

Title	実写を用いた高臨場感ドーム映像コンテンツの製作手法に関する研究
Sub Title	Creation method of high prezence dome video contents
Author	横田, 剛司(Yokota, Takeshi) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2015
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2015年度システムデザイン・マネジメント学 第210号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002015-0057">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002015-0057</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2015年度

実写を用いた高臨場感ドーム映像コンテンツの  
製作手法に関する研究

横田 剛司

(学籍番号：81433522)

指導教員 教授 小木哲朗

2016年3月

慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
システムデザイン・マネジメント専攻

Creation Method of High Prezence  
Dome Video Contents

Takeshi Yoktoa  
(Student ID Number : 81334652)

Supervisor Tetsuro Ogi

March 2016

Graduate School of System Design and Management,  
Keio University  
Major in System Design and Management

# 論 文 要 旨

学籍番号	81433522	氏 名	横田 剛司
論文題目： 実写を用いた高臨場感ドーム映像コンテンツの 製作手法に関する研究			
<p>(内容の要旨)</p> <p>ドーム環境においては、幾何学的補正や運動視差の効果を利用することで眼鏡無しの裸眼状態でも奥行き感のある立体的な映像体験が可能である。また、フレームレスで湾曲したディスプレイの効果により視聴者がコンテンツに入り込むような没入感を得られることも特徴である。これまでこのようなドームディスプレイを備えた施設は主にプラネタリウムのみであったが、近年エアドームなどの仮設のドーム施設が新たに登場した。またプラネタリウムにおいても、従来の学習を目的としたものではなく、娯楽を目的としたプラネタリウムなども出てきたことにより、今後ドーム映像はより普及していくことが期待される。</p> <p>しかしながらこのようなドームの特性を用いた 360 度の全天周実写コンテンツ投影を行うためには、特殊な撮影装置が必要であり、コンテンツもドームディスプレイ投影用に撮影されたものである必要がある等の問題があり容易ではない。そのため、これまでの多くのドーム用コンテンツは 3DCG やアニメをベースにしたものであり、実写をベースにした全天周映像の制作はごくわずかである。</p> <p>本研究では、実写をベースにした全天周映像コンテンツの制作法を検討し、映像を構成する要素の一つである「カメラワーク」を全天周映像に取り入れることを目的とし、カメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤーの開発を行った。映像を構成する要素はカメラワークや効果音、音楽、ビデオエフェクトなど様々存在するが、特にカメラワークは撮影者、制作者なりの意図を映像の中に反映させ、シーンに意味を持たせることや、被写体同士の関係性を示す上で重要である。そのためカメラワークに着目し、カメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤーの開発を行った。</p> <p>本研究ではいくつかの映像コンテンツを用いて、カメラワーク開発に先立ちドーム環境下で映像の移動速度が視聴者に与える影響に関する基礎実験を行った。そして開発したドーム映像再生プレイヤーを用いて幾つかのドームコンテンツを制作し、ドーム環境下における視聴者実験を行った。その結果カメラワークがある場合とない場合の間に、視線の誘導や映像への注目度に関する有意差を確認し、カメラワークの効果を検証した。</p> <p>また妥当性確認のために、ドーム映像開発を行っている方にインタビューを通して検証を行い、本研究の波及効果としてドーム映像コンテンツ制作を活発化させていくことが見込めること、そして今後のドーム環境を有効活用していくことに寄与できることを確認した。</p>			
キーワード (4 語) ドーム環境、実写コンテンツ、映像再生プレイヤー、カメラワーク、 シナリオ記述言語			

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81433522	Name	Takeshi Yokota
<p>Title</p> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Creation Method of High Prezence Dome Video Contents</p>			
<p>Abstract</p> <p>In a dome environment it is possible to experience stereoscopic video with perceivable depth with the naked eye, without any special glasses, using the effects of geometric correction and motion parallax. An additional characteristic was that the viewer could feel immersion into the contents through the effects of the frameless curvature of the display. Until present, the facilities that these dome displays were equipped in was mainly only in planetariums, however, recently temporary dome facilities such as air domes been newly appearing. With the emergence of planetariums introduced with the purpose of entertainment rather than for study as used conventionally, it is hoped that these dome projections will become used more in the future.</p> <p>However in order to perform projections of 360° live captured film with the characteristics of the dome, special filming equipment is needed, and is not at all easy where the need for contents to be filmed especially for dome display projection can be seen as a problem. Thus, many contents created for domes have been 3D computer graphics or animation based, and live filming based projections have been very few.</p> <p>This research investigates the production method of live film based 360° projection contents, and aims to include one of the elements to film making, camerawork, to the projection. Development of dome film playback devices able to show camerawork was also done. A variety of elements to making a video exist, such as camerawork, sound effects, music and video effects. In particular it is important, for camerawork the cameraman's and the producer's intent must be reflected in order to provide meaning to the scene, and to show the relationship between subjects, which is why the camerawork is focussed upon, then the development of the the dome projection player able to describe the camerawork was done.</p> <p>This research uses several video contents, and a fundamental experiment prior to the development of camerawork was done on the effects of the movement speed of the video and the effect that it gives to the viewer in a dome environment. Then the dome video playback players that was developed was used to create a few dome contents, and experiments were carried out to subjects in the dome environment. As a result it was seen that the camerawork was vital to guiding the line of sight and that there was a significant difference in the attention to the the film, and the effects of camerawork was verified.</p> <p>Also, in order for the verification process, investigations were carried out through interview with somebody who works to develop dome film development. It is hoped that the as a ripple effect of the research, increasing activity of the dome film contents creation can be expected, and it was confirmed that it can contribute to effective future use of the dome environment .</p>			
<p>Key Word(5 words)</p> <p><i>Dome environment, Non-animation Content, Picture Reproduction Player Camera work, Scenario description language</i></p>			

---

# 目次

序論 .....	7
1.1 研究背景 .....	7
1.1.1 ドーム環境の現状 .....	7
1.1.2 国内で取り扱われているドーム映像コンテンツ .....	14
1.1.3 ドーム環境での実写映像 .....	17
1.1.4 ドーム環境の展望 .....	19
1.1.5 ドームディスプレイの特性 .....	19
1.2 研究目的 .....	21
1.3 本文の構成 .....	22
第2章 関連研究 .....	23
2.1 本研究のコンセプトや方針 .....	23
2.1.1 広角映像を用いたドームコンテンツの制作 .....	23
2.1.2 映像におけるカメラワークの研究 .....	24
2.1.3 全天周映像におけるカメラワークの研究の少なさとその理由についての考 察 .....	25
第3章 ドーム実写映像の撮影と投影方法 .....	26
3.1 全天周カメラと魚眼プロジェクタについて .....	26
3.1.1 全周カメラについて .....	26
3.1.2 魚眼プロジェクタについて .....	28
3.1.3 曲面スクリーンにおける歪み .....	30
3.2 全天周カメラにおける映像の生成方法について .....	31
3.2.1 全天周映像の撮影方法について .....	31
3.2.2 全天周映像の合成方法について .....	32
第4章 ドーム用実写映像におけるカメラワークについて .....	33
4.1 カメラワークについて .....	33
4.1.1 従来の映像コンテンツにおけるカメラワーク .....	33
4.1.2 ドーム映像におけるカメラワーク .....	34
4.2.1 valiant360 を用いたドーム用実写映像コンテンツの投影 .....	34

---

---

4.2.2	カメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤーを開発 .....	35
4.2.3	カメラワークの記述方法 .....	37
<b>第 5 章</b>	<b>ドーム用実写映像コンテンツ制作のための予備実験 .....</b>	<b>40</b>
5.1	実験目的 .....	40
5.1.1	実験環境 .....	40
5.1.2	実験方法 .....	42
5.1.3	実験結果 .....	43
<b>第 6 章</b>	<b>ドーム環境下におけるカメラワークの検証実験 .....</b>	<b>52</b>
6.1	実験目的 .....	52
6.1.1	実験環境 .....	52
6.1.2	実験方法 .....	56
6.2	実験結果 .....	58
6.3	インタビューを通じた Dome Player の評価 .....	64
6.4	考察 .....	65
<b>第 7 章</b>	<b>応用例 .....</b>	<b>67</b>
7.1	観光誘致を目的としたドーム映像コンテンツ .....	67
7.1.1	ドームコンテンツ提示例 .....	67
7.1.2	コンテンツ選択理由 .....	67
7.2	コンテンツ制作方法 .....	68
7.2.1	撮影対象 .....	68
7.2.2	撮影方法 .....	69
7.2.3	コンテンツ制作方法 .....	70
7.3	ドーム環境下でのコンテンツ投影 .....	73
7.3.1	投影環境 .....	73
7.4	投影結果 .....	75
<b>第 8 章</b>	<b>妥当性確認 .....</b>	<b>78</b>
8.1	妥当性確認の方法 .....	78
8.2	妥当性確認のためのインタビュー .....	78
<b>第 9 章</b>	<b>結論 .....</b>	<b>81</b>
9.1	結論 .....	81
9.2	今後の課題 .....	82

---

---

9.2.1 解像度 .....	82
9.2.3 プロジェクションエリア .....	83
9.2.4 ドームに適した映像コンテンツ .....	83
謝辞 .....	85
参考文献 .....	86
外部発表 .....	88
付録 .....	89

---

## 図目次

図 1-1: 日本全国に点在するプラネタリウム.....	8
図 1-2: 日本国内におけるプラネタリウム観覧者数.....	10
図 1-3: エアドーム.....	12
図 1-4: 東京デザインウィークに設置されたTDWドーム.....	13
図 1-5: スターリーカフェを店内の様子.....	13
図 1-6: IMAXシアター.....	14
図 1-7: IMAX Dome.....	14
図 1-8: プラネタリウムコンテンツ「ちきゅうをみつめて」.....	15
図 1-9: アオーレ長岡内に設置された直径10mのエアドーム.....	16
図 1-10: 投影されたアメリカンフットボールの選手達の練習風景.....	16
図 1-11: 2000年以降に国内で制作されたドームコンテンツの割合.....	18
図 1-12: 水平式ドームの概略図.....	20
図 1-13: 傾斜式ドームの概略図.....	20
図 3-1: 全天周カメラ.....	26
図 3-2: GoPro Hero4.....	27
図 3-3: 魚眼プロジェクタ.....	28
図 3-4: SONY VPL-VW1100ES.....	29
図 3-5: DCR-CF187PRO.....	29
図 3-6: 逆補正による元画像とドーム画像の比較.....	30
図 3-7: エアドームでのコンテンツ表示例.....	31
図 3-8: エクイレクタングラー形式に加工された全天周映像.....	32
図 4-1: カメラワークについて.....	33
図 4-2: 「Dome Player」のシステム構成図.....	36
図 4-3: 実際に記述したカメラワーク記述.....	37
図 4-4: カメラワークの記述書式.....	38
図 4-5: 連続してカメラワークを設定する方法.....	38
図 5-1: 設置したエアドーム.....	41
図 5-2: 実験環境の概略図.....	41
図 5-3: ドーム環境において映像を水平方向に映像を回転させる際の 制約検証実験の結果.....	44
図 5-4: 映像を回転させた際の「回転速度が速すぎたか」に対する平均評価.....	45

---

---

図 5-5 : 映像を回転させた際の「映像酔いはしたか」に対する平均評価.....	46
図 6-1 : 映像 1 の天空図.....	53
図 6-2 : 映像 1 をドーム内に投影した様子.....	53
図 6-3 : 映像 2 の天空図.....	54
図 6-4 : 映像2をドーム内に投影した様子.....	54
図 6-5 : 映像 3 の天空図.....	55
図 6-6 : 映像 3 をドーム内に投影した様子.....	55
図 6-7 : 視線計測装置を装着した被験者.....	57
図 6-8 : 映像 1 における注目度合いの変化.....	58
図 6-9 : 映像 2 における注目度合いの変化.....	59
図 6-10 : 映像 3 における注目度合いの変化.....	60
図 6-11 : 映像 1 における視線計測結果の変化.....	61
図 6-12 : 映像 2 における視線計測結果の変化.....	62
図 6-13 : 映像 3 における視線計測結果の変化.....	63
図 7-1 : 日本丸メモリアルパーク.....	69
図 7-2 : コスモワールド.....	69
図 7-3 : アニヴェルセルみなとみらい.....	69
図 7-4 : ランドマークタワー.....	69
図 7-5 : ドーム内での映像の右パン後の切り替え.....	70
図 7-6 : 編集作業上で映像の位置を調節する方法.....	71
図 7-7 : 制作したみなとみらい21エリアのコンテンツ.....	72
図 7-8 : 設置したエアドーム.....	73
図 7-9 : 実験環境の概略図.....	74

---

---

## 表目次

表 5-1 : アンケート結果 1.3.1.....	46
表 5-2 : アンケート結果 1.3.2.....	47
表 5-3 : アンケート結果 1.3.3.....	48
表 5-4 : アンケート結果 1.3.4.....	48
表 5-5 : アンケート結果 1.3.5.....	49
表 5-6 : アンケート結果 1.3.6.....	49
表 5-7 : アンケート結果 1.3.7.....	50
表 5-8 : アンケート結果 1.3.8.....	50
表 7-1 : アンケート結果 1.1.....	76
表 7-2 : アンケート結果 1.2.....	76
表 7-2 : アンケート結果 1.3.....	77
表 7-2 : アンケート結果 1.4.....	78

---

# 序論

## 1.1 研究背景

元々プラネタリウム施設では星を見るという目的のもとに施設を訪れる人がほとんどであったが、近年では星以外にも様々なコンテンツを投影できる環境が整いつつ有り、プラネタリウムは星だけに限らないコンテンツの提示を行なうことによって新たな映像提示施設となりつつある。また、プラネタリウム以外にも星以外の映像を投影することを目的としたドームディスプレイを備えたエアドームやTDWドーム、食空間などの新たな映像提示施設も登場してきた。通常の平面ディスプレイでは得られないドーム施設に設置されている湾曲状のドームディスプレイによる特別な映像効果を最大限利用し、未だ踏み入られていない分野の開拓を期待して本研究を行った。

### 1.1.1 ドーム環境の現状

まずドーム施設の中でも最も一般的なプラネタリウムの現状について記述する。

現在、日本には360館のプラネタリウムがある。世界で見ると約2700館のプラネタリウムがあり、アメリカは約1500館、ヨーロッパは約500館、日本を除くアジア圏で約500館という内訳になっている。アメリカと比較した時、日本はプラネタリウムの数が少ない印象を受けるかもしれないが、学習環境の維持という点で各都道府県に少なくとも1つのプラネタリウムが設置されているため(図1-1)広大な敷地を有するアメリカと比較した時に日本全国に点在している日本のプラネタリウムの設置環境はかなり優れていると言える<sup>[1]</sup>。また、設置プラネタリウムのサイズに関しても、アメリカでは直径が15メートルを超えるプラネタリウムは、50館程しかない。それに比べ、日本は90館もある。このような直径の大きいプラネタリウムは世界で250館と言われており、規模の大きいプラネタリウムの40%の数は日本に集まっているということになる。

プラネタリウムでの映像投影目的としては一般投影、学習投影、幼児投影、その他の投影、バリアフリー投影と5つの異なった目的での投影が行われている。一般投影とは

---

---

広く一般の利用者を対象としたプラネタリウム投影であり、それぞれのプラネタリウム施設によってその特性やドームサイズ、ドーム形状を活かした様々なテーマを設定し投影されている。学習投影とは小学校や中学校の学習内容を取り入れたプラネタリウム投影であり、多くのプラネタリウム施設では学校や園が理科の学習や校外学習等でプラネタリウムを観覧する場合に投影される。幼児投影とは幼稚園や保育園の園児など、未就学児を対象としたプラネタリウム投影である。多くのプラネタリウム施設では学校や園が校外学習や遠足等でプラネタリウムを観覧する場合に投影される<sup>[2]</sup>。

その他の投影では上記の投影以外にイベント等で行なう投影方法であり、上記のカテゴリーに当てはまらない工夫を凝らした投影を行っている。日食や月食など特別な天文現象に合わせて行なうもの、生演奏などの音楽をメインとしたコンサート形式、七夕やクリスマスなど時節に合わせた投影などがあげられる。バリアフリー投影とは障害の有無にかかわらずプラネタリウムを楽しめる様な工夫がなされている投影である。聴覚障害者向けに手話に映像や文字スーパーを乗じするもの、聴覚障害者向けに音像移動や補助ナレーションを導入したりしているものがこのバリアフリー投影である<sup>[3]</sup>。このように様々なシチュエーションで適した投影方法がなされていることがわかる。



図1-1：日本全国に点在するプラネタリウム

プラネタリウムの本体投影機器はデジタル式、光学式、ピンホール式の3つの種類がある。

光学式とは、ガラスや金属に刻まれた原版を使用し、光源とレンズを組み合わせた投影装置によって再現するプラネタリウムであり、天体現象は投影装置自体を回転させることで星空を投影する種類である。この光学式には、アナログ型とスペースシミュレータ型がある。アナログ型とは天体の位置を歯車の組み合わせで再現する投影機で、日本で最も多く普及しているタイプである。

スペースシミュレータ型とはコンピュータの演算により天体の位置を再現するタイプである。このスペースシミュレータ型の投影機では、アナログ型投影機で設定していた天体の移動などもコンピュータにより命令を瞬時に実行することが出来る。このスペースシミュレータ型により、星空の映像コンテンツの自由度が格段に上がった。

ピンホール式とは、球体や多面体の恒星球に小さな穴をあけ、内側にセットした電球を点灯し穴を抜けた光がスクリーンに光点を映し出すことで星空を投影するタイプで

---

ある。大型ドームでの投影や実際の夜空の星のように映し出すことが出来ないが、手軽であるため、自作を行う小型プラネタリウムで使用されることが多い。

デジタル式とは、天体の位置を全てのコンピュータで計算し、1台もしくは複数台の高輝度デジタルプロジェクタ設備から出力する映像によって星空を再現する投影機である。これは、小型のプラネタリウムにおいてはドームの中央に置いた1台のプロジェクタにより投影が行われている。中型・大型のプラネタリウムにおいては、複数のプロジェクタにより全天周の投影が行われている。これらのような様々な機器や投影方法がある中、国内では予算的な問題に見まわられて、デジタル型投影方式への移行による3次元CG映像のドーム映像コンテンツの導入は極めて難しい状況である。国内360館プラネタリウムのうち3次元CG映像を投影することが出来るデジタル型投影方式に移行しているプラネタリウムはわずか30館に留まっている。このことから全国のほとんどのプラネタリウムがアナログ型投影方式を採用しており、デジタル型投影方式への移行は中々進んでいない。

このようなデジタル型投影方式への遅れが出ているのはデジタルプロジェクタの導入コストに加え、3次元CG映像コンテンツによる映像作成コストがかかることが大きな要因となっている。

近年の国内におけるプラネタリウム観覧者数は2004年から2009年までほぼ横ばいで推移(図1-2)していて大きな現象は見られないものの、プラネタリウムの稼働率自体は決して高くない。日本プラネタリウム協議会の調査によると、プラネタリウム稼働率に関する質問の回答数155館の中で年間300回以上の投影を行っている施設は18館と全体の12%未満である。

