

Title	高品質映像生成システム : MAGICAの設計
Sub Title	Design of high quality digital movie generation system MAGICA
Author	稲本, 裕之(Inamoto, Hiroyuki) 稲蔭, 正彦(Inakage, Masahiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2012
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	デジタル化技術の映像への応用によって、画質の大幅な向上とデータ容量の縮小、コピーによる劣化の防止、加工の容易さなどの恩恵がもたらされた。加工の容易さは裏腹に、加工の機会と欲求そのものを増大させ、その負荷が新たな問題を引き起こしつつあるうえに、撮影そのものは大きなリソースを要求するものであり続けている。そこで特に用途を定めないムービークリップを集積し、適宜取り出して利用する映像ライブラリとそれを生かした製作手法が注目されるが、自由度に乏しく表現の幅を狭めてしまう。そこで、静止画像で構築したデータベースを作成し、適宜取り出すことによって、視点移動の自由度を確保しつつ、ムービーカムで撮影した場合と等価な映像を生成する手法を考案した。これを実現するシステムとしてMAGICAを設計ならびに実装し、実験によってその性能を検証。映像の品質において一定の成果を得た。
Notes	修士学位論文. 2012年度メディアデザイン学 第202号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002012-0202

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.

2012年度 修士論文

高品質映像生成システム
MAGICA の設計



KEIO MEDIA DESIGN

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

稲本 裕之

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

稲本 裕之

指導教員：

稲蔭 正彦 教授 (主指導教員)

加藤 朗 教授 (副指導教員)

審査委員：

稲蔭 正彦 教授 (主査)

加藤 朗 教授 (副査)

南澤 孝太 特任講師 (副査)

高品質映像生成システム MAGICA の設計

内容梗概

デジタル化技術の映像への応用によって、画質の大幅な向上とデータ容量の縮小、コピーによる劣化の防止、加工の容易さなどの恩恵がもたらされた。加工の容易さは裏腹に、加工の機会と欲求そのものを増大させ、その負荷が新たな問題を引き起こしつつあるうえに、撮影そのものは大きなリソースを要求するものであり続けている。そこで特に用途を定めないムービークリップを集積し、適宜取り出して利用する映像ライブラリとそれを生かした製作手法が注目されるが、自由度に乏しく表現の幅を狭めてしまう。そこで、静止画像で構築したデータベースを作成し、適宜取り出すことによって、視点移動の自由度を確保しつつ、ムービーカムで撮影した場合と等価な映像を生成する手法を考案した。これを実現するシステムとしてMAGICAを設計ならびに実装し、実験によってその性能を検証。映像の品質において一定の成果を得た。

キーワード

4K, 映像, 映像ライブラリ, 自由視点映像, デジタルシネマ

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

稲本 裕之

Design of high quality digital movie generation system

MAGICA

Abstract

The digitization of motion pictures brought various merits such as improvement in quality, saving in data capacity, prevention of degradation due to copying and easy processability. Some of these qualities have brought about their own challenges and issues. Processability, for example, raised cost of post production and filming itself still remains a process which requires massive amounts of resources. Therefore, focus is placed on the use of movie libraries which are composed of raw footage. But this narrows down the variation of visual expression. In order to solve this problem, a movie generation system which composes movies from a database of still images was conceived. This system enables movie makers to get footage and add camera movements afterwards. The quality of the movies is equivalent to those captured by movie cameras. The system was named MAGICA, then it was designed, implemented and tested with a satisfactory outcome.

Keywords:

4K, movie, movie library, free angle movie, digital cinema

Graduate School of Media Design, Keio University

Hiroyuki Inamoto

目 次

第1章 序論	1
1.1. 研究の動機	1
1.2. 研究の目的	2
1.3. 本研究について	3
1.4. 本論文の構成	4
第2章 研究の背景	5
2.1. 映像コンテンツの歴史	5
2.1.1 映画以前	5
2.1.2 映画以降	6
2.1.3 テレビの登場	7
2.1.4 デジタル映像	8
2.2. 4K デジタル映像	8
2.2.1 4K デジタルシネマの開発経緯	8
2.2.2 4K デジタルシネマの能力	9
2.2.3 4K デジタル映像の動向	12
第3章 問題点と関連事項	14
3.1. 問題点	14
3.1.1 カメラワーク	14
3.1.2 後づけのカメラワーク	18
3.2. 関連事例	21
3.2.1 Google Street View	21
3.2.2 Toppan 3DVR	21

3.2.3	e-Monument	22
3.2.4	Bullet time	22
3.2.5	実写ビデオと VR を統合した映像ウォークスルーシステム	23
3.2.6	Aspen Moviemap	23
3.2.7	Lytro	24
第 4 章	MAGICA の概要	26
4.1.	MAGICA の発案	26
4.1.1	パン・ティルト・ドリー	27
4.1.2	静止画像データベースとデジタルデータのランダムアクセス性	28
第 5 章	MAGICA の設計	30
5.1.	MAGICA の設計	30
5.1.1	MAGICA のシステム設計	30
5.1.2	連続撮影装置	31
5.2.	MAGICA の実装	33
5.3.	mci ファイル	35
5.3.1	仕様策定の背景	36
5.3.2	仕様のコンセプト	37
5.3.3	ファイルフォーマットの詳細	38
5.3.4	ノード	39
5.3.5	リンク	44
第 6 章	MAGICA の評価試験	46
6.1.	テストデータの取得	46
6.2.	予備実験	46
6.2.1	概要とパラメーター	46
6.2.2	予備実験の結果	47
6.3.	ユーザーテスト	48
6.3.1	ユーザーテストに用いたデータについて	48

