平面と球面のどちらが撮影場所を特定しやすいと感じるか

これらの設問に対し, 1: 平面のほうがかなり強い, 2: 平面のほうが強い, 3: どちらでもない, 4: 球面のほうが強い, 5: 球面のほうがかなり強い の 5 段階で評価してもらった. また, 自由記述で評価の理由を尋ねた.

## 4. 評価結果

### 4.1 実験 1 の評価結果

実験 1 のアンケートに対し, 提示した映像ごとに Q1 から Q5 についてそれぞれ評価の平均を求めた. まず映像の提示順の違いによる影響を調べるためにパターンごとに集計し検定を行ったところ有意差は認められなかった. そこで, 同じ撮影場所の映像を提示したグループごとに集計したところ, 屋内映像に対する評価の平均と標準偏差は図 9 に, 屋外映像に対するものは図 10 に示す通りとなった.

設問ごとに広視野映像, 魚眼映像, zeta-vision 映像の提示映像間の平均に差があるか検定したところ以下が確認できた.

- 視野の広さ (Q1) については, 屋内映像, 屋外映像とも提示映像間に有意差は認められない.
- 違和感の少なさ (Q2) については, 屋内映像, 屋

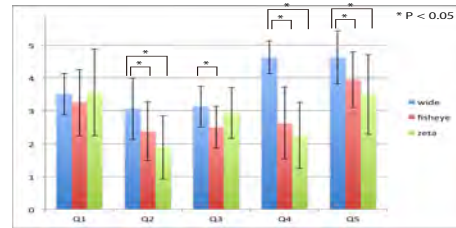


図 9 屋内映像における比較結果  
Fig. 9 Comparison in indoor images

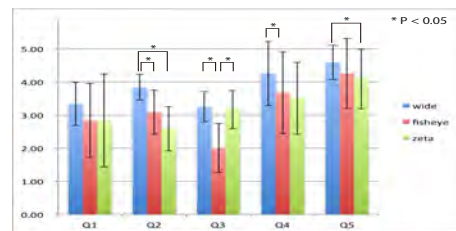


図 10 屋外映像における比較結果  
Fig. 10 Comparison in outdoor images

外映像とも広角映像が他の提示映像よりも有意に評価が高い.

- 風景の類似性 (Q4) と場所のわかりやすさ (Q5) については, 一部を除き屋内映像, 屋外映像とも広角映像が他の提示映像よりも有意に評価が高い. ただし, 屋外映像については, zeta-vision 映像に対する風景の類似性と魚眼映像に対する場所のわかりやすさに有意性差は認められなかった.
- 撮影者の速度 (Q3) を除く 4 項目について, zeta-vision 映像と魚眼映像に有意差は認められない.

以上より, zeta-vision 映像と魚眼映像が同等に評価され, 広角映像がこれらよりも高く評価される傾向のあることが確かめられた.

その一方で撮影者の移動速度 (Q3) に関しては,

- 屋内映像においては, zeta-vision 映像と魚眼映像に有意差はなく, 広角映像と魚眼映像には有意差が認められる. zeta-vision 映像と広角映像に有意差は認められなかった.
- 屋外映像においては, 広角映像, zeta-vision 映像とも魚眼映像と有意差が認められ, zeta-vision 映像と広角映像に有意差は認められなかった.

このことにより, 広角映像と zeta-vision 映像においては撮影者が同じような速度で移動していると評価され, 魚眼映像ではこれらよりも移動が遅いと評価される傾向があることが確かめられた.

提示映像ごとに, 設問ごとの屋内映像と屋外映像の回答を比較したものを図 11 に示す. ここでは, いずれの提示映像においても違和感の少なさ (Q2) に有意差が認められ, 屋外映像のほうが違和感が少ないと評価される傾向が確認された. また, 魚眼映像と zeta-

vision 映像においては、いずれも風景の類似性 (Q4) に有意差が認められ、屋内映像よりも屋外映像の方が高く評価される傾向が確かめられた。

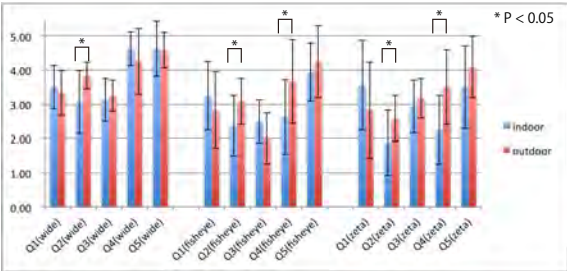


図 11 屋内屋外映像の比較  
Fig. 11 Comparison of indoor and outdoor images

自由記述に注目すると、違和感を感じる点に関するコメントが多かった。主なものを表 1 に示す。屋内、屋外を問わず、zeta-vision に対しては映像の合成部分の不連続性を指摘する意見が多く、魚眼映像に対しては映像の周辺部分の歪みを指摘する意見が多い。