このことから、稼働率をもっとあげることが可能な施設は多くあるにしても、観覧者の数が伸び悩んでいることから大規模なプラネタリウムを稼働せずに持て余している施設が多くあるということである。もっと施設を有効活用するためにも何らかのアプローチによって観覧者数の増加が急務であるのが国内におけるプラネタリウム産業の現状である<sup>[4]</sup>。

---

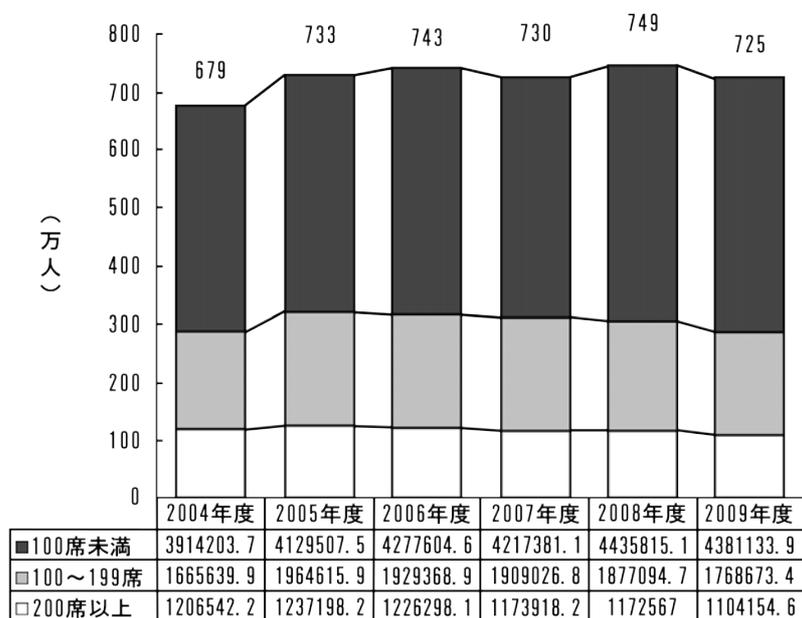


図 1-2 : 日本国内におけるプラネタリウム観覧者数

次に近年新たに登場したドーム施設に関して記述する。

近年新たに登場したドーム施設として一般的なのがエアドームである。(図 1-3) エアドームとはアメリカのDigitalis Education Solutions, Inc.が発売している、空気で膨らませる形のドーム施設である。例えばドームの直径サイズは直径4m、直径5m、直径6m、直径7mの4種類ある。ドーム内の収容人数も4mのものだと大人の場合15人、小人の場合20人から、直径が7mのものになると大人の場合が50人、小人の場合が60人入ることが出来る。



図 1-3 : エアドーム

エアドームの使い方としては、送風口に送風機を装着することで空気を送り込み膨らませ、直径4mのものだと約5分程度で膨らませることが出来る。基本的にドーム内に設置するプロジェクタに魚眼レンズを装着して、ドーム内に広角の映像を投影する。エアドームは空気で膨らませて使用するため、広いスペースがあればどこにでも設置が可能である。そのためプラネタリウム施設と非常に近い環境をどこでも作る事ができるといった特徴があり、商業施設でのイベントや、病気や障害、生活環境などによって、星空を見られない人たちのために病院などに設置されたりして使用されたりしている。

また2014年から東京デザインウィークでは、中央会場に直径30mのTDWドーム(図1-4)が設置されている。これは空気で膨らますエアドームとは異なり、構造物として設置されたものである。このTDWドームでは小惑星探査機「はやぶさ」のドキュメンタリー映画の上映会や、書家・紫舟さんとのコラボレーション作品、空間を万華鏡のように映像演出する作品などの映像が投影された。



図1-4：東京デザインウィークに設置されたTDWドーム

また2010年にリニューアルした羽田空港国際線ターミナルに「プラネタリウム スターリーカフェ」（図：1-5）という、飲食店にドームディスプレイが設置されている新たな形のドーム施設も登場した。これは株式会社プロントコーポレーションが運営しているカフェで、カフェスペースの頭上にドームディスプレイが設置されている形である。1時間に1回15分のコンテンツが投影されており、主に星空や空に関するプラネタリウムコンテンツが投影されている。

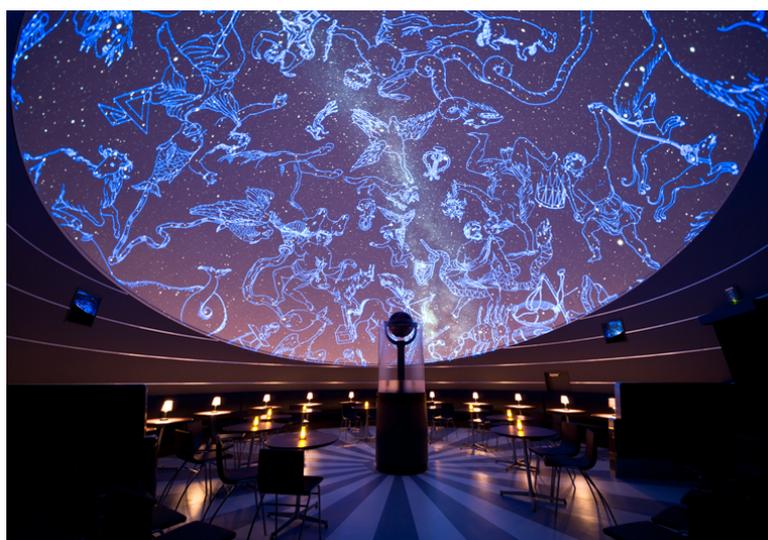


図1-5：スターリーカフェを店内の様子  
(引用：スターリーカフェ 公式ホームページ)

---

他にも近年日本の映画館に多く普及してきたIMAXという規格がある。

IMAX（図1-6）は、カナダのIMAX社が開発した動画フィルムの規格及びその映写システムのことを指し、通常の映画で使用されるフィルムよりも大きなサイズの映像を記録・上映するものである。IMAX規格が投影出来る映画館のことはIMAXシアターと呼ばれ、映画を構成する映像、音響、空間などの要素は全て最高の水準まで高められ、高臨場感の体験をすることが出来る。IMAXシアターは主に常設館もあるが、イベントなどの特設会場で採用されていることも多い。

またドームディスプレイを常設するIMAX DOME（図1-7）も存在する。日本国内に現在常設されているIMAX DOMEは各地方自治体が運営する形で5館存在する。しかしIMAX DOMEでは通常の映画などが投影されているわけではなく、プラネタリウムコンテンツや、IMAX専用ショートムービーなどが投影されている。



図1-6：IMAXシアター



図1-7：IMAX DOME

このように近年新たにプラネタリウム以外にもドームディスプレイを備えたドーム施設が多く登場してきた。

### 1.1.2 国内で取り扱われているドーム映像コンテンツ

国内で取り扱われているコンテンツについてここでは述べる。

近年の主なドーム環境であるプラネタリウムは、デジタルプロジェクタを使用した3DCGアニメーションのプラネタリウムでの投影が活発に行われ始めている。日本科学

---

---

未来館「MEGASTAR-II cosmos」、池袋のサンシャインシティスターライトドーム「満天」、六本木ヒルズ「スカイプラネタリウム」、名古屋市科学館のプラネタリウムといったプラネタリウム施設を代表とするプラネタリウムでは高輝度デジタルプロジェクタを用いた様々なコンテンツ投影が行われている。これまでのアナログ型投影方式のプラネタリウムでは、星座や月などの天体の位置や動きといった天体現象の様子をドームスクリーンで表現してきた。しかし、デジタル型投影方式が主流となってきた近年のプラネタリウムでは、映し出される星の数が急増しただけでなく、星座の天体コンテンツ以外の様々な映像コンテンツを提示することが可能となっている。(図1-8)が示すのは日本科学未来館の「ちきゅうをみつめて」の映像コンテンツである。この映像コンテンツは、アニメ映像やCG映像が融合したものである。このような多様な映像コンテンツが、近年のプラネタリウムでは楽しむことができる。



図 1-8：プラネタリウムコンテンツ「ちきゅうをみつめて」

また1.1.2で述べたエアドームを使ったイベントなども多く開かれており、2012年には新潟県長岡市内にあるシティーホール施設アオーレ長岡にて、地元バスケットボールチーム「新潟アルビレックスBB」の試合日に行われたイベント内で、直径10mのエアドームでバスケットボール映像コンテンツと長岡の花火映像が投影された<sup>[5]</sup>。(図:1-9)



図1-9：アオーレ長岡内に設置された直径10mのエアドーム

(引用：新潟アルビレックスBB 公式ホームページ)

2014年に慶應義塾体育会アメリカンフットボール部主催のイベントである UNIFES2014において、慶應義塾大学SDM研究所スポーツデザイン・マネジメントラボと慶應義塾体育会アメリカンフットボール部の共同企画「最新メディア技術を使ったアメリカンフットボール疑似体験イベント」において、施設内に直径6mのエアドームが設置されアメリカンフットボールの選手達の練習風景の映像が投影された。(図1-10)



図 1-10：投影されたアメリカンフットボールの選手達の練習風景

---

2012年にハワイ・ホノルルで開催されたVRの国際会議では、東京大学大学院情報学環教授であり、CGアーティストでもある河口洋一郎氏が、現地のプラネタリウムで自身のアーティストとしての作品を投影する取り組みを行った。河口洋一郎氏は成長のアルゴリズム（算法）を使った独自の造形世界「グロースモデル（Growth model）」を確立し、CGの世界的権威として知られており、最近では、成長・遺伝する「情感」をテーマにインタラクティブに反応する「ジェモーション（Gemotion）」作品を内外の美術館等で発表するなどしている。

このようにプラネタリウム以外にもドーム環境は普及してきている。

### 1.1.3 ドーム環境での実写映像

プラネタリウムにおいては、1.1.2で述べたように、国内のデジタルプロジェクタ導入をしているプラネタリウム施設では高輝度デジタルプロジェクタによる3DCGアニメーションで制作された星をコンテンツとした上映が行われている。しかしながら実写映像の投影実績は殆ど無いのが現状である。2000年以降に制作された主なドーム映像コンテンツを調べると、合計158個ある中で一番多いのがスライド形式のコンテンツで79個、ついで全天周CGで制作されたものが58個、アニメーションで制作されたのが11個、全天周CGとアニメーションで制作されたのが5個であった。実写をベースに全天周で制作されたコンテンツはひとつもなかったが、広角で撮影された実写映像と全天周CGで制作されたコンテンツが5個あったが、実写映像の投影実績は殆ど無いのが現状である。（図1-11）

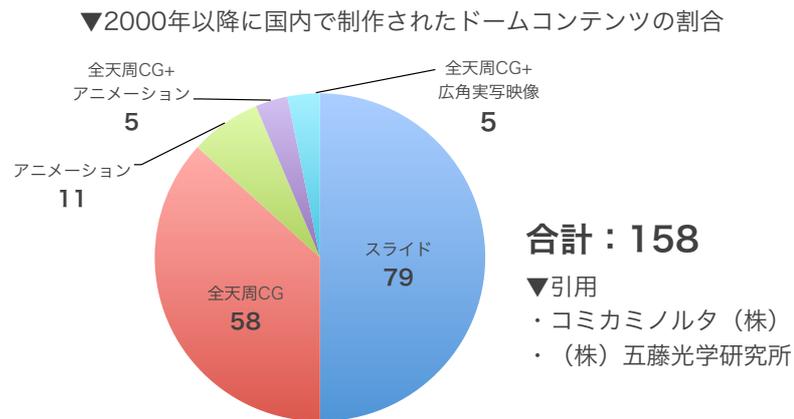


図 1-11：2000年以降に国内で制作されたドームコンテンツの割合

実写映像コンテンツが少ない理由として「ドームに適したコンテンツ作成のノウハウ」が確立されていないことがあげられる。平面ディスプレイ用に作成したコンテンツではカメラワークによる映像の酔いや対象物のサイズ感の違いなどから、娯楽・アトラクション目的になるようなコンテンツを作成することが難しい。しかし、アニメーションや3DCG コンテンツでは、仮想カメラの視点の位置など製作者自身が自由に決められる要素が多いためコンテンツを作りやすいという実写コンテンツと比較して優れている点がある。

また、実写映像コンテンツの普及が進むことでコンテンツ作成の幅が広がり、国内にある多くのアナログ式投影を採用しているプラネタリウムでもデジタルプロジェクタの購入だけで新たなコンテンツの提供ができるようになる可能性がある。上で述べたように、デジタル化が進まない大きな理由の一つとしては「3DCG コンテンツの作成予算が非常に高い」事があげられる。それと比較して、実写映像コンテンツはモデリングをする必要性がなく、作成にかかる手間や時間を大きく削ることが出来る。実写映像はドーム形状に合わせた補正こそ必要になるが、映像の形状補正のみおこなえば、そのままプロジェクションすることでコンテンツとして楽しむことが出来る。観光映像や、スポーツ映像や、自然の映像、学習目的でのコンテンツなど、デジタル3DCGやアニメーションとはまた違った角度でのコンテンツ提供が期待される。

---

#### 1.1.4 ドーム環境の展望

プラネタリウム以外にもドームディスプレイを備えた施設が登場してきたこと、そしてデジタルプロジェクタを導入する施設が増えたことにより、従来のプラネタリウムで投影されていた教育目的の映像以外にも娯楽目的をした映像も制作されるようになってきた。しかし新たに出てきたドーム環境において投影するコンテンツは、未だプラネタリウムコンテンツの域からの脱却は出来ていないのは確かである。

そのためドーム環境の有効活用という点においては、制作出来るコンテンツの領域を広げることは最重要の課題である。従来の学習目的の以外にも観光映像や、スポーツ映像や、ストーリー性のある映像など、従来のテレビや映画のような「ドームに行っても見たくなくなるようなコンテンツ作り」を積極的に行っていく必要がある

#### 1.1.5 ドームディスプレイの特性

ここではプラネタリウムで用いられている「ドームディスプレイの特性や性質」について述べる。近年、大きなスクリーンに高精細・広視野角な映像を投影する高臨場感ディスプレイが注目されつつある。愛知万博にて展示された全球スクリーンを利用した高臨場感ディスプレイを用いた「地球の部屋」という展示があった。360度の天井だけでなく床面まで視聴者の体全体を覆ったディスプレイが展示され話題となった。自分の観覧している環境の周りを包み、臨場感、没入感を強く感じる事が出来るディスプレイとして潜在性を秘めている。ドームディスプレイは大きく分けて2つのタイプがある。「水平式」と「傾斜式」である。

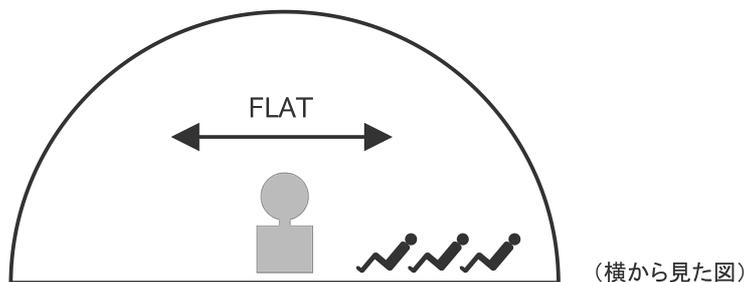


図1-12：水平式ドームの概略図

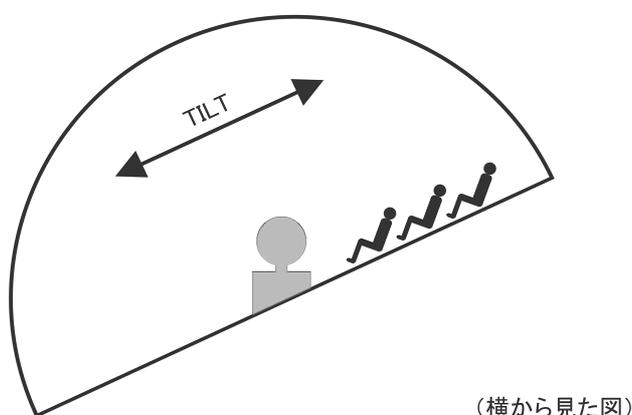


図1-13：傾斜式ドームの概略図

水平式のドーム(図 1-12)は視聴者の頭上に対して映像を投影する形のドームディスプレイである。視聴者の頭上がディスプレイになっているため、主に実世界を見上げる星空などのコンテンツが投影されることが多い。対して傾斜式のドーム(図 1-13)は天井部にはディスプレイがなく、視線に対して約45° 上方から床面下までディスプレイとなっているドームディスプレイである。視聴者の約45° 上方から床面下までディスプレイになっているため、主に実世界を見下ろすような自然な景色などのコンテンツが投影されることが多い。

プラネタリウムに代表される全天周のドーム型ディスプレイの場合、立体眼鏡のような特別な装置を利用することなくとも裸眼状態で立体感を感じられることが分かっている。一般的なテレビのディスプレイのような平面ディスプレイとは異なり、フレームがなくスクリーン形状が三次元形状であり視野全体を映像で覆うことが出来るほどの視野角の広い映像提示が出来ることから、映像の世界に没入することが出来、自分が映

---

像を見ながらそのコンテンツの中に入り込むような感覚を得られるためである。そのため、プラネタリウムの視聴者は家庭用テレビや映画館のスクリーンで見るような映像とは異なった迫力のある臨場感の高い映像を楽しむことが出来る<sup>[6]</sup>。

ドーム環境のスクリーンでは、幾何学情報や運動視差を効果的に用いることで両眼視差情報を用いなくても立体感のある映像表現ができることが知られている。しかし、そのような視覚効果を利用した映像制作についての研究はほとんど行われておらず、どのような絵作りをすればドームディスプレイ特有の立体感を生み出せるのかについての詳細は分かっていないのが現状である。現在、この手のコンテンツのほとんどは作り手の経験則に基づいて作られているため、このようなドームディスプレイ特有の映像効果を積極的に利用した映像コンテンツの制作手法の体系化が求められている。

## 1.2 研究目的

本研究では「ドーム環境における実写映像の制作手法の研究」を目的とした。これまで述べてきたように、費用や撮影方法の未確立といった理由から、現在のドームコンテンツはアナログ型投影機による星のコンテンツ、あるいは高輝度デジタルプロジェクタによるデジタル3DCG、アニメなどのコンテンツがほとんどである。ドーム空間では広視野の効果により映像への高い没入感・臨場感を得ることができる。特に、映像要素の動きやカメラワークにより、運動視差の効果を効果的に利用することで、眼鏡無しで立体感を生成できることが特徴である。そこで、ドーム環境下で実写をベースとしたコンテンツも出来るようにし、従来の学習目的以外にも娯楽を目的としたコンテンツを投影出来るようにすることで、波及効果としてドーム映像のコンテンツ数が増加し、今後ドーム環境の有効活用が期待される。そのため、映像を構成する要素は様々あるが、その中でもカメラワークに着目し、カメラワークを記述可能なドーム映像再生プレイヤーの開発を行い、実写をベースにした全天周映像の制作手法にカメラワークを取り入れることを目的とする。