6.3.2	実験内容	50
6.3.3	実験結果	53
第7章	考察	56
7.1.	実験結果の考察	56
7.2.	静止画像データの取得について	57
7.3.	映像の品質について	57
第8章	結論	59
8.1.	まとめ	59
8.2.	今後の課題	60
付録 A	mci ファイルの例	66

目次

2.1	35mm アカデミーサイズと 70mmIMAX の比較	10
2.2	IMAX 上映のようす	11
2.3	レッド・デジタル・シネカメラカンパニー製の “REDONE”	13
2.4	ARRI 社製 “ALEXA”	13
3.1	“工場の出口” の 1 カット	15
3.2	カメラレール	16
3.3	カメラクレーン	17
3.4	ステディカム	19
3.5	バレットタイム撮影の様子	23
3.6	Lytro	25
4.1	データの格納手法	29
5.1	MAGICA を構成するコンポーネント	31
5.2	Nodal Ninja	33
5.3	Canaria 社の一眼レフ雲台システム	34
5.4	連続撮影装置の設計図	34
5.5	試作の撮影装置	35
5.6	試作の撮影装置	35
5.7	GigaPanPro を流用した連続撮影装置	36
5.8	ノードとリンクの例	38
5.9	隣接ノード、リンクの呼出し	40
5.10	sphere タイプの例	41
5.11	plane タイプの例	41

5.12 Bus タイプの例	43
5.13 リンクの例	44
5.14 進行方向とカメラの向きについて	45
6.1 映像のなめらかさについての評価	54
6.2 視点移動の自由度についての評価	54
6.3 視点移動の速さについての評価	54
6.4 操作性の比較による評価	55
6.5 ジェスチャーと移動量のバランスについての評価	55

第1章 序 論

1.1. 研究の動機

本研究の動機は映像制作における自由度を強化することにある。デジタル化技術の映像分野への応用は、視聴者、制作者、配給者など、それを取り扱う人々に以下のようなメリットをもたらした。

1. テレビ、ビデオ等での画質向上
2. コピーによる劣化の防止
3. フリッカー、映像のブレの排除
4. 配給コストの大幅な削減
5. 放送の高効率化
6. 撮影・編集の大幅なスピードアップとコスト低減
7. 映像コンテンツの柔軟な配信

要約すると映像体験が大きく改善され、取り扱いがかつてなく容易になったということになる。テープやフィルムに頼っていた頃は合成はおろか編集さえ専用の機材と非常な努力を必要としていたのが、今日ではデジタルスチルカメラはおろか携帯に付属のカメラでも映像を得て、それを市販のパソコンに取り込めば、編集は十分にこなせるし、簡単な合成もできる。根気と専用のソフトウェアを用意すれば、プロと見間違ふほどの作品を仕上げることで十分可能だ。

しかしながら、映像というメディアが帯びる構造的な問題が横たわっている。映像は主にカメラのレンズを通じて入ってくる光線をフィルムやセンサーによって捕捉することによって獲得されており、それゆえ撮影されるべきすべてが寸分違わぬ繊細さでコントロールされなくてはならない。役者の演技や照明の加減、カメラワークなどその全てが十分に納得のいくものになるまで、リハーサルとやり直しを繰り返すしか撮影者の意図に沿う映像を手に入れることが不可能であるのは、従来と変わらない。クロマキー等の合成技術の登場と進歩、撮影機材の高性能化やCG技術の登場によって撮影のシビアさとそれに要する労力は幾分軽減された。しかし、3DCGの利用には手作業によるモデリングなど、芸術的判断に基づく手作業が必要不可欠で、これのコストが必要であるなど、新たな問題も産み出した。

この問題の解決策として、特に背景や遠景を撮影した映像をライブラリとしてストックしておき、必要に応じてそれを購入して挿入するという映像ライブラリの利用が行われてきた。しかしながら撮影といっても、様々な要件から同一の被写体を撮影して得られる映像は無数の可能性があり得るものであり、どれほど品揃えが豊富であってもライブラリの利用は現状、ある種の妥協策なのである。

撮影に要するコストと労力の問題は既に指摘したが、今日映像コンテンツ製作において最も重大な課題はまさにこの点にあり、ライブラリの自由度が増すことによって妥協策から積極的に採用すべき手法へ展開することができれば、映像コンテンツの品質を底上げしつつ、コストを削減し、映像制作の門戸をさらに多くの人に開放できる。

1.2. 研究の目的

映像ライブラリにカメラワークの自由度を与えることによって、表現の自由度とコストの削減を両立できる。映像作品の全てをライブラリで構成することは不可能かもしれないが、努力を積み重ねることに意義がある。まずは静止物のみで構成される変化がほぼない空間を対象に、カメラワークを後づけで再現可能なライブラリの構築を試みる。運動する物体や人物ではなく静止物を当面の対象とし

た根拠は、それらの外観や演技は制作者の意図に基づいて設定するものであって、汎用的な素材の使い回しが可能な性質のものではないという理由による。こうした動きのある物体を対象外としたとしても、合成を前提に現地での撮影を省力化するといった工夫が可能になり、電源、カメラの取り回し、消耗品の準備や移動手段と作業スペースの確保など活動に制限が付きがちなスタジオ外での撮影のウェイトを減らすことができる。

静止物のみで構成される空間の情報をデジタルスチルカメラによる静止画で完全に収録しておき、そうして得られた画像データを適切に取り出すことによってその空間内にカメラを設置してパン・チルト等のカメラワークを使用した場合と同等の映像を生成・その効果を検証することを本研究の目的とする。このために静止画像データベースへの高速ランダムアクセスによる映像生成システム、MAGICAを考案・作成・検証した。