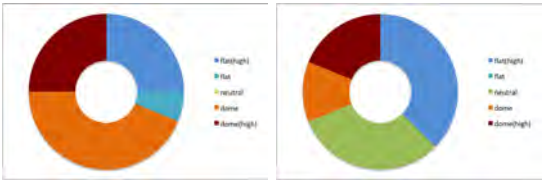
表 1 違和感を感じた点  
Table 1 Uncomfortable points in images

映像	場所	件数	内容
zeta	屋外	10	合成部分が不連続、中心部と周辺部の見え方が違う
zeta	屋内	4	画像が円形、歪んで見える
zeta	屋内	8	合成部分が不連続、中心部と周辺部の見え方が違う
魚眼	屋内	14	画像が円形、ゆがんで見える
魚眼	屋外	7	画面が丸い、端が歪んでいる
魚眼	屋外	2	遅い
広角	屋内	2	撮影者の手ぶれにより画面がゆれる
広角	屋内	4	撮影者と視線の高さが違う

4.2 実験 2 の評価結果

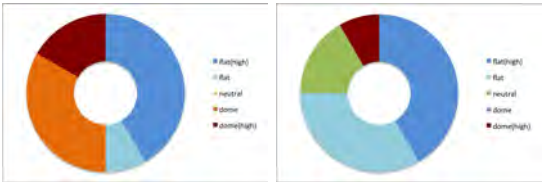
実験 2 における Q6, Q7 の回答者の構成比を円グラフで表したものを図 12 および図 13 に示す。図 12 は屋内映像、図 13 は屋外映像に対する結果であり、いずれも (a) が Q6, (b) が Q7 に対する回答である。映像の見やすさに関しては、屋内映像ではドームスクリーンのほうが見やすいという結果となったが、屋外映像に対しては差がなかった。場所のわかりやすさについては、屋内映像では差がなく、屋外映像では平面のほうがわかりやすいという回答が多い結果となった。

自由記述において目立った意見を表 2 に示す。屋内、屋外ともドームへの投影により歪みが軽減されたとする意見が一定数あるものの、屋外においてはそれ以上に周辺部分の歪みが強調されたことを指摘する意見が多かった。また、画質の粗さに対する指摘も屋外では目立った。



(a) Q6 (b) Q7

図 12 モニタの違いによる屋内映像の評価  
Fig. 12 Comparison of indoor images



(a) Q6 (b) Q7

図 13 モニタの違いによる屋外映像の評価  
Fig. 13 Comparison of outdoor images

表 2 モニタ形状に違和感を感じた点  
Table 2 Uncomfortable points in monitors

モニタ	場所	件数	内容
平面	屋内	2	見慣れた映像である
平面	屋内	4	合成部分の不連続さが目立つ
ドーム	屋内	4	歪み、違和感が緩和された
ドーム	屋内	1	画質が粗い
ドーム	屋内	1	周辺部分が見にくい
ドーム	屋内	1	立体的に見えた
ドーム	屋外	4	歪み、違和感が緩和された
ドーム	屋外	4	画質が粗い
ドーム	屋外	3	平面より速度が遅い
ドーム	屋外	6	周辺部が歪んでいる
ドーム	屋外	4	映っているものがわかりにくい

4.3 考察

4.4 映像の特徴

実験 1 において、画角の異なる 3 種類の広角映像を提示したところ、視野の広さに関する評価には差が見られなかった。これにより、広視野の映像を提示するだけならば 120 °程度の画角で取得していれば十分であることが示唆される。実験に用いた広角映像の画角が市販のアクションカメラと同等であることを考えると、画角の大きさに見合った zeta-vision の有用性を示すことが不可欠である。