---

---

### 1.3 本文の構成

本論文は序論である本章を含め、全9章から構成されている。

第1章では序論として本研究で用いている用語の説明、ドーム環境の現状、国内のドーム映像コンテンツ、またドームディスプレイそのものの特性や、ドームディスプレイを用いて映像を視聴することで期待される効果等について述べる。また、それらを踏まえた上で本研究の目的を述べる。

第2章では関連研究として、ドームディスプレイ以外の没入型ディスプレイやコンテンツに関しての事例を挙げる。

第3章では実際に自身がドームコンテンツを作成した、全周カメラと魚眼プロジェクタを用いた方法について述べる。その際にどのように撮影を行ったか、映像はどのように作成したか、投影はどのように行ったか、それぞれ述べる。

第4章ではドーム映像におけるカメラワークについて述べる。従来の映像におけるカメラワーク及びドーム映像におけるカメラワークについて解説し、本研究で開発したカメラワーク記述可能なドーム映像再生ソフト「Dome Player」について述べる。

第5章ではドーム映像コンテンツ制作のための予備実験について述べる。ドーム環境下において映像を回転させた際の回転速度の制約を検証するために、回転させた映像をエアドームに投影し、その実験から得られたドーム環境下における回転速度の制約について述べる。

第6章では本論文で確立した全天周映像の制作手法を使い、カメラワークの評価実験について述べる。ドーム環境下で映像を投影する際に、制作者の意図をコンテンツ内に入れ込むために、視聴者の視線を誘導させるためのカメラワークについて、エアドームでの実験の結果を元に述べる。

第7章では6章までの実験結果、知見を用いて実際に実写コンテンツの作成を行った経緯について述べる。観光誘致を目的とした映像を一例として、みなとみらい21エリアで撮影を行ってコンテンツ作りをエアドームに投影・評価を行った。

第8章では妥当性確認のためにドーム映像プロデューサーへのインタビューを通して、本研究で確立したドーム映像コンテンツの制作手法を通して、ドーム環境用のコンテンツの制作が活発化していき、ドーム環境の有効活用に繋がるかについて確認を行った。

第9章では結論及び研究を通して新たに分かった課題を今後の課題として述べた。

---

## 第2章 関連研究

### 2.1 本研究のコンセプトや方針

第一章で述べたように本研究では「ドーム映像コンテンツの制作手法の確立」を目的としている。特に本研究では制作者の意図をコンテンツ内に反映させるためのカメラワークをドーム環境下で投影する映像に取り入れた場合、視聴者は制作者が意図したような視線誘導を行うのかを評価することによって、ドームディスプレイに適したコンテンツを考え、実際にその知見に基づいたコンテンツづくりを研究の対象としている。

#### 2.1.1 広角映像を用いたドームコンテンツの制作

ドームディスプレイに投影する映像は、全天周映像以外にも広角映像を用いたものも存在する。そのような広角映像を用いて実際には体験不可能な場면을再現、あるいは生中継するコンテンツの研究として、「観光デジタルドームシアターシステムの構築とその実践」(吉住千亜紀, 尾久土正巳, 2016)があげられる。高臨場感体験、高没入感体験を通して、そこに行きたい気持ちにさせるコンテンツを制作し、様々な制約(地理的・人的・時間的制約他)により実際には体験不可能な場면을再現、あるいは生中継する全天周映像コンテンツの制作手法を研究したものである。この研究では4Kカメラを使用して撮影した映像を、ビデオサーバを通して遠隔地に転送し、リアルタイムで4Kプロジェクタと魚眼レンズを使いドームに対して投影を行ったものである。

この研究は遠隔地にドーム映像を転送し、実際には体験不可能な場면을再現するためのものであるが、投影する映像に対して回転させるなどの要素は入れ込んでいないため、制作者の意図の反映という点に関しては考慮されていない。確かに実世界で見る景色・風景は視聴者自身が回転・移動することで360°周囲を見渡すことができる。しかし映像コンテンツを制作する上で注目してほしい部分というのはあるので、カメラワークのような取り組みがなされないと、制作者が注目してほしい部分を視聴者が見落としてし

---

まう可能性がある。そのため、全天周映像コンテンツを制作する上でカメラワークを考慮する必要があると考える。

### 2.1.2 映像におけるカメラワークの研究

従来の映像で取り入れられていたカメラワークは、その演出効果に対して定性的な評価はなされてきたものの、定量的な評価はあまりなされてこなかった。しかし近年CGなどが普及してきた中で、CGの世界の中で自由にカメラアングルを動かせるようになってきた。そのため、カメラを動かすことによる演出効果の定量的な研究がなされるようになってきた。

多くのカメラワークは形式知化されているものの、全てが形式知化されているわけではなく多くの暗黙知の部分が存在する。またカメラワーク技術を習得するのはすごく困難である。そのため適切なカメラワークを行うために、専門家の持つ感性を定量的に評価し、カメラワークの自動制御活かしていく技術に関する研究として「感性評価と視線計測に基づいたカメラワークによる印象変化の要因分析」（橋本将人，井ノ上寛人，佐藤美恵，郭素梅，小黒久史，2012）があげられる。CG上においてカメラワークを設定する上で、専門家が持ち合わせているような感性が必要とされる。またカメラワークによる印象の変化について具体的な要因が十分に把握されていない。そのため、印象変化の要因を解析する一つの指標として、観視時の視線の推移に注目し、視線計測実験を実施し、カメラワークが視聴者に与える印象と、視線の動きについて関係性について研究したものである。

この研究はCG映像などを制作する際のカメラワークの自動制御技術の研究で、その予備研究として専門家の持つ感性を定量的に評価するというものであるが、高没入感環境での酔いが検討されていない。ドームディスプレイ上でのカメラワークには、従来の平面スクリーン上でのカメラワークでは起きないVR酔いという現象がある。VR酔いとは高い没入感の中で映像を見た時に、視聴者の三半規管の動きと映像の移動速度・回転速度にズレがあった場合、感覚不一致から酔いが起こるのである。このVR酔い

---

---

に対する定量的な評価の研究も行われている。そのためドーム環境に投影するコンテンツのカメラワークの評価を行う際には、視線誘導による演出効果の評価と、カメラワークの回転速度の制約も考慮しなければならないと考える。

### 2.1.3 全天周映像におけるカメラワークの研究の少なさとその理由についての考察

広角映像をドーム環境に投影する研究に関しては、高臨場感・高没入感を高めることを目的としているが、本研究が目的としている投影する映像の中に制作者の意図を反映する取り組みはなされていない。

また映像におけるカメラワークの研究に関しては、平面上での映像のカメラワークが視聴者に与える影響に対する評価を行うものはあったものの、ドーム環境下で高没入間の中での映像のカメラワークが視聴者に与える影響では違いがあると考えられる。またVR環境では映像の移動が速すぎると視聴者は感覚不一致を起こし、VR酔いを起こすことが先行研究などでわかっている。

これらのことを踏まえ、ドーム環境に投影する映像に対するカメラワークを検討する際は、視線誘導の効果も評価しつつ、映像の回転速度に対する制約の評価も行わなければならない。

---

## 第3章 ドーム実写映像の撮影と投影方法

### 3.1 全天周カメラと魚眼プロジェクタについて

ドーム用実写映像コンテンツを作成するために「撮影系」「投影系」をここでは考える。撮影系ではどのようなカメラを用いてどのような撮影方法を行なうのか(カメラの画角、撮影位置、カメラ角度、カメラワーク等)について検討する。投影系に関しては投影機材位置、投影機材の選択、投影画角等を検討する。

#### 3.1.1 全周カメラについて

ここでは撮影に用いた全天周カメラについて述べる。



図 3-1：全天周カメラ

図 3-1 が本研究で用いた全天周カメラである。この全方位動画システムは GoPro Hero4(図 3-2)を立方体の枠組みに6台装着し、真上、真下も含んだ 360° 全周撮影を可能にしたシステムである。



図 3-2 : GoPro Hero4

GoPro Hero4 について説明する。このカメラは本体の軽量・コンパクトなボディーで、車載動画・またはさまざまなアクティブスポーツの動画を撮影することに特化したデジタルビデオカメラで、様々な場所に設置、または製品そのものを身につけて撮影することが出来る。

本体サイズは幅 59mm×高さ 40.5mm×奥行 30mm (ハウジングサイズ: 幅 69.5mm×高さ 70.5mm×奥行 39mm) と非常にコンパクトなサイズになっている。

このコンパクトさから 6 台を立方体状に組み込んでも比較的手軽に撮影を行なうことが出来、撮影も非常にしやすいという大きな利点がある。更に立方体の枠組み自体に簡単につけることのできる三脚もあり、三脚の足の部分だけが取り外し可能になっているため、

本研究では撮影を行うことは出来なかったが、GoPro には防水のカバーが付いており、このカバーを装着し専用の立方体の枠組みに装着すれば海や川など水の中の全周映像コンテンツが手軽に作成することが出来る。

この GoPro Hero4 を用いた全周動画撮影用システムを全周カメラとして撮影を行い、撮影した素材をパノラマ映像に加工して専用の viewer を通して見ることによって画角の広い映像を生成することが出来る。

映像の編集には後述する AUTO PANO VIDEO PRO, AUTO PANO GIGA というソフトウェアを用いた。

---

### 3.1.2 魚眼プロジェクタについて

ここでは投影に用いた魚眼プロジェクタについて述べる。



図 3-3 : 魚眼プロジェクタ

図 3-3 が本研究で用いた魚眼プロジェクタである。この広角投影システムは、SONY の 4K プロジェクタ VPL-VW1100ES (図 3-4) に RAYNOX のフィッシュアイ・レンズ DCR-CF187PRO (図 3-5) を装着し、高解像度の映像を広角に投影することを可能にしたシステムである。



図 3-4 : SONY VPL-VW1100ES



図 3-5 : DCR-CF187PRO

SONY の 4K プロジェクタ VPL-VW1100ES (図 3-5) について説明する。このプロジェクタは劇場用のデジタルシネマプロジェクタに搭載している 1.55 型「4K “SXRD” 」と同じ解像度「有効 885 万画素 (水平 4,096×垂直 2,160 画素) 」をもつホームプロジェクタ用のネイティブ 4K パネル 0.74 型「4K “SXRD” 」を搭載している。そのため、従来の民生用モデルに搭載されているフル HD パネルでは表現できない高精細かつ自然な表現が可能で、被写体の輪郭や微妙なディテールまでクリアに描き出すことができる。

本体サイズは幅 520mm×高さ 200mm×奥行 640mm、重量は約 20kg と、現在ホームシアター用に発売されている民生用モデルでは、最大かつ最重量である。しかし 2,000 ルーメンの光出力と、最大 1,000,000 : 1 のダイナミックコントラストを可能としており、これにより、引き込まれるような奥行き感と、暗いシーンから明るいシーンまで精彩感のある映像を描き出すことができる。

次に広角魚眼レンズ DCR-CF187PRO について説明する。この高品位フィッシュアイ・レンズは全方向 185° のサーキュラーフィッシュアイ(全周魚眼)撮影、対角魚眼撮影、広角撮影までをカバーするコンバージョンレンズである。このフィッシュアイ・レンズを SONY の 4K プロジェクタのレンズの前方に設置することにより魚眼プロジェクタとして機能させた。

---

---

### 3.1.3 曲面スクリーンにおける歪み

本研究のコンテンツ投影時における、曲面スクリーンにおける歪みとプロジェクタの魚眼の歪み補正は厳密に行っていない。曲面スクリーンの歪みと魚眼の歪みはそれぞれ逆の歪みになっているため、魚眼の歪みを持った映像を曲面スクリーン(ドームディスプレイ)に投影した時、互いの歪みが相殺され元画像に近い(歪みの少ない)映像を提示することができる。更に映像を提示する際に用いる viewer の仕様として画角の変更ができるため、画角調整を実験のたびに行なうことによってほぼ歪みのない映像を生成することが可能であり、本研究においてはコンテンツ評価という点に重きを置いているため、観覧者が視聴した時に違和感を感じない程度の歪みは厳密に補正する必要がないと考えた<sup>[8]</sup>。

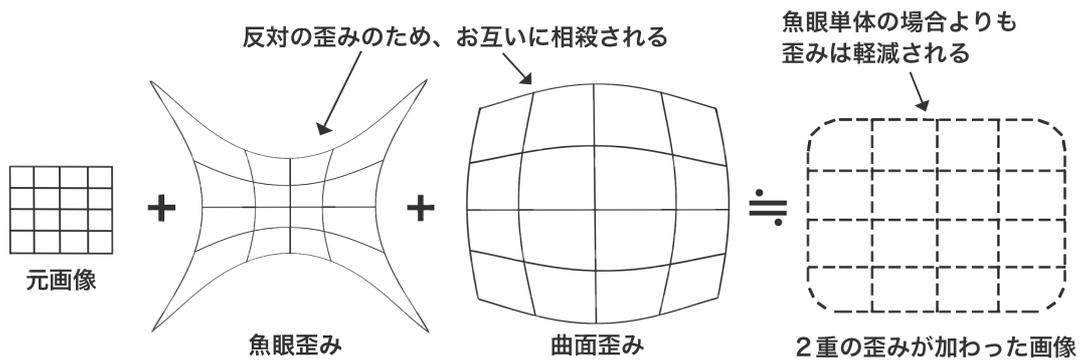


図 3-6：逆補正による元画像とドーム画像の比較



図 3-7：エアドームでのコンテンツ表示例

## 3.2 全天周カメラにおける映像の生成方法について

3.1 では全天周カメラと魚眼プロジェクタについて述べた。ここでは実際に研究内のプロトタイプとしてのコンテンツ作成を行った、全周カメラと魚眼プロジェクタを用いた実写映像の撮影方法と合成方法について述べる。

### 3.2.1 全天周映像の撮影方法について

まず、撮影対象を撮影したい距離を決め、撮影対象から設定した距離の離れた場所に全周カメラを設置する。平らな地面ならば安定しておくことが出来、歩行時の映像を生成したい場合は三脚の足の部分を取り外し専用のおもりを装着して手に持って撮影を行うことも可能である。撮影開始は、付属のリモコンを用いて行なう。GoPro HERO4 を 6 台用意したらリモコンも 6 つ手に入ることになるが使用するのは 1 つだけで、その他のリモコンは使用しない。

カメラ本体とリモコンは Bluetooth による近距離無線で通信が行われる仕様となっており、1 つのリモコンに対して 6 台のカメラすべてを認識させるように設定を行うことで、マスターのリモコンですべてのカメラを同時に操作することが出来る。これによ

---

ってカメラの電源 ON, OFF の切り替え、録画のスタート等を同時に行い、実写の撮影を行う。

### 3.2.2 全天周映像の合成方法について

上記の手順を踏むことで、それぞれのカメラで撮影した 6 つの映像が生成される。次にこれらの動画をスティッチングし、パノラマ動画を生成する。AUTOPANO VIDEO PRO を起動させ、6 つの動画の開始の同期を取る。これは、同時に録画をスタートしたからといって、1 つ 1 つの録画スタートが厳密に同時に行われているわけではないため動画内のある 1 点の音を検出し、その音のタイミングを合わせることによって同期をとる作業である。これによって厳密に動画の開始時間を合わせる。次に隣り合ったカメラ(映像)同士を繋ぎあわせ、エクイレクタングラー形式(図 3-8)と言われるメルカトル図法の世界地図のように動画同士を繋ぎ合わせる。繋ぎあわせた動画は水平方向や垂直方向がバラバラになっているため、手作業で水平方向、垂直方向を合わせてパノラマ動画を生成する<sup>[9]</sup>。



図 3-8 : エクイレクタングラー形式に加工された全天周映像

---

## 第4章 ドーム用実写映像におけるカメラワークについて

### 4.1 カメラワークについて

#### 4.1.1 従来の映像コンテンツにおけるカメラワーク

従来のテレビや映画館で上映されている映像コンテンツを制作する上で、カメラワークが多用されている。カメラワークとは被写体の動きを追うようにカメラを移動させたり、被写体の動きに関係なくカメラを移動させ撮影する撮影技術のことを指す<sup>[10]</sup>。

主なカメラワークとして、写したいものにカメラ近づけたり遠ざけたりする「ズームイン・ズームアウト」や、カメラを左右に振る「パン」やカメラを上下に振る「ティルトアップ・ティルトダウン」などが上げられる。

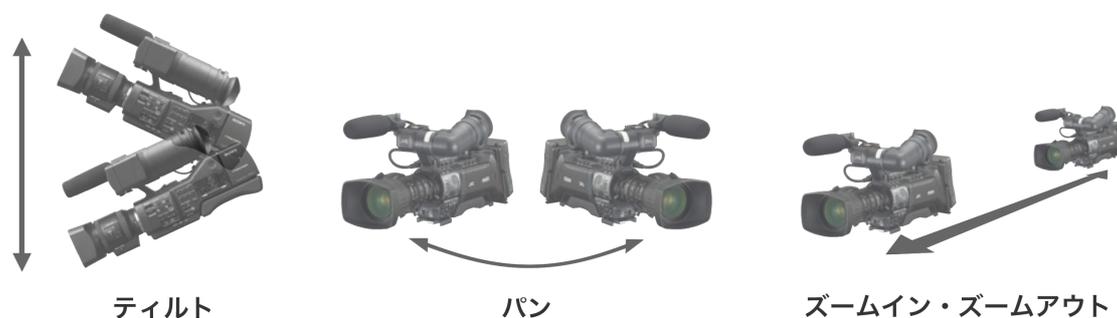


図 4-1 : カメラワークについて

このカメラワークは撮影者、制作者なりの伝えたいことを表現するために使われる。視聴者に対して視線誘導を行う事で、撮影者、制作者なりの意図を映像の中に反映させ、シーンに意味を持たせることや、被写体同士の関係性を示すことが出来る<sup>[11]</sup>。

---

## 4.1.2 ドーム映像におけるカメラワーク

ドーム映像は視聴者の全周囲に対して映像が投影される。そのため、視聴者は全天周の中で自由に視線を移動させながら全天周映像コンテンツを見ることが可能である。これまでの全天周映像コンテンツはアニメやCGが主流であったため、視線誘導を行う際は従来のカメラワークのように映像自体を動かすような工夫がなされてきた<sup>[12]</sup>。

しかし実写をベースにした全天周映像コンテンツの場合、全天周での映像撮影の方法は確立されていたものの、従来のカメラワークのような映像の動きをさせる映像は存在していなかった。また近年 Facebook や YouTube、ウェブブラウザ上で主にプロモーションなどの一環として 360 度の全方位で撮影された映像を視聴できるコンテンツなども出てきた。これらも実写で撮影された全方位の映像などが視聴可能であったが、どれもマウスを使い視聴者が見たい方向を任意で動かすものばかりであり、制作者が見せたい方向に動かすなどの、従来のカメラワークのような動きは取り入れられていない<sup>[13]</sup>。