1.3. 本研究について

本研究は当研究修士2年(当時)の田中薫氏との共同研究である。作業分担としては以下の通りとなる。

本研究は筆者の主導によってスタートし、MAGICAの考案および設計と、その基盤たる静止画像データベースへのランダムアクセスによる映像生成というアイデアの発案が筆者の主な担当である。機材類の製作は筆者と田中氏とで共同作業となり、映像生成エンジンの設計およびプログラミングは田中氏の担当である。この分担は映像生成エンジンのプログラミングに要する知識と経験を持つのが田中氏であったこと、一方で映像技術や機器に関する知識では筆者が長じていたことによって自然発生的になされた。

- 稲本：MAGICAの考案、設計、光学系設計
- 田中：撮影機材制御プログラム、映像生成エンジンのプログラム

1.4. 本論文の構成

本研究の背景となった、映像コンテンツの歴史と近年の技術革新について第2章で述べ、第3章において撮影の工程の省力化が問題として残されていることを明らかにし、関連する研究および事例を紹介する。第3章で述べた問題への回答として、筆者が考案したMAGICAの概要と設計に至る経緯を第4章で説明し、第5章でMAGICAの設計および製作の過程を明らかにする。MAGICAの性能を実際に制作した機材を用いて検証した要領と結果について第6章で述べ、第7章にて得られた結果について考察を行い、第8章に本研究のまとめと今後の展望について記す。なお、巻末に第5章において試案を示したmciファイルのサンプルを収録した。

第2章

研究の背景

本研究の背景として、映像コンテンツの歴史と社会との関わりについて概観し、デジタル映像コンテンツの究極形たる 4K デジタルシネマについて述べる。本章においては映像コンテンツの歴史を映画以前にまで遡って論じている。これは視覚体験が人類の歴史に影響を与えてきた事実を強調する目的である。

2.1. 映像コンテンツの歴史

2.1.1 映画以前

映像コンテンツの社会における主要な役割として娯楽がある。映画の歴史は 1895 年のリュミエール兄弟の業績を起源とすることが、それ以前にも映像コンテンツを呼ぶことができるものは存在した。

人の感情を揺さぶり、その精神に日々を生きる活力を与えることを娯楽とし、視聴覚を通じてそれを成すことを映像コンテンツの娯楽への利用であると考えれば、劇場におけるパフォーマンスもその範疇に含めることができる。一口に劇場といってもその形態は様々で、古代ギリシャ・ローマ時代の円形劇場から能楽堂、歌舞伎小屋、オペラ劇場まで実に多種多様である。吟遊詩人がイーリアスやオデュッセイア、ギルガメッシュ叙事詩等を歌っていた頃、パフォーマンスが行われる場所はおそらくただの広場とだたと推察される。叙事詩を劇場におけるパフォーマンスに含めることは異論があるかもしれないが、それは今日、文字や CD 等で再生される音楽に慣れ親しんだ現代人の誤解であって、グラハム・ベルが電話を、あるいはトマス・エジソンが蓄音機を発明し音をその発生源から切

り離してしまうまで、人間の声をいうものは必ず視覚体験を伴うものであったと考えるのが妥当である。このように人類はその歴史を通じて映像コンテンツを利用したエンターテインメントと共にあったといえる。

リュミエール兄弟のシネマトグラフへとより直接的に繋がる光学機器を用いた見世物興行も映像コンテンツの範疇に含まれる。17世紀にマジック・ランターンが発明されると、マジックランターンと替えのスライドを担いでヨーロッパの農村を巡回興行するランタニストという職業が生まれた。鉄道や自動車といった交通機関が発達し、階級と無関係に人々が自由に旅行できるようなるのはもっと後の時代であるから、当時の人々にとって、ランタニストが映し出す様々な宗教的モチーフや風景や都市のようす等を描いたスライド等によるコンテンツは、エンターテインメントであり、同時に知識の拡大でもあった。こうした映像コンテンツの内容には科学、芸術、宗教、歴史、文学、伝説、など様々なジャンルに渡り、急速に普及した。時代が下るとさらに覗きからくりなど、多様な光学機器を用いた巡回興行も行われるようになった。知識の大衆化に大きく寄与していた。

2.1.2 映画以降

映像コンテンツの歴史はリュミエール兄弟によるシネマトグラフの発明によって大きな転機を迎える。マジックランターンなどの光学機器による見世物を含む視覚芸術の文脈と演劇の文脈とが、この頃から交差し始める。ニエプス(1765—1833)やダゲール(1787—1851)らによって写真が発明されると、人々はその現物に忠実な、瞬間を切り取ったかのような記録に大いに驚いた。次に人々が望んだのは、この忠実さを動きに対して適用することであった。日本ではかつて映画を活動写真と呼んでいたことは広く知られている。

彼等は今日的な意味の映画に属するコンテンツを目指したというより、見世物に近いものを指向していたといえる。その根拠に、彼等は世界各地に撮影隊を派遣し、記録映画としてのショービジネス展開とでも言うべきビジネスを行った。結論を述べれば彼等のビジネスは不首尾に終わった。いくつかの理由をあげてその原因を説明することができるが、一つは連続撮影時間の短さである。当時のカメラの連続撮影時間はせいぜいで3分、そのような映像を次々見せていっても人々

はすぐに飽きてしまうというのがその原因を最もよく説明しているように思える。リュミエール兄弟がこうした問題に直面している頃、メリエス (1861 —1938) は短いカットを繋ぎ合わせて一つのストーリーを作り、新たな展開をもたらした。彼は時間的に連続していない映像であっても、人を感動させることができることを証明した。その後映画は娯楽の王者として君臨し、ありとあらゆるものを取り入れて発展した。初期の映画は音声を含まない、サイレント映画が主流で、音声と映像が同期したトーキーの登場は 1920 年代以降になる。1930 年代には三色法を用いた本格的なカラー映画が登場し、1950 年代にはより安価なカラーネガフィルムが登場した。