映像に対して感じる違和感の強さに関しては、zeta-vision 映像は魚眼映像と同等で広角映像よりも低いと評価された。その一方で、撮影者の移動速度については、広角映像と同等で魚眼映像よりも速いと評価され

た．これらは，zeta-vision 映像が，スピード感を損なわずに広い視野をとらえたい場合に役立つことを示唆し，広角カメラでも魚眼カメラでも取得できない映像となる可能性を示している．

また，違和感を感じる点については，zeta-vision 映像については合成部分の不連続性が注目されているのに対し，魚眼映像ではレンズに起因する周辺部分の歪みが注目されており，違和感を軽減する取り組みには異なるアプローチが必要となることが明らかとなった．zeta-vision 映像における違和感は，2つのカメラの視野が交差する領域で像の途切れや重複，2つのカメラ映像のコントラストの違いなどにより引き起こされる．これらの点は映像コンテンツを取得する場合は大きな欠点であり今後改善が必要となる．しかしながら，検査などの用途において検査対象とその周辺領域とを分離して示したい場合など，むしろ不連続性を積極的に活用して注意を促す利用法も考えられる．

#### 4.5 ドームスクリーンへの投影

小型のドームスクリーンへの投影は，比較的近距離を撮影している屋内映像の場合は好意的に受け止められ，遠景を撮影した屋外映像では評価が低かった．近景の映像は平面モニタ上では歪みが大きく，その歪みがドーム上では補正が効きやすいことが影響した結果と考えられ，ロボットの遠隔操作など近景の映像取得が多い用途の場合にはドームスクリーンへの提示が役立つ可能性が示された．

遠景の映像は近景と比べるとともに歪みが小さく，むしろドーム上で強調された可能性があり，自由記述においても歪みを指摘する意見が多かった．また，映像の粗さを指摘する意見も目立ち，風景の映像であることが提示機器の性能の限界を際立たせた可能性がある．これらのことが屋外映像のドームスクリーンへの投影の評価に影響したと考えられる．その一方で，映像の歪みが低減される点に着目した意見も一定数あることから，より高画質の映像を投影し再評価する必要があると考える．

### 5. まとめ

2つのカメラ映像を合成して広視野の映像を取得する合成超広角画像システム (zeta-vision) に関して，その取得映像を他の広視野映像と比較し評価した．また，小型のドームスクリーンによる提示を行い平面モニタと比較し評価を行った．その結果，zeta-vision を活用する上で注目すべき特徴のいくつかが明らかになった．今後は合成超広角画像システムの弱点を改良するとともに，見いだされた特徴を生かした利用方法の検討を行っていきたい．

### 謝辞

評価実験の実施において多大なるご尽力をいただいた丸毛寿晃氏（現在 株式会社コンピュータネットワーク）に深く感謝する．

### 参考文献

- [1] 橋本，岩田： 凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ：Ensphered Vision，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.4, No.3, pp. 479-486(1999).
- [2] 尾久土，吉住，中串： デジタルプラネタリウムを使った観光映像の上映，観光情報学会 第6回研究発表会，pp. 53-60(2012).
- [3] 南雲： 小型円筒面スクリーンによる現場作業訓練環境の研究，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.4, No.3, pp.521-530(1999).
- [4] 斎藤，前川，竹村： 移動ロボットの遠隔操縦インタフェースのための全方位映像と三次元形状モデルを用いた情報提示手法，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 12, No.4, pp. 537-548(2007).
- [5] 鈴木，金野： 合成超広角画像システム zeta-vision:簡易な装置による広視野の画像取得，第17回画像センシングシンポジウム，IS2-01 (2011).
- [6] 鈴木： 観光用広視野映像コンテンツのドーム型スクリーンへの投影の試み，観光情報学会 第10回研究発表会講演論文集，pp. 1-4，2014.
- [7] 村田，山下，鈴木他： 畜養・養殖環境モニタリング技術の研究開発，平成26年度日本水産学会春季大会講演要旨集，pp. 12, (2014).
- [8] Suzuki,S., Suda,R.: A Vision System with Wide Field of View and Collision Alarms for Teleoperation of Mobile Robots, ROBOMECH Journal, Vol. 1, No. 8, Springer(2014).
- [9] 鈴木： ドライバーの視野範囲を記録する簡易な画像システムの開発，自動車技術会 2012年春季大会 学術講演会前刷集，No. 57-12, pp. 9-11(2012).