そのため、実写をベースとした全天周映像ではこれまでカメラワークは取り入れられてこなかったため、撮影者、制作者なりの意図を映像の中に反映させることは出来なかった。本研究では実写をベースとした全天周映像にカメラワークを取り入れ、撮影者、制作者なりの意図を映像の中に反映させることを出来るようにした。

## 4.2 ドーム映像プレイヤーについて

### 4.2.1 valiant360 を用いたドーム用実写映像コンテンツの投影

ここでは本研究で全天周映像を再生する際に、動画のレンダリングエンジンとして用いた valiant360 について説明する。

valiant360 は JavaScript を使い、360 度のパノラマビデオを WEB ブラウザで再生することの出来る動画再生プレイヤーである。Valiant360 はオープンソース・ソフトウェアであり、高度なカスタマイズが可能なことから採用した。Valiant360 の基本的な

---

---

仕組みは、撮影した全天周映像を水平 360 度、頭上から足元までの垂直 180 度という周囲すべての範囲を 1 つの映像におさめるエクイレクタングラー形式に加工された全天周映像を用意する。そうすることにより Valiant360 はファイル内からその映像を読み込み、WEB ブラウザ上で WebGL を使い生成された球体上にエクイレクタングラー形式で加工された映像を貼り付け、全天周映像として再生される。WEB ブラウザ上ではその球体の中心部分から任意で高さ・幅を選択できる描画領域を通した映像を見ることが出来る。Valiant360 の基本的な仕様としては視聴者が見たい方向にマウスを動かすと描画領域が回転し見ることが出来るようになる。

この Valiant360 は Charlie Hoey 氏が制作したオープンソースコードで、誰もがダウンロード、改変及び使用が可能である。そのため、本研究ではこの Valiant360 をレンダリングエンジンとして使用したカメラワーク記述可能なドーム映像再生ソフトを開発した。

#### 4.2.2 カメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤーを開発

本研究では Valiant360 をレンダリングエンジンにしたカメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤーを開発した。ここではカメラワーク記述可能なドーム映像再生ソフトについて説明する。

Valiant360 では WEB ブラウザ上で WebGL を使い生成された球体上に貼り付けられた全天周映像を、その球体の中心部分から任意で高さ・幅を選択できる描画領域を通した映像を見ることが出来る。その描画領域に対して任意の時間、カメラの動き、角度を入力することで、入力した通りのカメラワークを実行出来るようなカスタマイズを行った。またカメラの動きとしては、映像を左右に動かすパン、映像を上下に動かすチルト、映像を拡大、縮小させるズームアップ、ズームダウンの 3 つのカメラワークのどれかを指定することで、描画領域上で映像が指定された通りに動くように設計した。

次に「Dome Player」のシステム構成に図 4-2 を使いついて記述する。

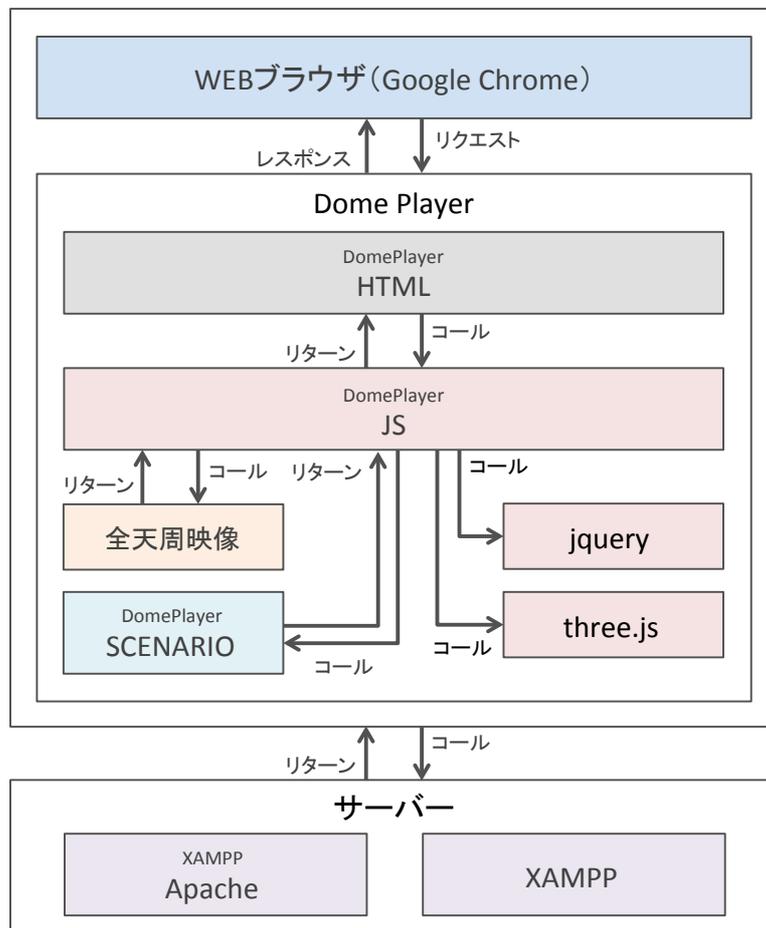


図 4-2 : 「Dome Player」のシステム構成図

Dome Player は HTML と Java Squirrel で記述したソフトで、variant360 をレンダリングエンジンにして開発したソフトである。映像を再生したい場合は、サーバー上にエクイレクタングル形式に加工された全天周映像をアップロードし、ウェブブラウザ上で映像がアップロードされているサーバーにアクセスすることで、Dome Player 上でエクイレクタングル形式に加工された全天周映像を three.js を使い生成された球体上に貼り付け、指定された描画領域が html 上で再生される。また映像は JS 上で SCENARIO を読み込みながら再生され、指定された秒数に指定された方向にカメラワークが実行さ

---

れるようになっている。

### 4.2.3 カメラワークの記述方法

ここではカメラワークの記述方法について記述する。

このカメラワーク記述方法は、プログラミングの知識がない人でも簡単に記述出来るインターフェイスを前提に開発を行った。なぜならばドーム映像が普及しコンテンツの制作が活発化した際に、確立した制作手法を使い全天周映像を制作するのは、従来の映像の制作をしている方々だと想定しているからである。そのため、プログラミングの知識がなくても、簡単なレクチャーで記述出来るインターフェイスである必要があると考え、開発を行った。

カメラワークを記述するのはテキスト記述が可能なソフトならば全て対応している。本研究では Sublim Text2 を使いカメラワーク記述を行った。図 4-3 は実際に Sublim Text2 を使い記述したカメラワークである。以下で図 4-4 を使いカメラワークの記述方法について解説を行う。

```
1 0, 2, fix, 0, 0,  
2 2, 4, tilt, 0, 20,  
3 4, 6, tilt, 20, 0,  
4 6, 8, zoom, 35, 30,  
5 8, 10, zoom, 30, 35,  
6 10, 12, pan, 0, 100,  
7 12, 14, pan, 100, 0,  
8 14, 16, pan, 180, 180,  
9 16, 18, tilt, 0, 20,  
10 16, 18, pan, 180, 200,  
11 16, 18, zoom, 35, 20,  
12 18, 20, tilt, 20, 0,  
13 18, 20, pan, 200, 180,  
14 18, 20, zoom, 20, 35,  
15
```

図 4-3：実際に記述したカメラワーク記述



図 4-4 : カメラワークの記述書式

カメラワークを記述する際に入力する情報は大きく「回転させる時間」「カメラワークの種類」「カメラワークさせる角度」の3つある。まず回転させる時間を指定する際は、「回転させ始める時間」と「回転させ終わる時間」の2つを入力することによりその時間の間カメラワークが実行される。次にカメラワークを指定する際は、左右に回転させるパンの場合は「pan」、上下に動かすチルトの場合は「tilt」、注目させたいものに近づけたり遠ざけたりするズームの場合は「zoom」のどれかを入力することにより、指定されたカメラワークが実行される。次に回転させる角度を指定する際は、「回転させ始める際の角度」と「回転させ終わる際の角度」の2つを入力することにより、指定された角度のカメラワークが実行される。

次に連続してカメラワークを設定する方法について図 4-5 を使い解説する。

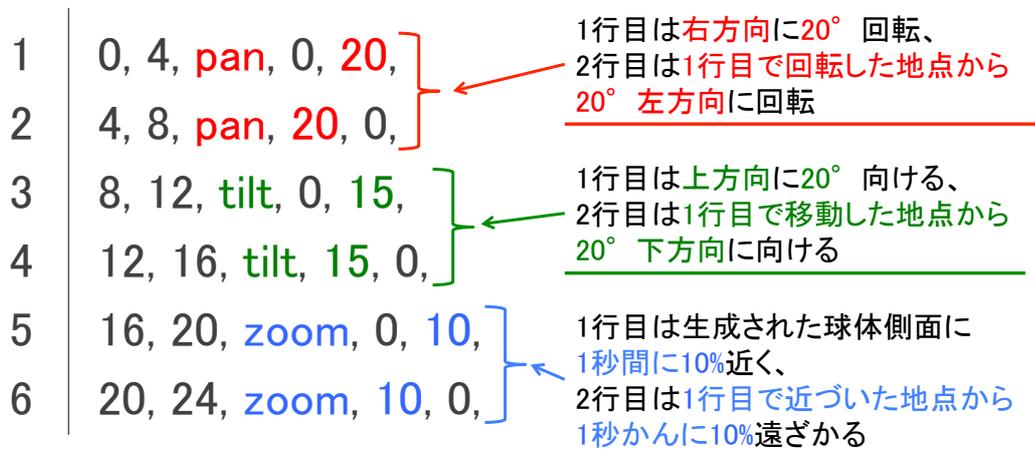


図 4-5:連続してカメラワークを設定する方法

---

以上がカメラワークの記述方法である。

このように指定した時間、カメラワーク、角度が実行されるような、ドーム映像再生ソフト「Dome Player」を開発した。

---

## 第5章 ドーム用実写映像コンテンツ制作のための予備実験

### 5.1 実験目的

本実験の目的は第4章で述べたドーム環境において映像を水平方向に映像を回転させる際の制約を検証するという点を明らかにすることにある。従来ドーム環境などのVR環境内において、自らの意思とは異なる動きや、速すぎる映像の動きなどにおいてVR酔いと呼ばれる違和感などのVR酔いと呼ばれる現象が発生する<sup>[4]</sup>。このVR酔いを起こさないために、ドーム環境において映像を水平方向に回転させる場合、どの程度の速さまで許容されるのかを検証するために直径4mのエアドームで実験を行った。

#### 5.1.1 実験環境

ここでは実験の環境と実験で用いたコンテンツについて説明する。

実験場所は慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科内で、そこに4mのエアドームを設置した(図5-1)。エアドーム内には被験者に1人ずつ入ってもらい実験・評価を行った。以下、カメラワーク速度の制約のための実験環境について図5-2を用いて説明する。



図 5-1：図設置したエアドーム

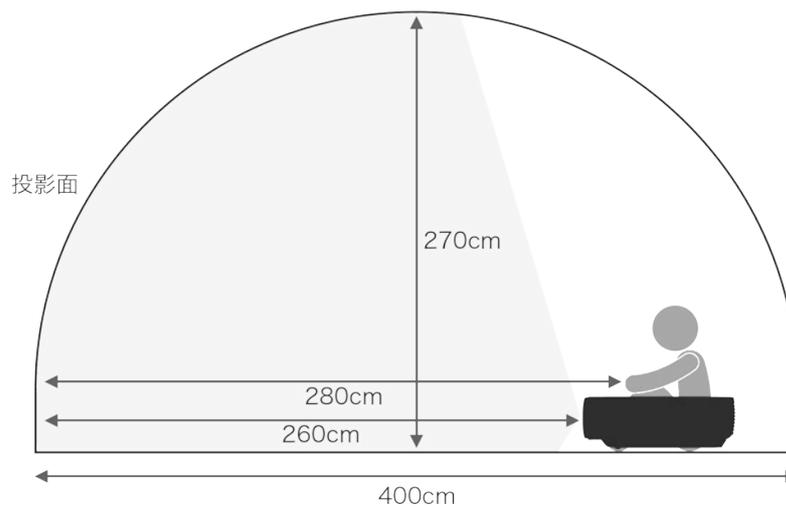


図 5-2：実験環境の概略図

ドームのサイズは直径 400cm、半径 200cm、視聴者からドームの投影面との距離は 280cm の状態で実験を行った。プロジェクタは SONY の 4K プロジェクタ VPL-VW1100ES を用いて、投影面から 260cm 離れた場所に設置を行った。またプロジェクタに対する映像再生装置としては、GWS (AeroStream, Corei7-5960X, GeForce GTX970, 32GB メモリ: TSUKUMO 社) を使用した。次に用いたコンテンツについて説明する。

---

コンテンツとして8つのコンテンツを用意した。

映像自体はどれも多摩川の河川敷で撮影を行い、半径10mの円の中心に全天周カメラを設置して、円周に沿って人物が左方向に移動する映像を撮影した。撮影した映像は①ゆっくり歩いている動画（秒速4°で回転）、②普通に歩いている動画（秒速8°で回転）、③速歩きをしている動画（秒速12°で回転）、④走っている動画（秒速24°で回転）の4つである。

この撮影した4つの動画を、動画編集ソフトAdobe Premiere Proを使い、常に人物が視聴者の正面方向に投影されるように水平方向に映像を回転させるものと、映像を回転させないもの4つの合計8つの映像の投影を行い、評価を行った。

### 5.1.2 実験方法

ここでは実験の方法について述べる。

まず、水平方向に映像を回転させる際の制約を評価するために、5.1.1で説明した8つの動画を視聴してもらった後に以下の質問項目を含んだアンケートに0~4の5段階評価で答えてもらい評価を行った。

- 「人物を注目したか」

水平方向に映像を回転させ常に人物が視聴者の正面にくるものと、映像を回転させずに人物が視聴者の周囲を回転するものの2種類を用意しているため、この項目を入れドーム環境において水平方向に映像を回転させる際の評価を行った。

- 「人物を目線で追うことが出来たか」

水平方向に映像を回転させ常に人物が視聴者の正面にくるものと、映像を回転させずに人物が視聴者の周囲を回転するものの2種類を用意しているため、この項目を入れドーム環境において水平方向に映像を回転させる際の効果の評価を行った。

---

- 「回転速度は速すぎたか」

映像の回転速度を毎秒4度から毎秒24度の4種類用意しているため、それぞれの映像の回転速度に対してどのような印象を受けるのかを検証するためにこの項目を入れ、映像を回転させる際の許容速度の評価を行った。

- 「映像酔いがしたか」

ドーム用実写コンテンツ作成の際には、映像の動きが激しいと空間そのものが揺れ動いているように見えて激しい映像酔いを引き起こす。本実験では映像の回転速度を毎秒4度から毎秒24度の4種類用意しているが、どの程度の映像の回転速度から映像酔いが起こりやすいかを検証するためにこの項目を入れ、ドーム環境における映像を回転させる際の許容速度の評価を行った。

上記4個のアンケートをドーム環境において映像を水平方向に回転させる際の制約の評価のために用意し評価を行った。

### 5.1.3 実験結果

実験結果について記述する。

全体の分析結果を記述した後に、各アンケート項目について映像を回転させた際のもの、映像を回転させなかったものの両方のアンケート結果について記述していく。それぞれ、 $n=10$  であり、 $*p<0.05$ 、 $**p<0.01$  である。

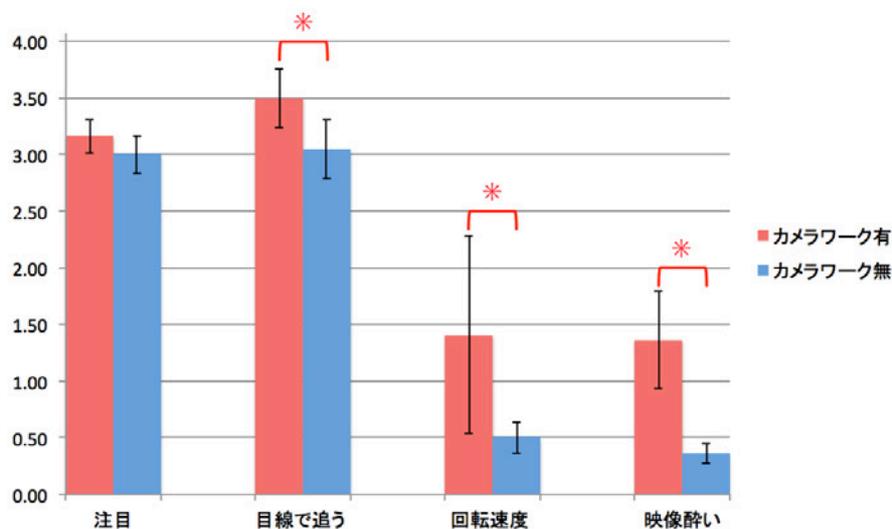


図 5-3：ドーム環境において映像を水平方向に映像を回転させる際の制約検証実験の結果

ドーム環境において映像を水平方向に映像を回転させる際の制約検証実験の結果として全回転速度を含めると図 5-3 の結果が得られた。結果として映像を回転させた際のもの、映像を回転させなかった際のものと比較した t 検定の結果「目線で追うことが出来たか」「回転速度は速すぎたか」「映像酔いがしたか」の 3 項目において 5% で有意差が見られた。これらのことから、ドーム映像において映像を回転させた場合、目線で追わせることが出来るなどの効果はあるものの、またその回転速度において一定の制約があることがわかった。

また「回転速度は速すぎたか」「映像酔いはしたか」というアンケート項目において結果に大きな開きがあったため、より詳細な分析を行った。

---

### 「回転速度が早すぎたか」に対する平均評価

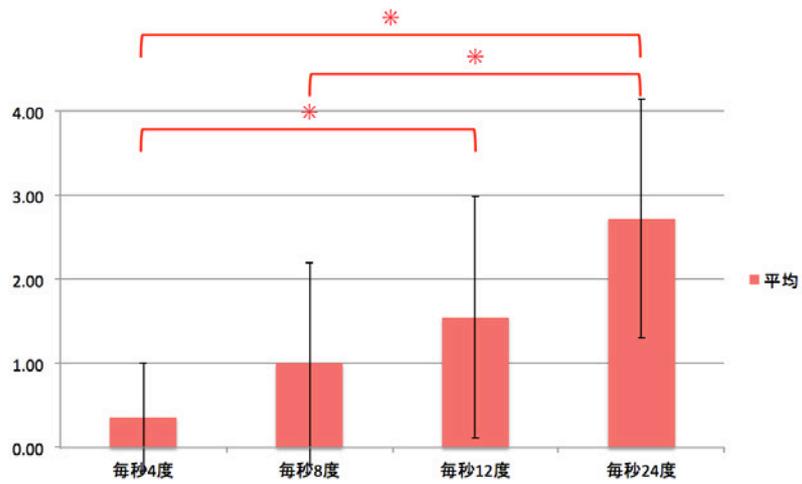


図 5-4：映像を回転させた際の「回転速度が速すぎたか」に対する平均評価

アンケート項目「回転速度が速すぎたか」に対する平均値の多重比較の結果として図 5-4 が得られた。結果として映像を回転させた場合、「毎秒 4° と毎秒 12° 」「毎秒 4° と毎秒 24° 」「毎秒 8° と毎秒 24° 」の間に有意差が見られた。