2.1.3 テレビの登場

1920 年代末から 1930 年代にかけて試験的なテレビ放送が始まり、1941 年にはアメリカで NTSC 方式による放送が始まった。テレビは映画館まで足を運ばなくても、家庭や街頭で気軽に映像を見ることができ、映画よりもずっとリアルタイム性が高く同報性もあったから、映画との競争が起きた。この競争は映画産業全体を窮地に追い込むほどテレビが優勢となり、映像コンテンツの世界で唯一無二となっていた映画をニュースの領域から完全に駆逐した。最終的に残ったのは劇映画だけである。やがて各世帯に 1 台を越す勢いでテレビが普及した。

映画とテレビには相違点も共通点もある。前述のリアルタイム性と同報性においてはテレビが映画に比べて勝っているという点を除けば、画像品質が大いに異なる。高品質の HDTV はどう鼻屑目に見たとしてもフィルムの品質でいえば 16mm フィルム程度にしかならず、従来 of SDTV は 8mm レベルに相当する。これは輝度信号と解像度に重点をおいて評価した場合の話であり、色の評価を含めるとフィルムは更に優位となる。ともかくフィルムに比べてテレビは画像品質が大きく劣り、画面のサイズも小さいから、画面の情報量の貧困をもたらし、頻繁にカメラをパン/チルトしたり、カットを頻繁に行ったりするせわしない映像づくりが横行するようになった。

2.1.4 デジタル映像

2005年にはYouTube [1] が、2006年にはニコニコ動画がサービスを開始し、インターネット動画共有サービスは一挙にメジャーな存在になった。しかし、これらの動画共有サービスでやりとりされる映像はよくても 1080p という HDTV 相当の画質であって、大半はより低品質な 720p か 360p に留まる。しかし、映像を用いたコミュニケーションを一般化し、ブロードキャストの時代に風穴を開けたという意味においてこれらのサービスの功績は非常に大きい。

これらのサービスは映像コンテンツを収益化し、その発展を後押ししているかといえば、まだ道半ばと言わざるを得ない。それはブロードキャストの時代に形づくられた映像コンテンツ製作と流通の習慣と制度に社会が慣れきってしまっていて、新たなコンテンツ配信の土台が形成されていないこと。商品価値・文化的価値を与えるには、それらのプラットフォームでやり取りされる映像の画像品質が十分でないという理由が考えられる。

仲間うちでビデオを共有するといった簡易な目的であれば十分に役割を果たすが、人に感動を与えるという目的を考えると問題がある。人が視覚を通じて受ける心理的影響には、その映像や画像の物理的サイズが関係している。各家電メーカーが大画面の液晶テレビをラインナップしていることもこのことを示している。ネットワークを通じてやりとりされ、ブロードキャストから逃れるには、映像はデジタルデータでなくてはならない。

2.2. 4K デジタル映像

2.2.1 4K デジタルシネマの開発経緯

超高精細 4K デジタルシネマの研究は 1989 年頃にはスタートしていた [2]。4K とは横方向に約 4000 ピクセルの解像度を有することから定着した名称で、4K × 2K で約 800 万ピクセルの解像度をもつ。ハリウッドのメジャースタジオが 2003 年に発足させた DCI(Digital Cinema Initiative) が 4K 解像度を定義し最終勧告を行ったのは 2005 年である。DCI4K では 4096 × 2160 ピクセルと定義されている。

デジタルシネマの規格として4Kは4パーフォレーションの35mmフィルム相当の画像品質を狙っていた。その論理的裏付けはテレビの脅威に晒された映画業界が高品質を追求して差別化を図ったのだが、結局35mmに落ち着いた歴史的経緯に求めることができる。パーフォレーションとは図2.1に示すように、フィルムの端の部分に空いている穴のことを指し、フィルムの幅とともに画質を左右する画像一つ当たりの面積を表現する時に用いられる。35mm・8パーフォレーションで用いられる時には4パーフォレーションが垂直にフィルム送りされるのと対比的に水平方向に送られる。8パーフォレーションは一般的なフルサイズのスチルカメラで用いられているが、これはライカが映画用のフィルムを転用したことがきっかけとなって定着したという経緯がある。

35mmを上回る高画質を得ることを目的として、70mmまたは65mmと呼ばれる高解像度フィルムが実際に開発され実用化もされたのだが、結局さして普及せずやがて市場から姿を消した。それらを更に上回る超高画質のフィルムとして70mmIMAXがある。これは通常縦方向に送る70mmフィルムを横方向に送って15パーフォレーションという大きなコマあたり面積をもつ。これらはコストと設置スペース等の問題もあって結局ほとんど普及しなかった。図2.2にIMAX上映の様子を示す。画像品質の議論はそれが実際に投影されるスクリーンやモニターのサイズの議論を抜きにしては語れないが、これは劇場によって千差万別であり、詳細な議論はここでは避ける。しかしながら、平均的な映画館のスクリーンのサイズでは70mmフィルムの画像品質は不必要であったことは歴史が証明している。

2.2.2 4K デジタルシネマの能力

映像コンテンツの画像品質として4Kが十分であるとすれば、デジタル映像システムの利点を活かして、いかなる映像コンテンツを目指すかということが次に考えるべき課題である。ここでも、映像コンテンツが有史以来いかなる役割を社会のなかで果たしてきたかを紐解くことで着想を得ることができる。

映像コンテンツの歴史、とりわけリュミエール兄弟以来の映画・テレビの歴史と物理的・時間的に断絶した風物をもたらそうとするランタニスト達のそれは「どこかにあるかもしれない、いつかあったかもしれない映像体験の再現」を目指す