### 「映像酔いはしたか」に対する平均評価

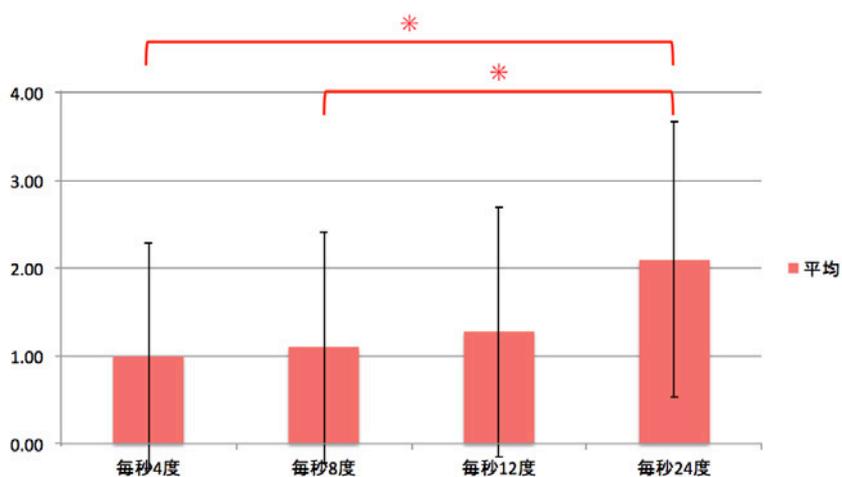


図 5-5：映像を回転させた際の「映像酔いはしたか」に対する平均評価

アンケート項目「映像酔いはしたか」に対する平均値の多重比較の結果として図 5-5 が得られた。結果として映像を回転させた場合、「毎秒 4° と毎秒 24° 」「毎秒 8° と毎秒 24° 」の間に有意差が見られた。

これらのことからドーム環境において映像を水平方向に回転させることは視聴者の視線を誘導する際に効果はあるものの、違和感や映像酔いを引き起こさないために毎秒 8° 程度の回転までに留めておいた方が良いということがわかった。

下記では各アンケート項目の詳細な結果について記述していく。

表 5-1：アンケート結果 1.3.1

人物を注目することは出来ましたか（カメラワークあり）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
映像が秒速4° で回転	1. 注目出来なかった ⇔ 4. 注目出来た	3.27	0.96
映像が秒速8° で回転	1. 注目出来なかった ⇔ 4. 注目出来た	3.18	0.94
映像が秒速12° で回転	1. 注目出来なかった ⇔ 4. 注目出来た	3.27	0.96
映像が秒速24° で回転	1. 注目出来なかった ⇔ 4. 注目出来た	2.91	1.00

映像を回転させた場合の「人物に注目して見ることが出来たか」という質問に対しては、秒速 4°、秒速 8°、秒速 12° の速度で回転させるまでは平均 3 を超える数値となった。しかし、秒速 24° での回転の場合 3 を下回る数値となり、速い速度で映像を回転させた場合、逆に人物に注目させることが難しいという結果となった。また映像を回転させた場合の「人物に注目して見ることが出来たか」という質問の評価の平均は 3.16 となり、またそれぞれの標準偏差は 0.96、0.94、0.96、1.00 という値になった。

表 5-2：アンケート結果 1.3.2

人物を注目することは出来ましたか（カメラワークなし）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
人物が秒速4° で回転	1. 注目出来なかった ↔ 4. 注目出来た	2.91	1.24
人物が秒速8° で回転	1. 注目出来なかった ↔ 4. 注目出来た	3.27	0.75
人物が秒速12° で回転	1. 注目出来なかった ↔ 4. 注目出来た	3.00	0.95
人物が秒速24° で回転	1. 注目出来なかった ↔ 4. 注目出来た	2.82	1.27

映像を回転させなかった場合の「人物に注目して見ることが出来たか」という質問に対しては、秒速 8° と秒速 12° で人物が動いている場合にのみ 3 を超える結果となった。秒速 4° と秒速 24° の遅すぎる場合と速すぎる場合は、3 を下回る結果となり、逆に人物を注目して見せるのは難しいという結果となった。また映像を回転させなかった場合の「人物に注目して見ることが出来たか」という質問の評価の平均は 3.00 となり、またそれぞれの標準偏差は 1.24、0.75、0.95、1.27 という値になった。

このアンケート項目から、映像を回転させた場合と回転させなかった場合では、秒速 12° までの回転速度までなら映像を回転させた方が人物に注目させることが出来るということがわかった。

表 5-3 : アンケート結果 1.3.3

人物を目線で追うことは出来ましたか (カメラワークあり)			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
映像が秒速4° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.73	0.45
映像が秒速8° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.73	0.45
映像が秒速12° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.45	0.78
映像が秒速24° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.09	1.16

映像を回転させた場合の「人物を目線で追うことが出来たか」という質問に対しては、全ての回転速度において平均3を超える数値となった。このアンケート項目から映像を回転させることは人物を目線で追わせたい場合非常に有効であることがわかった。また映像を回転させた場合の「人物に注目して見る事が出来たか」という質問の評価の平均は3.5となり、またそれぞれの標準偏差は0.45、0.45、0.78、1.16という値になり、秒速24°で映像を回転させた時以外は比較的小さいばらつきとなった。

表 5-4 : アンケート結果 1.3.4

人物を目線で追うことは出来ましたか (カメラワークなし)			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
人物が秒速4° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.09	1.16
人物が秒速8° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.36	0.64
人物が秒速12° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	3.09	1.00
人物が秒速24° で回転	1. 目線で追うことが出来なかった ⇔ 4. 目線で追うことが出来た	2.64	1.23

映像を回転させなかった場合の「人物を目線で追うことが出来たか」という質問に対しては、秒速4°、秒速8°及び秒速12°で人物が動いている場合にのみ3を超える結果となった。秒速24°の場合は、3を下回る結果となり、逆に人物を目線で追わせるのは難しいという結果となった。また映像を回転させなかった場合の「人物を目線で追

うことが出来たか」という質問の評価の平均は 3.05 となり、またそれぞれの標準偏差は 1.16、0.64、1.00、1.23 という比較的高い値になった。

このアンケート項目から、映像を回転させた場合と回転させなかった場合では、映像を回転させた方が平均して人物を目線で追わせることが出来るということがわかった。

表 5-5：アンケート結果 1.3.5

映像の回転速度は速すぎたか（カメラワークあり）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
映像が秒速4°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	0.36	0.64
映像が秒速8°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	1.00	1.21
映像が秒速12°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	1.55	1.44
映像が秒速24°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	2.73	1.42

映像を回転させた場合の「映像の回転速度は速すぎたか」という質問に対しては、秒速 4°、秒速 8°、秒速 12° の速度で回転させるまでは平均 2 を下回る数値となった。しかし、秒速 24° での回転の場合 2 を上回る数値となり、速い速度で映像を回転させた場合、視聴者は速すぎると感じるということがわかった。また映像にカメラワークをつけた場合の「回転速度は速すぎたか」という質問の評価の平均は 1.18 となり、それぞれの標準偏差は 0.96、0.94、0.96、1.00 という値になった。

表 5-6：アンケート結果 1.3.6

人物の回転速度は速すぎたか（カメラワークなし）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
人物が秒速4°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	0.36	0.77
人物が秒速8°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	0.45	0.78
人物が秒速12°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	0.45	0.78
人物が秒速24°で回転	1. 速すぎると感じなかった ↔ 4. 速すぎると感じた	0.73	0.86

映像を回転させなかった場合の「人物の回転速度は速すぎたか」という質問に対しては、どの速度でも1を下回る結果となり、また標準偏差も0.77、0.78、0.78、0.86とばらつきも小さかった。

このアンケート項目から、映像を回転させた場合秒速12°を超える速度のカメラワークをつけると、視聴者は映像の回転が速すぎると感じてしまうことがわかった。

表 5-7：アンケート結果 1.3.7

映像酔いがしたか（カメラワークあり）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
映像が秒速4°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	1.00	1.28
映像が秒速8°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	1.09	1.31
映像が秒速12°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	1.27	1.42
映像が秒速24°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	2.09	1.56

映像を回転させた場合の「映像酔いはしたか」という質問に対しては、秒速4°、秒速8°、秒速12°の速度で回転させるまでは平均2を下回る数値となった。しかし、秒速24°での回転の場合2を上回る数値となり、速い速度で映像を回転させた場合、視聴者は映像酔いを感じるということがわかった。また映像を回転させた場合の「映像酔いはしたか」という質問の評価の平均は1.36となり、それぞれの標準偏差は1.28、1.31、1.42、1.56と全体的に大きいばらつきとなった。

表 5-8：アンケート結果 1.3.7

映像酔いがしたか（カメラワークなし）			
映像	アンケート項目	平均	標準偏差
人物が秒速4°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	0.45	1.16
人物が秒速8°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	0.27	0.62
人物が秒速12°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	0.45	0.89
人物が秒速24°で回転	1.映像酔いは感じなかった ↔ 4.映像酔いを感じた	0.27	0.62

---

映像を回転させなかった場合の「映像酔いはしたか」という質問に対しては、どの速度でも1を下回る結果となり、また標準偏差も1.16、0.62、0.89、0.62と比較的ばらつきも小さかった。

このアンケート項目から、秒速 $12^\circ$ を超える速度で映像を回転させた場合、視聴者は映像の映像酔いを感じてしまうことがわかった。

---

## 第6章 ドーム環境下におけるカメラワークの 検証実験

### 6.1 実験目的

本実験の目的は第4章で述べたドーム映像再生ソフトを使い、ドーム環境におけるカメラワークの効果を検証するという点を明らかにすることにある。第5章で検証した水平方向に映像を回転させる際の制約を守り、映像を左右に動かすパン、映像を上下に動かすチルト、映像の一部に近づけたり遠ざけたりするズームアップ・ズームダウンなどを取り入れたコンテンツを提示し、制作者が意図した視線の動きを視聴者が行うか否かを検証するために視線計測装置を用いて実験を行った。

#### 6.1.1 実験環境

ここでは実験の環境と実験で用いたコンテンツについて説明する。

実験場所は慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科内で、そこに直径4mのエアドームを設置した(図6-1)。エアドーム内には被験者1人ずつ入ってもらい実験・評価を行った。以下、検証のための実験環境について図6-2を用いて説明する。

ドームのサイズは直径400cm、半径200cm、視聴者からドームの投影面との距離は280cmの状態で行った。プロジェクタはSONYの4KプロジェクタVPL-VW1100ESを用いて、投影面から260cm離れた場所に設置を行った。またプロジェクタに対する映像再生装置としては、GWS(AeroStream, Corei7-5960X, GeForce GTX970, 32GBメモリ:TSUKUMO社)を使用した。

次に用いたコンテンツについて説明する。

コンテンツとして7つのコンテンツを用意した。映像自体はどれも慶応義塾大学大学

---

院システムデザイン・マネジメント研究科内で撮影を行った。映像は慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の学生2人に協力してもらい、1つ30秒程度の物を3つ撮影した。

▼ 映像1 (図6-3)

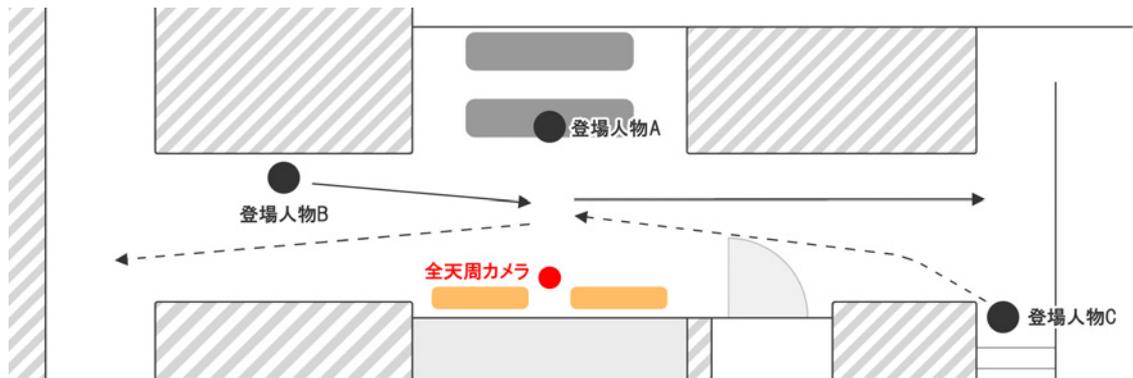


図6-3：映像1の天空図



図6-4：映像1をドーム内に投影した様子

視聴者から見て、ドーム環境下において映像中央奥に登場人物A、映像左手に登場人物Bが写り込んでいる状態から始まる。映像開始10秒後に登場人物Bは右手側に歩き出し、同じく映像開始10秒後に映像右手から登場人物Cが左手に歩いてくる。登場人物Bと登場人物Cは、視聴者からみて映像中央手前で落ち合い、10秒程度会話を交わす。その後登場人物Bは映像右手に、登場人物Cは映像左手に歩き

---

---

出す。その後 2 秒後に映像は終了。

▼ 映像 2 (図 6-4)

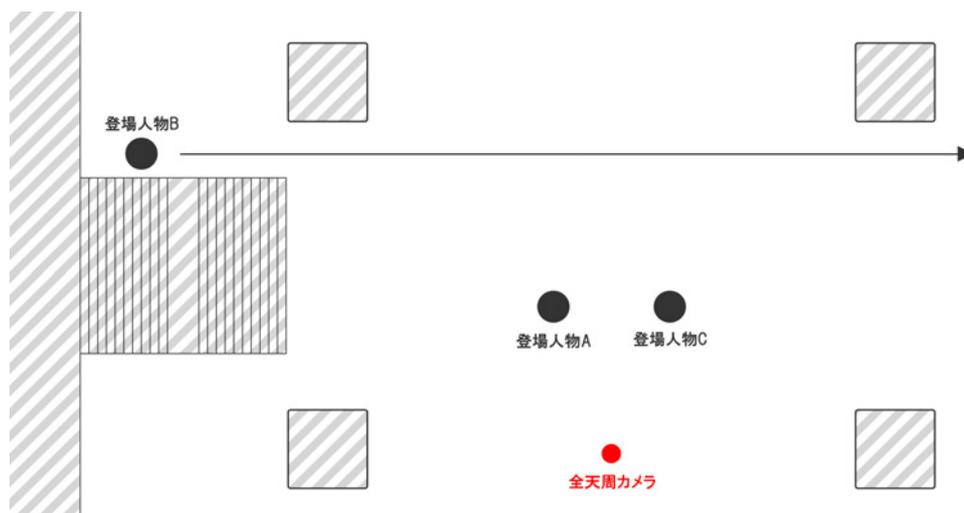


図 6-5 : 映像 2 の天空図



図 6-6 : 映像 2 をドーム内に投影した様子

視聴者から見て、ドーム環境下において映像中央右手に登場人物 C、映像中央左手に登場人物 A が会話している所から始まる。映像開始 10 秒後に登場人物 B が登

---

---

場人物 A、登場人物 B の 3m 奥手を視聴者から見て映像左手から映像右手に約 15 秒かけて歩きながら移動する。その後 2 秒後に映像は終了。

▼ 映像 3 (図 6-5)

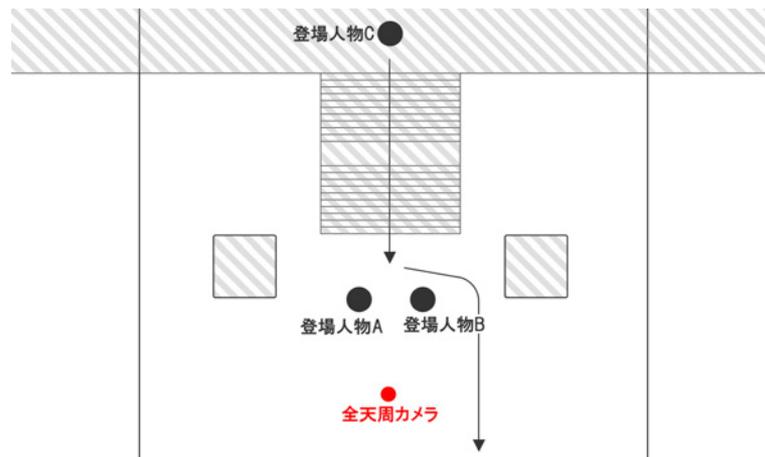


図 6-7：映像 3 の天空図

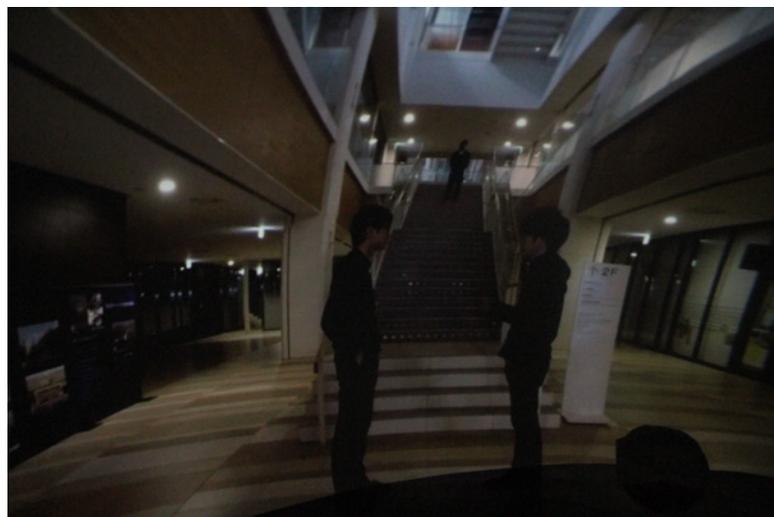


図 6-8：映像 3 をドーム内に投影した様子

視聴者から見て、ドーム環境下において映像中央右手に登場人物 B、映像中央左手に登場人物 A が会話している所から始まる。映像開始 10 秒後に登場人物 C が視聴者から見て中央上部から、映像中央に設置されている階段を降りてくる形で登場。

---

登場人物 C は約 15 秒かけて階段を降りてきた後に、登場人物 A と登場人物 B と落ち合い約 10 秒程度会話を交わし、視聴者から見て後方右手に向けて歩き出す。その後 2 秒後に映像は終了。