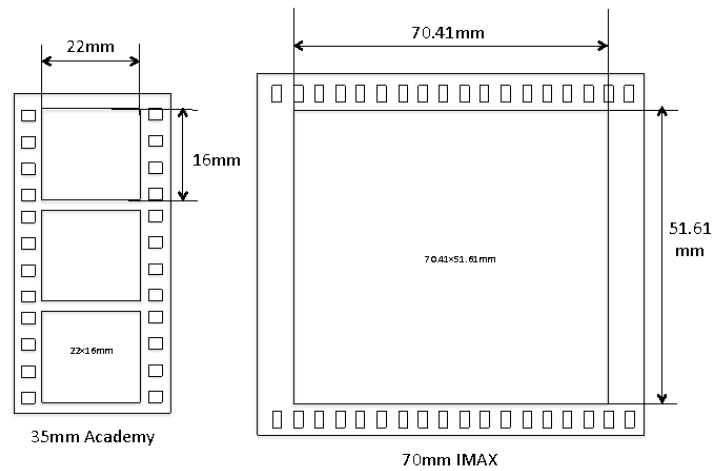


図 2.1 35mm アカデミーサイズと 70mmIMAX の比較

飽くなき戦いであったということが出来る。リュミエール兄弟はそれを真っ正面から試みて、そして敗北した。しかし、それは当時の撮影技術があまりに未熟であったうえに、フィルムの性質からして世界中ありとあらゆる名所の映像を常にストックしておいて、適宜取り出して上映するということが不可能だったためである。

今日のテレビ番組では旅番組や史跡を題材にしたクイズ番組、世界遺産を扱うドキュメンタリーが一定の評価を獲得しているから、4Kの映像で新たなアプローチを試みるに足る需要は存在していると考えられることにはあまり無理がない。デジタル映像技術の一つの利点は距離の壁を易々と乗り越えて容易にコンテンツを求める人のところに届けることができるという点にある。世界中ありとあらゆる名所・旧跡の4K映像を取得してネットワーク上のサーバーに置いておき、オンデマンドで長くともごく短時間で、場合によってはリアルタイムに相手に届けることができる。

イベント・スポーツ・祝祭を可能な限り多くの人に届けたいという欲求から、記録映画・ニュース映画はかつて広く普及していた。有名な例は、レニ・リーフェ



図 2.2 IMAX 上映のようす [3]

ンタールによるベルリンオリンピックの記録映画である。本格的テレビ中継の先駆的事例として知られる 1936 年ベルリンオリンピックはプロパガンダ的傾向が特に強かった。レニ・リーフェンタールによる記録映画の正式なタイトルは“民族の祭典”と“美の祭典”である。この作品はのちにナチス賛美のプロパガンダと非難を浴びることとなるが、映像的評価は高い。35mm のフィルムカメラは 1 台数千万円というもので、連続撮影ができなかったからこういうオリンピックという世界的イベントでもなければ、マルチカメラで撮影しておいて、編集してコンテンツに仕立て上げるといったことはコスト面から難しかった。また、記録映画およびニュース映画は現像・コピー・配給という手順を踏まなくてはならない事情からリアルタイム性と同報性でテレビに大きく劣り、一度はほぼ完全に姿を消した分野でもある。こうした記録映画・ニュース映画が 4K によって復活するかもしれない。また、演劇をデジタル映像コンテンツとして映画などで上映されるコンテンツに含めることも可能である。

2.2.3 4K デジタル映像の動向

4K デジタルムービーカメラはフィルムカメラと比べ、取り回しに優れるほか安価でもある。ここでいう4K デジタルムービーカメラとは、既存の映画用フィルムカメラと近い運用形態を想定したムービーカメラを意味する。

35mm フィルムは両脇に開けられたパーフォレーションと呼ばれるフィルムの両脇に配された穴にピンを引っ掛けて毎秒 24 コマの勢いで高速に間欠運動を繰り返さねばならないため、それに必要とされる機械精度と信頼性は機材の価格上昇の原因となる。また、容易に破損しないように頑丈に作らねばならないフィルムマガジンとそれを支えるためにボディも相応に頑丈に、また高精度である必要があったから、これもコスト高の原因となる。フィルムカメラは種々の理由から一度に運用できる台数が限られており、カメラワークも盛んに行わなければならなかったから、これに堪えるレンズの価格も高価になりがちである。

一方、4K デジタルムービーカメラは複雑なフィルムかき落とし機構も必要なく、データを書き出す HDD や SSD もフィルムマガジンに比べれば軽量かつコンパクトである。レンズに関してはさして事情が変わらないのだが、カメラワークを台数でカバーすることができればスチル用のレンズを流用することができ、コスト減を見込める。こうした背景もあって、4K デジタルムービーカメラは映画業界に衝撃を与えるほど低価格なものがリリースされた。

有名なものはサングラスメーカーとして知られるオークリーの創業者が設立したレッド・デジタル・シネマカメラ・カンパニーの“REDONE” [4]、フィルムシネカメラの老舗 ARRI の“ALEXA” [5]、ソニーの“F65” [6] などを挙げることができる。F65 は理解に苦しむほど高価な製品だが、従来のフィルムカメラを意識した価格設定であると推察される。図 2.3 はレッド・デジタル・シネマカメラカンパニー製の“REDONE”である。本研究科修士 2 年(当時)のジャナック・ビマーニ氏が操作している。図 2.4 は ARRI 社製の ALEXA である。解像度としては 600 画素級であり、4K には届かないがノイズレベルが低く、低照明環境など、撮影条件の厳しい局面に強い。