以上の 3 つの映像を撮影した。

投影したコンテンツは

- ①映像 1 のコンテンツを、カメラワークをつけずに投影。
- ②映像 2 のコンテンツを、カメラワークをつけずに投影。
- ③映像 3 のコンテンツを、カメラワークをつけずに投影。
- ④映像 1 のコンテンツに、登場人物 C にフォーカスを当てるようなカメラワークを設定。  
開始 27 秒から 31 秒にかけて映像を左方向に毎秒 3 度でパン。登場人物 C と B が会話を終え歩き出す開始 39 秒から 50 秒にかけて再度左方向に毎秒 3 度でパン。
- ⑤映像 2 のコンテンツに、登場人物 B にフォーカスを当てるようなカメラワークを設定。  
開始 20 秒から 28 秒にかけて映像を右方向に毎秒 3.6 度でパン。
- ⑥映像 3 のコンテンツに、登場人物 C にフォーカスを当てるようなカメラワークを設定。  
開始 24 秒から 28 秒にかけて登場人物 C に向けて毎秒 1.8 度のチルトアップ及び毎秒 6 度のズームアップ。登場人物 C が階段を下り終わる開始 31 秒に合わせて 27 秒から初期位置にチルトダウン及びズームダウン。
- ⑦映像 1 のコンテンツに、登場人物 B にフォーカスを当てるようなカメラワークを設定。  
開始 27 秒から 31 秒にかけて映像を右方向に毎秒 3 度でパン。登場人物 C と B が会話を終え歩き出す開始 39 秒から 50 秒にかけて再度右方向に毎秒 3 度でパン。

以上の 7 つ動画の投影を行い、評価を行った。

### 6.1.2 実験方法

ここでは実験の方法について述べる。

まず、ドーム環境におけるカメラワークの効果を評価するために、6.1.1 で説明した

---

---

映像コンテンツを視聴してもらった後に、各映像に沿った以下の質問項目を含んだアンケートに0～4の5段階評価で答えてもらい評価を行った。

● 「映像1について、それぞれの登場人物についてどれくらい注目しましたか。」

-1：登場人物A

-2：登場人物B

-3：登場人物C

カメラワークをつけた際とつけなかった際、被験者が各登場人物に対する注目度合いがどの程度の変化するのかを検証するための評価を行った。

またアンケートのみでは被験者が映像に抱く印象という定性的な要素も含まれる可能性があると考え、より定量的な検証を行うために視線計測装置を被験者に装着してもらい映像を見てもらい評価を行った。（図：6-x）



図 6-9：視線計測装置を装着した被験者

上記のアンケート及び視線計測装置を使い、ドーム環境におけるカメラワークの効果の評価を行った。

---

## 6.2 実験結果

実験結果について記述する。先にアンケートの分析結果について記述した後に、視線計測装置の分析結果について記述していく。

アンケートの評価からの検証結果としては、投影したコンテンツにおいてカメラワークをつけたことによる有意差は見られなかった。まず映像 1 をカメラワークをつけずに投影した投影 No. 1、登場人物 C にカメラワークをつけた投影 No. 4、登場人物 B にカメラワークをつけた投影 No. 7 のアンケート結果について記述をする。

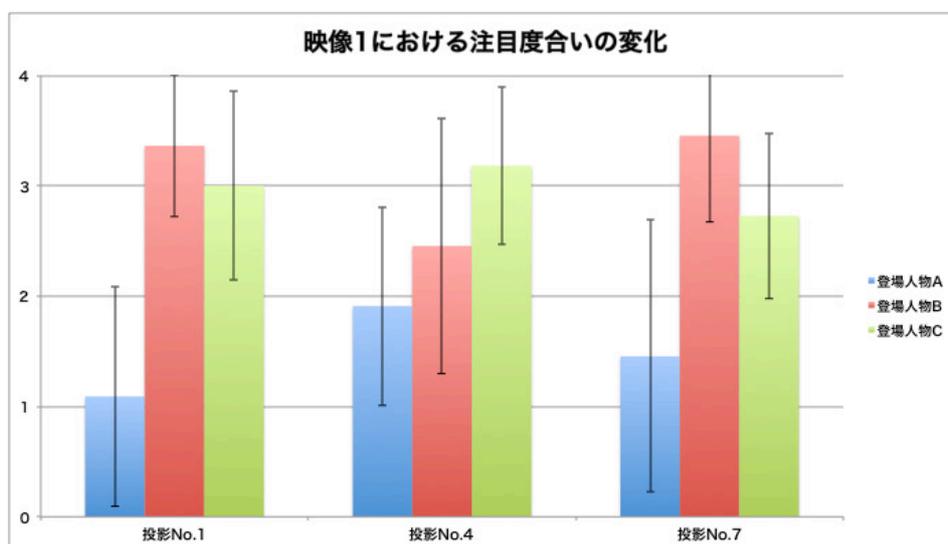


図 6-10：映像 1 における注目度合いの変化

映像 1 では投影 No. 1 はカメラワーク無し、投影 No. 4 は登場人物 C (図上では緑色)、投影 No. 7 では登場人物 B (図上では赤色) にカメラワークをつけて評価を行った。

---

---

登場人物 C に関しては、カメラワーク無しの時の平均評価は 3.00、カメラワークをつけた時は 3.18、別の登場人物にカメラワークをつけた時は 2.73 という評価だった。平均評価上はカメラワークをつけた際的评价が一番高かったが、詳細な分析を行うために分散分析を行った結果有意差は見られなかった。

登場人物 B に関しては、カメラワーク無しの時の平均評価は 3.36、別の登場人物にカメラワークをつけた時は 2.45、カメラワークをつけた時は 3.45 という評価だった。平均評価上はカメラワークをつけた際的评价が一番高かったが、詳細な分析を行うために分散分析を行った結果有意差は見られなかった。

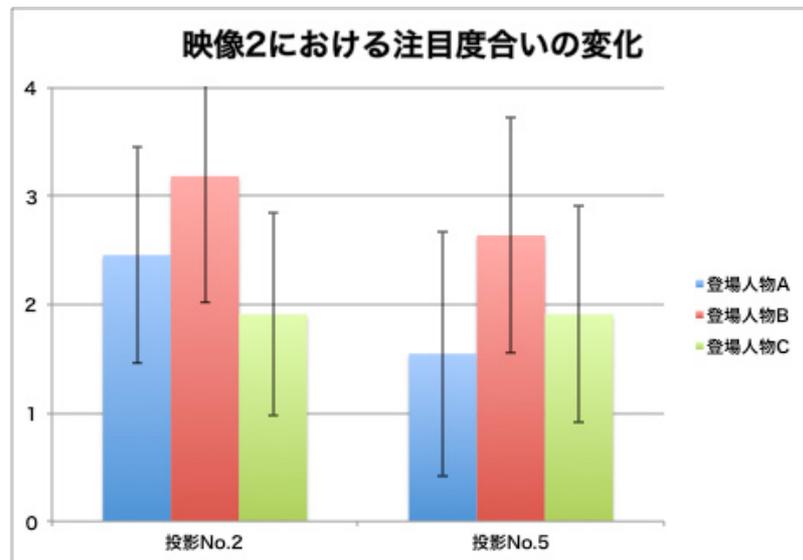


図 6-11：映像 2 における注目度合いの変化

映像 2 では投影 No. 2 はカメラワーク無し、投影 No. 5 は登場人物 B（図上では赤色）にカメラワークをつけて評価を行った。

登場人物 B に関して、カメラワーク無しの時の平均評価は 3.18、カメラワークをつけた時は 2.64 という評価だった。平均評価上はカメラワークをつけない方が高い結果となった。また詳細な分析を行うために分散分析を行った結果有意差は見られなかった。

---

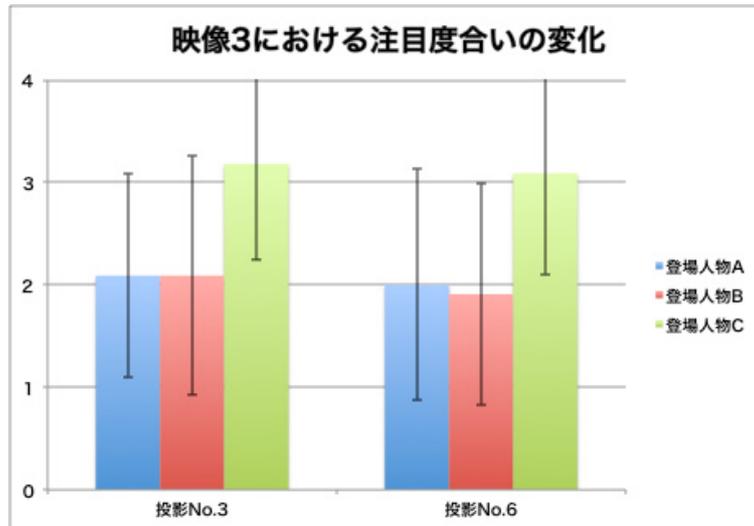


図 6-12：映像 3 における注目度合いの変化

映像 3 では投影 No. 3 はカメラワーク無し、投影 No. 6 は登場人物 C（図上では緑色）にカメラワークをつけて評価を行った。

登場人物 C に関して、カメラワーク無しの時の平均評価は 3.18、カメラワークをつけた時は 3.09 という評価だった。平均評価上はカメラワークをつけない方が高い結果となった。また詳細な分析を行うために分散分析を行った結果有意差は見られなかった。

次に視線計測装置の分析結果について記述した後に、視線計測装置の分析結果について記述していく。視線計測結果としては、各登場人物に対してどの程度の時間見ていたかをフレーム数で計算し、それぞれの計測時間を合計したものを 1 とした際の、各登場人物の割合の平均値と標準偏差をそれぞれ示す。それぞれ、 $n=6$  であり、 $*p<0.05$ 、 $**p<0.01$  である。

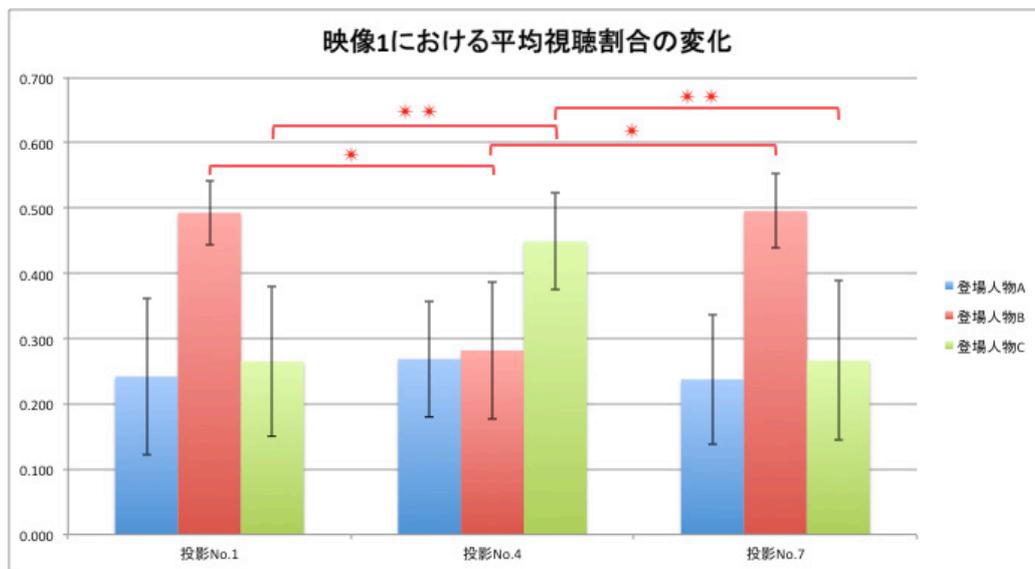


図 6-13 : 映像 1 における視線計測結果の変化

映像 1 では投影 No. 1 はカメラワーク無し、投影 No. 4 は登場人物 C (図上では緑色)、投影 No. 7 では登場人物 B (図上では赤色) にカメラワークをつけて評価を行った。

登場人物 B に関しては、カメラワーク無しの時の平均視聴割合は 0.493 だったのに対して、カメラワークをつけた際の平均視聴割合は 0.496、別の登場人物にカメラワークをつけた際の平均視聴率は 0.282 であった。映像の構成上カメラワークをつける前から平均視聴割合は高かったが、別の登場人物にカメラワークをつけた際に平均視聴割合は大きく低くなり、カメラワークが有効であることがわかった。詳細な分析のために分散分析及び多重比較を行った結果、投影 No. 4 と投影 No. 1、投影 No. 4 と投影 No. 7 で  $p=0.012$  で 5% の有意差が見られた。また登場人物 B における標準偏差は、投影 No. 1 の際は 0.115、投影 No. 4 の際は 0.074、投影 No. 7 の際は 0.123 と比較的大きかった。やはり、注目させたい人物に対してカメラワークをつけることが、5% 有意で効果的だという結果が出た。

登場人物 C に関しては、カメラワーク無しの時の平均視聴割合は 0.265 だったのに対して、カメラワークをつけた際の平均視聴割合は 0.449、別の登場人物にカメラワークをつけた際の平均視聴率は 0.267 であった。カメラワークをつけなかった時と別人物にカメラワークをつけた時に比べて、登場人物 C にカメラワークをつけた時の方が平均視

---

聴割合の方が高くなり、カメラワークが有効であることがわかった。詳細な分析のために分散分析を行った結果、投影 No. 4 と投影 No. 1、投影 No. 4 と投影 No. 7 で 0.002 の 1% の有意差が見られた。また登場人物 B における標準偏差は、投影 No. 1 の際は 0.049、投影 No. 4 の際は 0.105、投影 No. 7 の際は 0.057 とばらつきが比較的大きかった。やはり、注目させたい人物に対してカメラワークをつけることが、1%有意で効果的だという結果が出た。

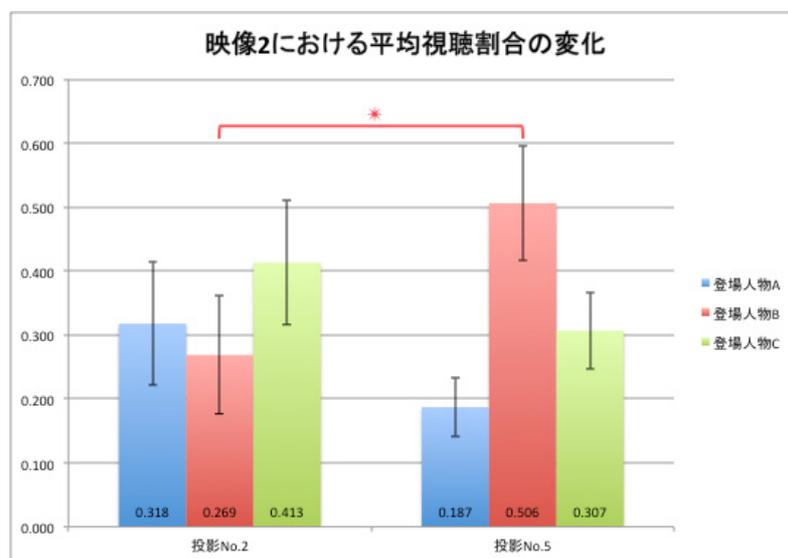


図 6-14 : 映像 2 における視線計測結果の変化

映像 2 では投影 No. 2 はカメラワーク無し、投影 No. 5 は登場人物 B（図上では赤色）にカメラワークをつけて評価を行った。

登場人物 B に関して、カメラワーク無しの時の平均視聴割合は 0.269 だったのに対して、カメラワークをつけた際の平均視聴割合は 0.506 となり、カメラワークが効果的であることがわかった。詳細な分析のために分散分析及び多重比較を行った結果、投影 No. 5 と投影 No. 2 で  $p=0.026$  で 5% の有意差が見られた。また登場人物 B における標準偏差は、投影 No. 2 の際は 0.092、投影 No. 5 の際は 0.090 とばらつきが小さかった。やはり、注目させたい人物に対してカメラワークをつけることが、5%有意で効果的だという

---

結果が出た。

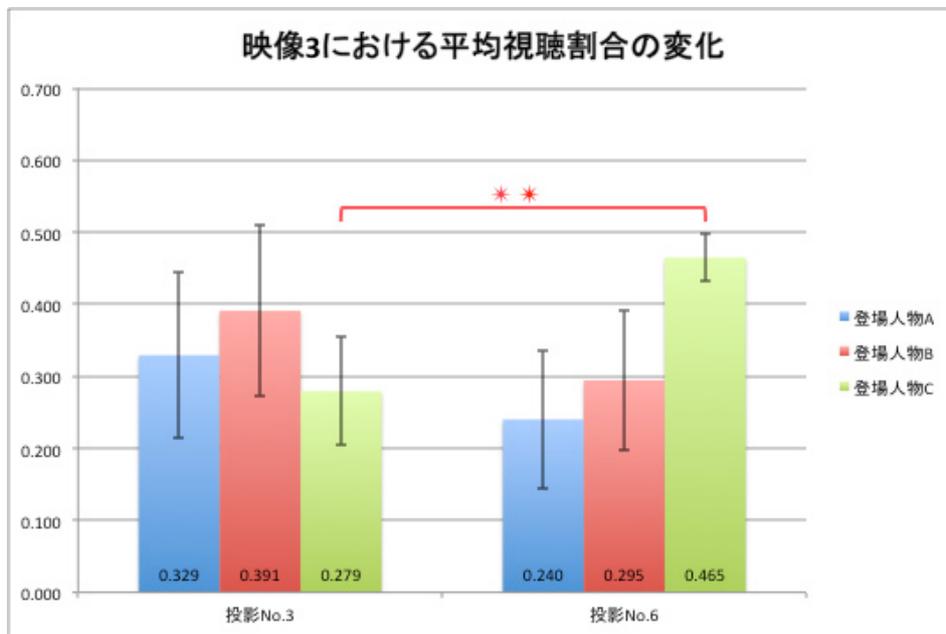


図 6-15：映像 3 における視線計測結果の変化

映像 3 では投影 No. 3 はカメラワーク無し、投影 No. 6 は登場人物 C（図上では緑色）にカメラワークをつけて評価を行った。

登場人物 C に関して、カメラワーク無しの時の平均視聴割合は 0.279 だったのに対して、カメラワークをつけた際の平均視聴割合は 0.465 となり、カメラワークが効果的であることがわかった。詳細な分析のために分散分析を行った結果、投影 No. 3 と投影 No. 6 で  $p=0.001$  の 1% の有意差が見られた。また登場人物 B における標準偏差は、投影 No. 2 の際は 0.075、投影 No. 5 の際は 0.033 とばらつきが小さかった。やはり、注目させたい人物に対してカメラワークをつけることが、1% 有意で効果的だという結果が出た。

今回ドーム環境におけるカメラワークの効果の検証実験として、アンケート及び視線計測装置の両方を使って評価を行った。その結果、アンケートではカメラワークは効果的であるという結果はでなかったが、視線計測装置ではカメラワークが効果的であるという結論が出た。これは、被験者がアンケートに誰に注目したか否かではなく、映像の

---

中で一番誰が印象に残ったかという個人の感覚値に近い定性的な評価を記述したことによるのではないかと考察する。そのため、視線計測装置を使った定量的なデータの分析からは、カメラワークの影響で被験者が潜在意識の中で注目した人物を評価出来たのではないかと考える。

### 6.3 インタビューを通した Dome Player の評価

本研究では全天周映像にカメラワークを取り入れることで、今後の波及効果として全天周映像コンテンツが増加し、ドーム環境の有効活用が期待出来ると考えている。そのため、今後ドーム映像コンテンツの制作が活発化していく中で、実際に Dome Player のユーザになることが想定される、従来の映像コンテンツで映像ディレクターをやられている方にご協力頂き、実際にドーム環境下でカメラワークを取り入れた映像をご覧頂き、その後インタビューを通して Dome Player に対する評価をして頂いた。

インタビューは実際にドーム内でカメラワークを取り入れた映像をご覧頂いた後に、全天周映像の撮影のやり方、全天周映像の映像編集のやり方、カメラワークを設定するためのシナリオ記述のやり方、そして Dome Player での再生の仕方について説明し、実際に全天周映像の映像編集及びカメラワークの設定のためのシナリオ記述、Dome Player での再生までを体験して頂いた後にインタビューを行った。

インタビューを行う上で、「確立した全天周映像の制作手法は、従来の映像制作と比較してどのような印象を受けるか」「従来の映像制作で培ってきた知識は、全天周映像の制作に応用できるか」などの質問項目を用意して、確立した全天周映像の制作手法のインタフェースについて評価をして頂いた。

「確立した全天周映像の制作手法は、従来の映像制作と比較してどのような印象を受

---

---

けるか」という質問に対しては、「比較的簡単なレクチャーで出来るため、移行しやすい」との評価を頂いた。その中で「従来の映像と全天周映像の制作手法は根本的に違う。従来の映像は撮影段階で絵作りに大変な思いをしながら取り組み、編集段階でも思い描いている作品に仕上げるために大変な思いをしながら取り組む。しかし全天周映像は360°撮れるため、撮影段階でも編集段階でも（従来の映像制作と比べて、手を加えることの出来ない部分が多々あるため）逆に考えることが少なくて済む。その代わりに、企画段階で全天周映像を生かせる魅力的なコンテンツを考えるのに大変だと思う。」とのコメントを頂いた。

「従来の映像制作で培ってきた知識は、全天周映像の制作に応用できるか」という質問に対しては、「十分に応用出来る」との評価を頂いた。その中で「同じ映像制作として変わらない部分はあるので、生かしていける知識も多くある。しかし従来の映像制作と同じクオリティのものを作ることはかなり難しい。従来は撮影段階でカメラの後ろにいる見えない部分でのスタッフの働きが高いクオリティを作り上げているが、360°での映像制作となるとその働きが出来なくなるので、従来のものと比較するとクオリティは低くなってしまうと思う。しかし、従来の360°での映像制作となると、従来と同じ尺度・方向のコンテンツではなく、これだけしか出来ない魅力的な尺度・方向のコンテンツがあると思う。」とのコメントを頂いた。

このインタビューを通して、本研究で行ったカメラワークを取り入れた全天周映像コンテンツの制作手法に対する高い評価を頂くことができた。

## 6.4 考察

第6章では実験とインタビューを通して、本研究で確立した全天周映像の制作手法について検証を行った。実験では、アンケートを使った定性的な評価では結果から有意差は出なかったものの、視線計測装置を使った定量的な評価からは有意差が見られた。このことから、制作者の意図を反映させるためのカメラワークは、ドーム環境下において

---

も効果的であることがわかった。

また今後 Dome Player のユーザになることが想定される現役の映像ディレクターの方へのインタビューを通して、確立した全天周映像の制作手法を使うことで、比較的簡単に全天周でのコンテンツの制作が出来るかという点について検証を行った。その結果「簡単なレクチャーで出来るため移行しやすい」という評価を頂いた。

これらのことから、確立した全天周映像の制作手法は、制作者の意図を反映させることの出来るコンテンツを比較的簡単なレクチャーで制作出来る、今後のドーム映像のコンテンツ増加に対して効果的なものであることが検証出来た。しかし本実験では視線誘導の検証に特化したコンテンツを制作した為、どのようなコンテンツがドームに適しているかは検証出来ていない。そのため、次の第7章で実際にドーム映像コンテンツの制作を行い、評価と検証を行う。

---

## 第7章 応用例

### 7.1 観光誘致を目的としたドーム映像コンテンツ

今後発展が期待されているドーム映像は、ドーム環境下でコンテンツを視聴するため、そのコンテンツに自分自身が入り込むような没入感を感じることが出来る。そのようなドーム環境に適したコンテンツを実験的に検証していく必要がある。

#### 7.1.1 ドームコンテンツ提示例

近年国内の各地方自治体において邦人・外国人問わず観光誘致が活発化してきている。これは地方自治体にとって観光による経済効果が大きいことと、2020年に東京五輪の開催が決定し、近年行っていた訪日外国人観光客を増やす施策との相乗効果で改めて日本に注目が集まっていることに起因する<sup>[14]</sup>。そのため高い没入感を感じることのできるドーム環境下で、今までにない観光誘致を目的とした映像コンテンツを制作することを目的とした。

#### 7.1.2 コンテンツ選択理由

コンテンツの選択理由は「注目させたい点が明確である」「様々な収容人数のドーム環境での視聴に適したコンテンツ」「モデリングの必要性」の3点である。

観光誘致を行っている各地方自治体は「この観光地に来て欲しい」「ここからの景色を見て欲しい」「この雰囲気を感じて欲しい」など、比較的明確なメッセージを打ち出して誘致を行っている<sup>[15]</sup>。そのためカメラワークを使い、制作者が「ここを見て欲しい」と注目させたい点を明確に提示出来る観光誘致映像は、ドーム映像コンテンツとして効果的であると考えた。

また観光旅行などは複数人で行くことが多く、旅行先での空気感や喜びを複数人で共有することが醍醐味とも言える<sup>[16]</sup>。投影が想定されるドーム環境は、プラネタリウムなどの収容人数が多いものから、直径3mのエアドームなどの収容人数の少ないものま

---

---

である。そのため例え収容人数の少ないドーム環境下で見ても楽しむことの出来るコンテンツとして、観光誘致映像は適していると考えた。

また、モデリングの不必要性については観光誘致を目的としたコンテンツだけに限らないが、実写映像は3DCGに比べて比較的簡単にコンテンツ化して投影できる。3DCGの一番の問題点はそのコストの高さである。モデリングをしてドーム形状に合わせたコンテンツを作成するのは非常に手間がかかるのだが、実写映像ではそのモデリングの必要が無いので、投影時の補正を行うだけで簡単に、安価にコンテンツの提示が可能となっている<sup>[18]</sup>。

これらの理由から観光誘致を目的としたものを実写ドームコンテンツの一例として採用した。

## 7.2 コンテンツ制作方法

### 7.2.1 撮影対象

撮影の対象はみなとみらい21エリアである。慶応義塾大学のある日吉から比較的近い位置にあり、多くの観光名所を抱えている桜木町の観光誘致を目的とした映像を撮影した。

今回撮影したみなとみらい21エリアの観光スポットは「日本丸（図7-1）」「コスモワールド（図7-2）」「アニヴェルセルみなとみらい横浜（図7-3）」「ランドマークタワー（図7-4）」である。各観光スポットの魅力を女性に案内してもらった映像と、その観光名所のみ映像の2種類の撮影を行った。ただ観光地の風景のみを流すコンテンツでは無く「観光地を案内してもらいながら巡るみなとみらい21の体験」を観覧者に伝えることが娯楽用のドーム用コンテンツとして重要な要素の一つであると考え、このような撮影対象を選定した<sup>[19]</sup>。



(右上) 図 7-1 : 日本丸メモリアルパーク (左上) 図 7-2 : コスモワールド  
(右下) 図 7-3 : アニヴェルセルみなとみらい (左下) 図 7-4 : ランドマークタワー

## 7.2.2 撮影方法

撮影の方法は、ドーム内では基本的に視聴者は座ってコンテンツを鑑賞するため、案内人の女性と同じ高さ、あるいはそれよりも低い視点位置からの撮影を行った<sup>[13]</sup>。また案内人の女性とカメラの位置は、全ての場所において 1.5m という距離で撮影した。これは全天周カメラの特性上広角レンズで撮影しているため、ある程度の至近距離で撮影しないと、ドーム内で見た時に遠くから撮影したように感じてしまうからである。また観光名所を撮影する際も、編集後に設定するカメラワークを意識して撮影を行わなければならないため、映像を回転させて見せることで魅力的なコンテンツになることを考慮して撮影を行った。

---

### 7.2.3 コンテンツ制作方法

全天周映像でのコンテンツの作成方法は、以下のようになっている

#### 1. パノラマ映像の制作

動画をスティッチングし、パノラマ動画を生成する。AUTOPANO VIDEO を起動させ、シンフォニゼーションを用いて 6 つの動画の開始の同期を取る。次に隣り合ったカメラ(映像)同士を繋ぎあわせ、メルカトル図法の世界地図のように動画同士を繋ぎ合わせたエクイレクタングラー形式のパノラマ動画を生成する。繋ぎあわせた動画は水平方向や垂直方向がバラバラになっているため、手作業で水平方向、垂直方向を合わせている。

#### 2. 生成したいコンテンツの動画時間策定

生成した動画を時系列順に並べて、それぞれの録画時間を記録する。その後、作成するコンテンツの動画予定時間を考慮して採用する動画を選び、それぞれどのくらいの時間と時間帯を抽出して編集にかけるかを策定する。その際に留意すべきポイントはそれぞれの動画で撮影ポイントが異なるため、コンテンツ化する際にどの撮影位置のものをどれくらい使うのかを考えて採用動画を決めなければならないという点である。

#### 3. コンテンツの編集

それぞれの採用動画を Adobe Premiere Pro を用いて編集を行う。作成予定コンテンツの予定動画時間に合わせて、選出した動画を繋ぎ合わせる。その際に留意すべきポイントはパンのカメラワークを意識して、映像が切り替わる際に常に投影した際に映像正面に来る位置を確認しながら制作しなければならないという点である。

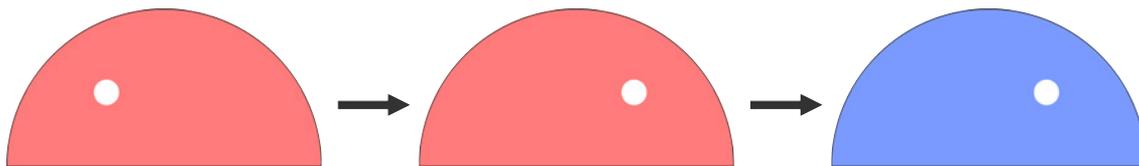


図 7-5 : ドーム内での映像の右パン後の切り替え

---

例えば図 7-5 のようにドーム投影時に映像を右にパンさせた後に別の映像を切り替えたいとする。赤い映像の時に赤い点が左から右に移動しているが、映像自体を動かすことは編集後に設定するカメラワークで出来る。しかし別の映像に切り替えた際に、前の映像の時に注目させていた点と同じ位置に注目させたい点がある場合は、編集作業上でほぼ同じ位置に合わせる作業をしなければならない。そのやり方について図 7-5 を用いて説明する。

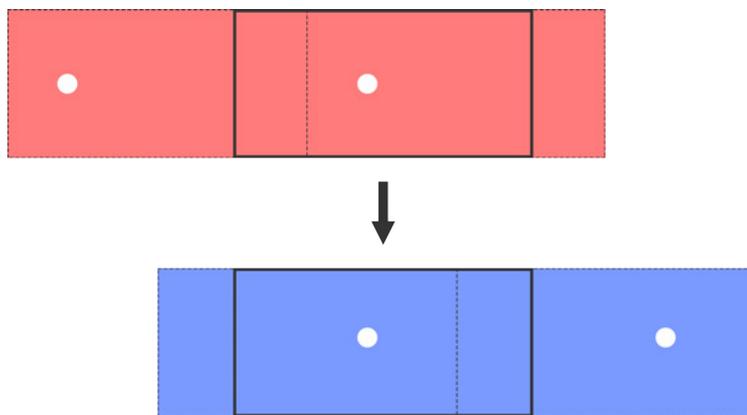


図 7-6：編集作業上で映像の位置を調節する方法

図 7-6 の太い四角い枠は描画領域のことを指している。まずエクイレクタングラー形式のパノラマ動画は、映像を並べることにより、繋げることが出来る。その特性を生かし、前の映像の時に注目させていた点と同じ位置に次に並べる映像の注目させたい点の位置を持つてくる。そうすることにより、実際にドームに投影するときには視聴者に対して負担の少ない映像を制作することが出来る。

この処理を行わないと、別の映像に切り替わった際に注目させたい映像上での位置が遠くにある映像になってしまう。そうすると、その注目させたい位置に映像を回転させなければならないため、第 5 章の検証でわかった制限速度を超過したスピードで回転させるなどのことをしなければならなくなってしまう。そのため、映像が切り替わる際に常に投影映像の正面に来る位置を確認しながら制作しなければならない。

---

#### 4. カメラワークの設定

Adobe Premiere Pro を用いて編集した動画を、xampp 上のサーバーに置いて、ウェブブラウザ上で映像を再生させて確認しながらカメラワークの設定を行う。その際に留意すべきポイントは、PC 画面上でやるのではなくドームに再生させながらやった方がよいという点である。投影するドームの大きさや投影側面からプロジェクタの位置によって描画領域の大きさが影響を受ける。また描画領域の大きさが変わってくると、映像をパンやチルトさせる角度も変わってくる。そのため、実際に投影するドームでカメラワークを設定した方がよい。

以上の工程を踏まえて完成したドーム映像コンテンツが図 7-7 である。今回の投影では、このコンテンツを用いて評価を行った。





図 7-7：制作したみなとみらい 21 エリアのコンテンツ

## 7.3 ドーム環境下でのコンテンツ投影

ここではエアドームで行ったコンテンツ投影について記述する。

### 7.3.1 投影環境

ここでは投影の環境と実験で用いたコンテンツについて説明する。

投影場所は慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科内に 4m のエアドームを設置して行った。(図 7-8)。エアドーム内には視聴者に 1 人ずつ入ってもらい評価を行った。

以下、ドーム映像コンテンツ評価のための投影環境について説明する。ドームのサイズは直径 400cm、半径 200cm、視聴者からドームの投影面との距離は 280cm の状態で評価を行った。プロジェクタは SONY の 4K プロジェクタ VPL-VW1100ES を用いて、投影面から 260cm 離れた場所に設置を行った。またプロジェクタに対する映像再生装置としては、GWS (AeroStream, Corei7-5960X, GeForce GTX970, 32GB メモリ: TSUKUMO 社) を使用した。

### 7.3.2 投影目的

投影の目的は「ドームに適したコンテンツ評価」という目的を持って実験を行った。

今回はドーム環境下で観光誘致を目的としたコンテンツを投影することにより、「高没入感な観光地を巡る体験をすることが出来たか」、そして「実際に投影した観光地に

---

行きたいと思うか」という2点を評価するために投影を行った。そのため、映像コンテンツを視聴してもらった後に、映像に沿った以下の質問項目を含んだアンケートに0～4の5段階評価で答えてもらい評価を行った。

- Q1「映像を見て、みなとみらい21エリアにいるように感じましたか。」

この質問項目は、視聴者はドーム環境下という高い没入感の中で観光地を巡る体験をすることにより、実際にみなとみらい21エリアにいるような体験を出来たかを検証するためにこの項目を入れ、ドーム環境に適したコンテンツであるのかの評価を行った。

- Q2「映像を見て、桜木町に行きたいと思いませんか。」

この質問項目は、視聴者はドーム環境下という高い没入感の中で観光地を巡る体験をすることにより、視聴者が実際にみなとみらい21エリアに行きたいと思えるような観光促進に繋がるコンテンツであったかを検証するためにこの項目を入れ、ドーム環境に適したコンテンツであるかの評価を行った。

- Q3「映像の中で、一番印象に残った場所はどこですか。」

この質問項目は、撮影した4つの観光名所の風景の中でどこが印象に残っているかを評価してもらうことで、ドーム環境に適した風景や映像の検証を行うために評価を行った。

- Q4「Q3の質問で、選んだ理由を教えてください。」

この質問項目は、Q3の視聴者が選んだ映像が印象に残った理由を調査するために行った。

- Q5「ドーム観光映像は、観光促進に効果的だと思いますか。」

この質問項目は、観光誘致を目的とした映像がドームに適したコンテンツかを評価するために行った。

- Q6「他に見てみていと思う全天周映像はありますか。」

この質問項目はドームに適したコンテンツを調査するために行った。

---

---

以上の6つの質問項目を用意し、「高没入感な観光地を巡る体験をすることが出来たか」、そして「実際に投影した観光地に行きたいと思うか」という2点を評価するための投影を行った。

## 7.4 投影結果

ここでは投影の結果について記述していく。

表 7-1：アンケート結果 1.1

映像を見て、みなとみらい21エリアに感じるように感じましたか		
アンケート項目	平均	標準偏差
1.感じなかった ↔ 4.感じた	2.82	1.03

Q1「映像を見て、みなとみらい21エリアに感じるように感じましたか」という質問に関しては平均2.82となった。またばらつきも1.03と比較的大きい結果となった。

図 7-2：アンケート結果 1.2

映像を見て、みなとみらい21エリアに行きたいと思いましたか		
アンケート項目	平均	標準偏差
1.思わなかった ↔ 4.思った	2.73	0.75

Q2「映像を見て、みなとみらい21エリアに行きたいと思いましたか」という質問に関しては平均2.73となった。ばらつきは0.75と比較的小さくおさまる結果となった。

図 7-3 : アンケート結果 1.3

映像の中で、一番印象に残った場所はどこですか	
選択項目	得票数
日本丸	0
コスモワールド	2
アニヴェルセルみなとみらい横浜	3
横浜ランドマークタワー	6

Q3「映像の中で一番印象に残った場所はどこですか」という質問に関しては、日本丸が0票、コスモワールドが2票、アニヴェルセルみなとみらい横浜が3票、横浜ランドマークタワーが6票となった。この結果に合わせて、Q4で調査した視聴者がQ3で選んだ理由も合わせて考察していく。

まず横浜ランドマークタワーが多く得た理由として、映像の中で唯一施設内の映像を採用していたという点が考えられる。Q4で頂いたコメントの中に「映像の中で一番その場にいるように感じたから」「実際の場所を想像することが出来たから」などがあった。このことから屋外などで撮影するよりも、屋内などの天井の場所で撮影した映像の方が、高い没入感を感じる事がわかった。

またアニヴェルセルみなとみらい横浜が2番目に票を得た理由として、コンテンツの組み立てが良かったという点が考えられる。Q4で頂いたコメントの中に「女性が説明している場面と建物のアップの場面との繋がりがスムーズで、その時のカメラワークに違和感がなかったから」「建物の全体像がわかり、カメラワークも気にならなかった」などがあった。このことから、案内人のナレーション内容と映像の構成、そして映像に合わせたカメラワークが違和感なく組み立てることが出来たからであることがわかった。