こうしたデジタルムービーカメラは急速に普及しつつあるが、それを上回る勢いで普及するのではないかと期待を抱かせるのが 4K モニターおよびプロジェ



図 2.3 レッド・デジタル・シネカメラカンパニー製の“REDONE”



図 2.4 ARRI 社製“ALEXA”

クターである。2011年に開催された CEATEC にて、SHARP [7]、東芝 [8]、ソニー [9]、JVC [10] がいずれも 100 万円前後の 4K モニター (テレビ) およびプロジェクターを発表した。懸案材料はもっとも肝心の、コンテンツの供給である。エンドユーザーまで 4K のコンテンツを届けるのは、ネットワークと大容量のストレージがあれば、転送時間の課題があるにせよ不可能ではないからこれは問題にならない。高品質デジタル映像コンテンツの配信サービスの開始が切に待たれる。

第3章

問題点と関連事項

3.1. 問題点

3.1.1 カメラワーク

視覚体験として普通は視点は全く固定されていない。つまり人は動き回りながらモノを見る事はごく普通の体験であり、何ら特別なことではない。動きを記録出来る映画が発明されてから、人が日常的に体験している視点を移動しながらの視覚体験を記録するまでに少し時間がかかった。映画の発明者のリュミエールやエジソンの初期のフィルムは写真と同じ様にカメラは固定で撮影されている。これはリュミエールの作品、例えば『工場の出口』等で容易に確かめられる。

これらリュミエールの作品については“*Institute of Lumiere*”が参考になるが、全てパン、ティルトはしてもカメラは固定設置である。視点を移動しながらの視覚体験に準じた動画像の撮影はカメラワークと呼ばれていて、英語では“*camera movement (カメラムーブメント)*”である。この撮影が映画の発明よりも少し遅れたのは理由がある。それはカメラの設置点を動かしながらの撮影を試みれば直ちに理解出来ることであるが、相当に注意してカメラの設置点を動かさないと画像にブレが出てしまうからである。こうした画像が非常に見づらいものであるから、コンテンツとして使うことは出来ない。パンやティルトにしても、実際に行うには三脚やカメラの重量バランスなどに注意を払う必要がある。

人がこうしたブレた画像を普通に目で見て体験しないのは理由がある。人は歩いていてモノを見ていても眼がそれほど厳密に水平を保って移動しているわけではなく、頭部は多少上下している。従って眼の網膜に映っている映像もこの上下に対応しているはずであるが、実際に人はこうした上下を感じることはない。な



図 3.1 “工場の出口” の1カット [11]

ぜこうなるかは人の視覚は脳で再構成された結果であり、網膜に映っている映像そのものではないからである。ついでに言えば網膜に映っている映像を全て人は視覚出来るわけでもなく、状況から言えば見ているはずのモノを視覚していないということは普通にある。これはぼんやりしている場合もあるが、そうでない場合にも頻繁に起こることである。この点を鋭く指摘したものとしてチャプリスとサイモンの仕事がある。彼らの著書は日本語訳されて『錯覚の科学』として出版されている。彼らのウェブサイトにも有名なビデオ [12] があり、それを見ると網膜に映っている映像を全て人は視覚出来るわけでもないことが納得出来る。彼らが述べている様に人の注意力というのはゼロサムゲームであり、あることに注意してモノを見ていると他は見逃すのである。このチャプリスとサイモンの実験は再現性があり、このビデオを見たことがない人を対象に繰り返して実験すれば常に似た結果が得られる。

人が普通に見ている様な全くブレていない映像を撮影するには、カメラの設置点をスムーズに細かい振動を避けて移動させる必要がある。これはカメラをレールの上で動かすとか、クレーンを使うことで実現出来る。次の二つの写真はこうした撮影に使われる機材である。



図 3.2 カメラレール [13]

これらの機材を使うことによりカメラワークはブレない画像の撮影が出来る様になり、人の視覚に近づいたものを撮影出来ることになった。場合により人が体験出来ない映像を撮影出来ることになり、映像の表現力を大きく広げることになった。

しかし、こうしたカメラワークは同時に厄介な問題ももたらした。俳優または出演者のパフォーマンスや画角、露出、ピント等のカメラ諸設定、スタッフの配置や動き、その他予期されざるアクシデントの介在によってたださえデリケートな撮影にもう一つ困難が加わってしまったのである。これが映画フィルムカメラの撮影では撮影した映像の確認がリアルタイムで行えないので、時間的、労力的、経済的負担は一層強くなる。こうした極限として完璧主義のコッポラの映画“地獄の黙示録（1979）”は完成した上映フィルムは2時間25分に対して、撮影されたフィルムは230時間であった。費用等については詳細は不明な部分があるが、およそ31,500,000USDと言う巨額になっている。

もちろんカメラのオペレーション、画角の選択や焦点の合わせ方を含めた全てがプロの仕事として存在し、効率よく仕事をこなすことがプロの存在意義となっている。しかしながら、映像の仕上がりについては想定される視聴環境で上映してチェックせずには十分な評価を下すことはできず、費用と時間をかけた試行錯誤が必要なことには変わりがない。

撮影を繰り返すことは常に可能ではなく、勝負が重要で演出が存在し得ないスポーツや記念行事等では絶対に不可能なこともある。レニ・リーフェンシュター



図 3.3 カメラクレーン [14]

ル（1902—2003）は1936年のベルリン・オリンピックの記録映画である“オリンピア（『民族の祭典』『美の祭典』）”を制作したが、競技の終了後に補足的な追加撮影をしていたことが知られている。これはこの作品がベルリン・オリンピックであったらから出来たことで、普通は不可能であるし、やりすぎれば映像記録としての正当性を「やらせ」として疑われかねないことである。

こうした撮影の根本にある困難に打開策を打ち出すには、それ自体の物理的事情に拘束されるフィルムでは困難があった。フィルムでは撮影後に現像という行程を経なければ簡単なチェックもすることができず、撮影用のネガを収めるフィルムマガジンの僅かな歪みや破損によって、一本のフィルムが丸ごと失われてしまうトラブルも起こる。そして加工、合成、編集はデジタル処理に比べれば時間も費用も嵩む。

3.1.2 後づけのカメラワーク

カメラワークの理想は言うまでもなくある撮影対象に対して最適な撮影地点、撮影方向、撮影画角、焦点範囲、色調を選んで撮影することである。これは撮影対象が動かない場合にはスタジオでの写真撮影で行なっている様に実現出来るが、撮影対象が動く場合に簡単に実現出来ない。動画像はもともと撮影対象が動くのであるから撮影カメラも動けば最適なものは得られることはほとんどなく、現実には良くて準最適もしくは意図に反してない程度になることが普通である。もちろんここでの最適と言う条件は多くの場合にそれほど明確に言えないことも普通である。

この最適と言う条件は起きることが予めカメラマンに周知されている場合であっても難しく、予測出来なければほとんど不可能になる。サッカーの試合における不可能の例を述べると、多くのTV中継画像は野球に準じてボールを持つ人を中心とした映像をカメラを選択して撮り続ける。しかしカウンターアタック等の瞬間にボールを奪い、パスする味方はかなり離れた場所にいることが普通であり、このプレーの成功不成功はボール付近よりもこのパスする味方の位置等に依存して、観客の興味はこの二人の位置関係にある。これを予測することは不可能であり、人は一瞬でこのこの二人の位置関係を把握してゲームを楽しむ。しかしこれを普通のカメラ画像で撮影することは不可能に近い。

なおカメラレールとクレーンによるカメラ撮影位置の移動は古典的であり、それなりに撮影技術として定着して今日に至っている。このためにこれらの機材は今でも各種のスタジオで基本的な機材として使われ続けているが、それで撮影者が十分に満足しているわけではない。カメラレールとクレーンで撮影出来ないより制約のない自由な条件のもとで得られる映像を撮りたいとの要求は常に存在し続けている。こうした要求に対して二つの技術が使われる様になっている。一つはステディカム（カメラスタビライザー）であり、もう一つは手振れ防止機構付きビデオカメラである。

ステディカムは移動撮影用カメラ安定装置のことで、正式には Tiffen 社の登録商標である。カメラマンの身体の動揺やブレを吸収し、安定した撮影を可能にする。対応するカメラによって様々なカテゴリーが存在し、小型軽量なものはガン



図 3.4 ステディカム [15]

グリップとウェイトを備えたヤジロベエ式のものがあり、大型のカメラに対応するものはボディスーツに装着したアーム、ジャイロモーターによる安定装置を備えたものもある。

ステディカムは35mmフィルム映画カメラ用もあるが、多くはビデオカメラ用である。これは35mmフィルム映画カメラがかなりの重量であるからで、かつての一世を風靡したミッチェルのような重い35mmフィルム映画カメラ（本体だけで約30kg、レンズやフィルムを装填すると約50kg）ではステディカムの利用は不可能である。35mmフィルム映画カメラ用のステディカムが使われた例として非常に有名なのは“グラディエーター（2000）”の闘技場の主人公が戦うシーンであろう。このステディカムはカメラに対して適切な重量のカウンターウェイトが必要であり、総重量はかなりの重さになることが避けられない。

これに対して手振れ防止機構付きビデオカメラはステディカム程の安定性は実現出来ないが、手持ち撮影において生じる細かいブレを見苦しくない程度に抑える機能である。手振れ防止機構は大きく分けて電子式と光学式があり、光学式

は何らかのジャイロを内蔵していて現在の主流になっている。

こうした技術とは別にカメラワークの自由度を上げるために、デジタル画像技術の進歩を背景にして複数のデジタルカメラからの画像データを用いてカメラワークと同じ映像を得る技術が進み、これを自由視点 (Fly-Through) 映像と言う名称がついている。これは要するに撮影対象の画像情報を出来るだけ多くの撮影から得て、これらの画像情報から自分の欲しいカメラワークの画像を再構成するものであり、従来のカメラワークとは全く異なる観点の実現法である。どれ位のこと出来てどれだけの品質の画像が出来るかを使うカメラの台数とそれらの品質に完全に依存する。

実際的な意味を持つには画像情報を出来るだけ多くの撮影から得られることが前提になる。この前提は現在のデジタルカメラやデジタルビデオカメラの低価格化と高性能化により満たされつつある。具体的に言えば複数のカメラを使ってもよいし、高性能カメラをある点で回転させてオーバーラップさせながら画像を撮影してもよい。Google street view では複数の動画カメラを自動車等に載せて移動させて連続撮影し、後で画像処理で合成している。

今迄のこうした研究は大画面での鑑賞に適した高品質な画像で行われていない。もちろん今迄の研究の延長にこれらは位置するが、カメラを増やすことを含めてそうした画像品質の定量的な評価は自由視点映像を得るアルゴリズムに大きく依存する。アルゴリズムに関して言えば自由視点映像を得るために多くのカメラを用いれば品質は向上し、映像を得るための処理は簡単になるであろう。その事実はより多くの演算処理を映像品質の向上に向けられる。今日デジタル一眼レフカメラの高品質化と低価格化によりこうした方向は実用的に大きな意味を持ってきている。