図 7-4 : アンケート結果 1.4

ドーム映像は観光促進に効果的だと思いますか		
アンケート項目	平均	標準偏差
1.思わなかった ↔ 4.思った	2.91	1.31

Q5「ドーム映像は観光促進に効果的だと思いますか」という質問に対しては、平均 2.91 となった。またばらつきも 1.31 と比較的大きい結果となった。

Q6「他に見てみていと思う全天周映像はありますか」という質問に対しては、「大自然」「星空」「紅葉の庭園」といった、従来のプラネタリウムコンテンツに近い回答が多かった。しかし「富士山の頂上」「戦争地帯の前線」といった普段行くことの出来ない、体験することの難しい場所のコメントもあった。このことから視聴者にとってドーム環境というのはプラネタリウムのイメージが強いのだと考察する。そのため視聴者にその環境下の中で見たいコンテンツを聞いても、従来のプラネタリウムコンテンツに近いものが返ってくる結果となってしまったのだと考える。

---

## 第 8 章 妥当性確認

第 6 章では Dome Player がカメラワークを通して視聴者の視線誘導を行うのに効果的であることを確認した。最後に本システムが今後の普及が期待されているドーム環境を有効活用していくために効果的なシステムかについて、有識者へのインタビューを通して妥当性確認をした。

### 8.1 妥当性確認の方法

本研究の目的は、全天周映像の制作手法にカメラワークを取り入れることで、今後の波及効果として普及が期待されているドーム映像のコンテンツ数を増やし、ドーム環境を有効活用することにある。そのためプラネタリウムなどのドーム環境に対して、実際に科学教育コンテンツとしてのドーム映像を企画開発している有識者へのインタビューを通して、本研究の妥当性確認を行った。本来の学習目的のコンテンツという軸足は持ちつつ、娯楽性という視線を取り入れてドームコンテンツ制作を行っている方へのインタビューを通して、従来のプラネタリウム及び新たに出てきたドーム環境の両方に波及効果が見込めるかの妥当性確認が出来ると考え、ご協力を頂いた。

### 8.2 妥当性確認のためのインタビュー

インタビューを通して本研究を通して今後の普及が期待されているドーム映像の発展に寄与することができるかについて確認をした。インタビューは慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科までご足労頂き、施設内に設置したエアドーム内で、開発した Dome Player についての説明と、Dome Player を使いドーム映像をご覧いただいた後に行った。

インタビューを行う上で「今後ドーム映像コンテンツを有効活用していく上で、確立した全天周映像コンテンツの制作手法は効果的か」「これまで制作・表現が難しかった

---

実写をベースにした全天周映像コンテンツが、確立した全天周映像コンテンツの制作手法を通してより制作が活発になっていくか」「カメラワークを意識したコンテンツの作り方というのが、ドーム映像プロデューサーという立場からどう思うか」などの質問項目を用意して今後の普及が期待されているドーム映像の発展に寄与することができるかについて妥当性確認をした。

「今後ドーム映像コンテンツを有効活用していく上で、確立した全天周映像コンテンツの制作手法は効果的か」という質問に対しては、「効果は絶大だと思う」との評価を頂いた。その中で「カメラワークがあるかないでは、視聴者側が受ける印象は大違い。（ドーム環境下で）全天周で淡々と固定視点で撮影された映像を見るのは、視聴者視点から見たら飽きやすいし辛い。全天周で見ると、映像を動かすことにより（映像の中に）新たな発見などがあり、気持ちよく映像が見ることが出来るようになると思う。」とのコメントを頂いた。しかし、映像の動かし方の中で「チルト（映像を上下に動かすカメラワーク）とズームに関しては、動かし方によっては逆効果になりかねない。全天周の特性上、いつも（現実世界で）見ている感覚とは違う動きをしてしまうと、臨場感がなくなり、さらには違和感を感じてしまいかねない。だからチルトとズームに関しては気を付けて使った方がいい」とのご指摘を頂いた。

「これまで制作・表現が難しかった実写をベースにした全天周映像コンテンツが、確立した全天周映像コンテンツの制作手法を通してより制作が活発になっていくか」という質問に対しては「実用化に向けてのかなりの効果が期待出来ると思う。」との評価を頂いた。その中で「アニメやCGを使った（全天周映像）コンテンツで映像を動かすことの大切さは感じている。だから実写でも映像を回転させることは絶大な演出効果があると感じるから、効果が期待出来ると思う。」とのコメントを頂いた。

「カメラワークを意識したコンテンツの作り方というのが、ドーム映像プロデューサーという立場からどう思うか」という質問に対しては、「全天周映像においてカメラワークは重要だし、カメラワークさせる前提での絵作りも重要だと思う。」との評価を

---

---

頂いた。その中で「いくらカメラワークをしてもドームの中で映像を見るときは、空とかの抜けがある絵（広がりのある映像のこと）を投影してもつまらないと感じるし、逆に意外な場所を撮影したものが面白かったりする。魅力的な映像を作るときは意外性と自然さの間のバランスを探ることが重要だと思う。コンテンツを作っている人の中に正解を持っている人はいないけど、ドーム環境下において魅力的な映像とカメラワークが合わさった時には、最高に面白いコンテンツが出来ると思う。」とのコメントを頂いた。

このインタビューを通して、本研究で確立した実写を通した全天周映像コンテンツの制作手法を通して、今後の普及が期待されているドーム映像の発展に寄与することが出来ると言えるだろう。

---

## 第9章 結論

### 9.1 結論

本研究ではドーム環境下における全天周高臨場感映像の制作手法の検討を行い、その中でカメラワーク記述可能なドーム映像再生プレイヤー「Dome Player」の開発を行った。カメラワークの効果を検証するために、Dome Player を用いて効果を検証した。

本研究では以下の3つの実験に取り組んだ。その結果は以下の通りである。

1. ドーム環境下における映像の回転速度の制約を検証する実験
2. ドーム環境下におけるカメラワークの効果を検証する実験
3. 観光誘致を目的としたドーム映像コンテンツの投影実験

1の「ドーム環境下における映像の回転速度の制約を検証する実験」では毎秒 $8^{\circ}$ 程度の回転に留めておいたほうが良いということがわかった。そのため開発したドーム映像再生プレイヤーを用いた2のカメラワークの効果を検証する実験では、カメラワークを毎秒 $8^{\circ}$ 以内の回転速度に留めてカメラワークを設定し実験を行った。その結果カメラワークはドーム環境下において視線誘導を行う上で効果的な手法であることがわかった。そこでドームに適したコンテンツの検討のため、3の観光誘致を目的としたコンテンツを制作し、評価を行った。その結果観光誘致を目的としたコンテンツがドームに適したコンテンツであるとは言えないが、ドームに適したコンテンツの傾向を評価することが出来た。

また本研究の妥当性確認を、ドーム映像プロデューサーへのインタビューを通して行った。その結果、本研究の波及的な効果として、ドーム映像の制作が活発化していき、ドーム映像が増えることに起因するドーム環境の有効活用が見込めるとのコメントを頂いた。

本研究はドーム環境下における全天周高臨場感映像の制作手法の検討を行い、ドーム環境下におけるカメラワークを確立し、今後の波及効果としてのドーム環境下の有効活用に寄与できるものであることがわかった。

---

---

## 9.2 今後の課題

この項では、今後の展望、今後の課題について述べる。本研究で扱えなかった、より高い臨場感をもたらす可能性のある要素である、プロジェクタの輝度、解像度やドームそれぞれに適した投影機材の選択方法、マルチプロジェクションによる投影エリアの拡大、ドームに適した映像コンテンツなどについて述べる。

### 9.2.1 解像度

ここでは画像の解像度が臨場感に及ぼす影響について述べる。

本研究の実験で使用した映像は、全て横（水平方向）4,098pix、縦（垂直方向）2,048pixel の4K画質のエクイレクタングラー形式に加工した全天周映像を使用した。しかし、このエクイレクタングラー形式に加工した全天周映像をウェブブラウザ上で形成された球体に貼り付けた場合、球体内全体で4Kになってしまうため、描画領域を通して見た場合横（水平方向）1,920pix、縦（垂直方向）1,080pixel のHD画質以下になってしまう。そのため、全天周映像を制作する際に8K・6Kでの制作も検討し、制作も行った。しかし採用しなかった理由としてスムーズな再生が可能なフレームレート数が確保出来なかったという点が上げられる。

今回実験で使用した4K画質のものは60フレーム/毎秒の確保が出来たが、8K画質の場合のフレームレート数は3フレーム/毎秒、6K画質の場合は8フレーム/毎秒と安定したフレームレート数が確保出来ない結果となってしまった。これはPCの性能もしくはウェブブラウザに起因するものであると考えられる。今回実験に使用したプロジェクタに対する映像再生装置としては、GWS（AeroStream, Corei7-5960X, GeForce GTX970, 32GBメモリ:TSUKUMO社）と研究室にあるPCの中で最も高速処理の可能なPCを使用した。8K、6Kの映像の安定した処理は出来なかった。本研究の中で処理できなかった原因がPC、ウェブブラウザのどちらにあるのかまでの検証は出来なかった。しかし解像度と高臨場感体験は影響があると考えられるので、8Kや6Kといっ

---

---

た超高解像度での全天周映像の再生は今後の課題であると考ええる。

### 9.2.3 プロジェクションエリア

プロジェクションのエリアについての今後の課題を述べる。

本実験においては高画角の魚眼レンズを用いて画角を広げ、プロジェクタ1台によるシングルプロジェクションでコンテンツの投影を行った。しかし、魚眼レンズを通すことによって映像が広がるため、明るさもかなり暗くなりプロジェクタの輝度の問題が発生する。そのため、マルチプロジェクションを用いてこの問題を解決する方法を考慮すべきである。

マルチプロジェクションとは航空機や船舶などの操縦訓練用のシミュレータやバーチャル・リアリティの研究で、球面や円筒形のスクリーンに複数のプロジェクタで投影し、臨場感のあふれるバーチャル空間を演出するための、さまざまなマルチ投影技術(マルチ・プロジェクション)のことであり、プロジェクタ2台以上を用意して、投影エリアを拡大する方法である。この方法を用いれば、それぞれのプロジェクタに装着する魚眼レンズをより画角の狭いものにして、それぞれ隣り合ったエリアにプロジェクションを行なうことで同じ画角をより明るいルーメン数を保ったままプロジェクションすることが出来る。これによって現状の性能のプロジェクタでも2台用いることで明るい映像を投影することが可能になる。

視点を変えると、今回の実験ではドームの一部の部分への投影を行っており、半球形のドームすべてのエリアへのプロジェクションは行っていない。そのため、マルチプロジェクションにおいて、それぞれのプロジェクタに今用いている魚眼レンズを装着して投影することによって、より広いエリアへの投影が可能になる。

### 9.2.4 ドームに適した映像コンテンツ

ドームに適した映像コンテンツの今後の課題について述べる。

本研究ではドームに適したコンテンツを検討する上で観光誘致を目的とした映像を制作し、評価を行った。しかし、6.3で記述した現役の映像ディレクターの方へのイン

---

---

タビューの中で、「全天周での映像制作の場合、従来の同じクオリティのものを作ることはかなり難しい」とのコメントを頂いている。確かに、ドーム映像のコンテンツ数を増やしてドーム環境を有効活用していく上で、映像のクオリティも非常に重要な要素の1つであると考えている。

またインタビューの中で、「従来と同じ尺度・方向のコンテンツではなく、これだけしか出来ない魅力的な尺度・方向のコンテンツがあると思う。」とのコメントも頂いている。そのため、ドーム映像だから出来る魅力的なコンテンツの検討は今後の課題であると考えている。

---

## 謝辞

本論文の執筆にあたり、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の小木哲朗教授、副査の教授である五百木誠准教授、研究員の栗田祐輔さんに多くのご指導を頂きました。

また、Micro Museum Lab.近清武さん、映像ディレクターの窪田尚洋には、コンテンツ撮影のご機会や研究に対する助言、妥当性確認のためのインタビュー等を頂きました。

被験者としてご協力頂いたビジュアル・シミュレーション研究室の伊藤研一郎さん、小荷田樹之さん、笛木健人さん、その他システムデザイン・マネジメント研究科関係の方々にご協力をして頂きました。

多くの方々に研究を行う上で多大なるご協力を頂いたことで、このような研究成果がでたと思っております。ここに深く感謝いたします。

---

## 参考文献

- [1] 日本プラネタリウム協議会：「プラネタリウムデータブック2010」；  
<http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>, (参照2012-11-29).
- [2] 渡部義弥 大阪市立科学館：「プラネタリウムの国勢調査」の検討”；  
<http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~yoshiya/kanpopla.pdf>,  
(参照2012-11-29).
- [3] 木原民雄, 安斎利洋, 中村理恵子, 太田博満：  
「プラネタリウムに描画する多人数インタラクティブ全天周映像システム」  
情報処理学会 DPS 研究会, Jan, 1999
- [4] 日本プラネタリウム協議会：「プラネタリウム白書2005 年版」；  
<http://planetarium.jp/pub/wbook2005/documents/WP2a.pdf>, (参照2013-02-01).
- [5] 濱口諒平：「ドームディスプレイ用実写映像コンテンツの撮影投影方法」,  
慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 修士論文, 2013年度
- [6] 古山大輔, 妹尾武治, 茅原拓朗, 立山義祐, 小木哲朗：  
「ドーム映像制作法のための空間知覚特性の検討」,  
日本バーチャルリアリティ学会VR心理学研究委員会, 第13回研究会論文集, 2009
- [7] 小木哲朗, 林正紘, 藤瀬哲朗：  
「簡易没入型ディスプレイCC Roomの開発と映像制作手法」,  
『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』Vol. 11 No. 3, pp. 387-394, 2006
- [8] 石山友基：「実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に関する研究」,  
慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 修士論文, 2012年度
- [9] 遠藤隆明, 谷川智洋, 広田光一, 廣瀬通孝：  
「超多眼カメラによる全天周画像の再構成」; 『情報処理学会論文誌：  
コンピュータビジョンとイメージメディア』, Vol. 43, Dec 2002
- [10] 吉田博則, 脇山真治：「TV-CMの商品想起を高める表現手法の要因」；  
芸術工学会誌, No. 53 Sept, p102-p108, 2010
- [11] 小椋久雄：「映像表現における移動撮影（パンを含む）の効果の検証」；  
尚美学園大学芸術情報研究 第24号 論文, 2015
- [12] 橋本将人, 井ノ上寛人, 佐藤美恵, 郭素梅, 小黒久史：  
「感性評価と視線計測に基づいたカメラワークによる印象変化の要因分析」  
映像情報メディア学会技術報告, ITE Technical ReportVol. 36, No. 39, Oct. 2012
-

- 
- [13] 木全英明, 山口好江, 能登肇, 深澤勝彦, 小島明 :  
「インタラクティブな多視点映像視聴の提案」; 映像情報メディア学会技術報告  
ITE Technical Report Vol. 36, No. 30, Jul. 2012
- [14] 長田充弘, 尾島麻由実, 倉知善行, 三浦弘, 川本卓司 :  
「2020年東京オリンピックの経済効果」; BOJ Report & Research Papers, 2015. 12
- [15] 尾久土正己, 吉住千亜紀 ;  
「観光デジタルドームシアターシステムの構築とその実践」  
電子情報通信学会技術研究報告, p61-p65, May, 2013
- [16] 財団法人日本交通公社 : 「旅行マーケットの最新動向」, 2008
- [17] 速川琢真 : 「個人用ドーム状スクリーンと映像視聴環境の構築」;  
情報処理学会研究報告, Mar, 2014
- [18] 田中貴大, 佐藤美恵 :  
「室内形状に合わせた全周囲映像提示における輝度補正の検討」;  
映像情報メディア学会技術報告, ITE Technical Report Vol. 39, No. 8, Feb. 2015
- [19] 尾久土正己, 吉住千亜紀 : 「デジタルドームシアターを使った超臨場感教材」;  
電子情報通信学会, 『信学技報』, p61-p65, 2013 Dec
- [20] 片山美和 : 「多視点カメラを用いた映像制作」; 映像情報メディア学会 ;  
ITE Technical Report Vol. 38, No. 9, Feb, 2014

---

## 外部発表

1. 横田剛司, 小木哲朗 : 実写を用いた高臨場感ドーム映像コンテンツの制作手法, 日本バーチャルリアリティ学会 第26回テレイメージョン技術研究会, 2015
2. 横田剛司, 小木哲朗 : 実写ドーム映像におけるカメラワークの効果と制約, 日本バーチャルリアリティ学会 第69回CG・可視化研究会, 2015
3. 横田剛司, 小木哲朗 : ドーム映像におけるカメラワークの効果と制約, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2015
4. Takeshi Yokota, Tetsuro Ogi : Development of Camera Work Function for Dome Video Contents, ASIAGRAPH2016 in TOYAMA, 2016

---

# 付録

## A. 6 章の実験のために制作した映像コンテンツ

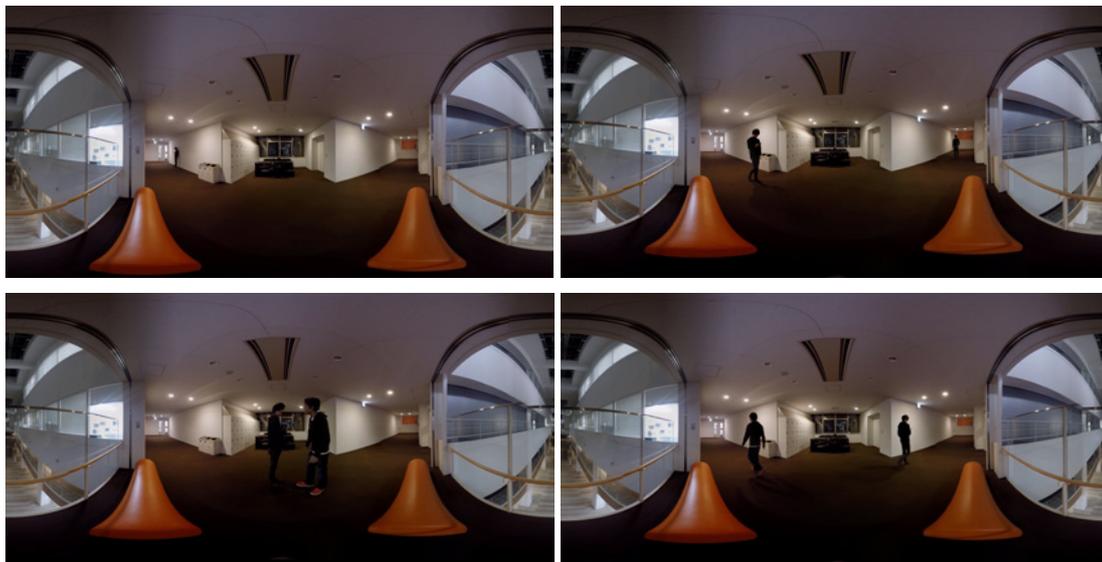


図 A-1 : 映像 1 の映像コンテンツ



図 A-2 : 映像2の映像コンテンツ



図 A-3：映像3の映像コンテンツ

B. ドームコンテンツの投影



図 B-1：エアドーム内で映像を視聴する被験者



図 B-2 : エアドーム内での投影システム