自由視点画像をカメラワークとそれに直結した編集と結びつけてライブラリベースの映像制作へと発展させた事例は存在しない。多くの自由視点画像の研究がこうした目的に向かうことを述べてはいるが、その可能性を述べるに留まっているにすぎない。最適なカメラワークは品質と大きく関係していて、これらを切り離れた議論はほとんど意味がない。また最適なカメラワークは同時に劇場におけるパフォーマンスの演出とも深く関係する。従来の SDTV のカメラワークは

HDTV のカメラワークに適さないし、DCI 4k 画像では尚更である。

画像品質の議論に関わらない一般論としての最適なカメラワークと言うものが存在しうるか答えは存在しない。過去の SDTV と 35mm フィルム映画の経験から推測するに、品質が高ければカメラワークは穏やかな動きの方が好ましい傾向があり、ワンカットも長くなる傾向がある。

これを撮影対象に自由に選択することがカメラワークの理想であったが、それは色々な理由から自由には出来なかった。その理由は場所的、時間的、経済的など様々であったが、とにかく自由に出来ることが理想であり続けた。それが現在デジタル技術の進歩により、多数の高性能カメラと画像処理技術とノンリニア編集システムの利用で実現可能になってきている。

3.2. 関連事例

3.2.1 Google Street View

全周囲自由視点映像という点では、Google のストリートビューを挙げることができる。Google ストリートビューの主たる成果は、PC 等様々な環境下において、ある場所において得られるであろう視覚体験や建築物等の形状の確認であって、それゆえ画像品質を重要な問題としてはいない。Google street view はある対象に対するパノラマ静止画像を得ることが主なアプローチと判断される。例えば Google street view では撮影地点と次の撮影地点の間を移動するとき、オーバーラップのようなエフェクトが採用されており、2 地点間をドリー撮影した場合のような連続的映像は供給されない [16, 17]。

3.2.2 Toppan 3DVR

トッパン 3 DVR とは凸版印刷株式会社が提供している 3 DCG による映像コンテンツである [18]。現存する建物の図面や 3 次元計測データ、デジタルスチルカメラを用いて取得した色彩情報を用い、専門家による監修を受けて 3D モデル

が作成される。作成された 3D モデルを元に 4K の高品質な映像をレンダリングすることができる。

このアプローチが抱える最大の問題はモデリングやコンテンツの作成に要する膨大な作業量である。自動化を押し進めても、4K クラスの鑑賞に堪えうるクオリティの超高精細な映像を作るには、3D モデルの作成に手作業を要し、コンテンツとして仕上げる段階においても芸術・学術的判断に基づく膨大な修正が必要となる。修復および復元を仮想化することを強く意識しているので、コンセプトとは合致しているといえる。

3.2.3 e-Monument

e-Monument とは東京大学池内研究室が推進する大型有形文化財のデジタル化プロジェクトである [19]。2003 年からカンボジアにおいてバイヨン寺院のデジタル化への取組みが始まった。様々な距離センサーを用いて距離画像データを取得、得られたデータを統合処理し、3次元のデジタルデータへと加工する。保存・修復、解析、展示等の応用が考えられている。得られたデータは3次元の形状データであり、例えば映像を獲得するには、モデリングやレンダリングといった 3 DCG 製作の諸行程を経る必要がある。

3.2.4 Bullet time

バレットタイムまたはマシンガンカメラと呼ばれる撮影手法は時間が停止し、カメラのみが動いているような独特の映像を得る手法である。複数のスチルカメラを並べて同時にシャッターを切ることで得られた複数の静止画を連続的に再生することで映像にするというものである。1999 年の映画“マトリックス”で一躍脚光を浴びた手法だが、当該作品以外の使用例はさほど多くない。マトリックスの続編にあたる 2004 年の映画“マトリックスリローデッド”では、このバレットタイムの発展系にも見える、スーパースローカメラと独特の回り込むようなカメラワークを組み合わせたシーンがあるが、これはバレットタイムの応用ではなく役者の身体に忠実に作られた 3D モデルを利用した CG である。



図 3.5 映画“マトリックス”におけるバレットタイム撮影のようす [20]

3.2.5 実写ビデオと VR を統合した映像ウォークスルーシステム

NTT 情報通信研究所において実写ビデオと 3DCG による VR 映像を組み合わせた情報提供システムが 1997 年に開発された [21]。現実空間を撮影したビデオを移動経路の交差点において分割・蓄積し、各交差点においてユーザーの意思に合わせて取り出すことで映像ウォークスルーを実現するというものである。任意のタイミングでビデオと VR 映像を切り替えることができ、VR 空間をベースにビデオをマッピングすることで直感的かつ容易なオーサリングが実現されている。自由度が交差点において行き先を変更できるに留まり、ビデオ撮影であるために画像品質に限界がある。

3.2.6 Aspen Moviemap

“Aspen Moviemap” は 1978 年マサチューセッツ工科大学にて開発が開始された実写ベースの VR システムである [22]。コロラド州の都市アスペンを自在に行き来することができる VR で再現することが可能である。フッターは距離計と連動して 10 フィート毎に撮影するようセットされた 16mm ストップフレームカメラを搭載した車両を用いて収録された。再生システムは複数のレーザーディスク

クプレイヤーとコンピューター、タッチスクリーンディスプレイを用いて構成された。各交差点ごとに、撮影された画像を繋ぎ合わせて生成された映像を収めたレーザーディスクから、任意のものを選択、再生するという仕組みである。

これによってアスピンの都市内を自動車で自在に行き来するような映像体験を実現しているが、自由度が交差点において行き先を変更できるに留まり、16mmフィルムを用いたワークフローのため画像品質も十分とは言えない。注目すべき点として実写ベースであるために手作業での修正や3Dモデルの作成といったコストのかかる作業を回避しており、一定距離ごとの撮影を行ったことによって自動車の速度の変化と無関係な、一定した視点移動の速度を実現している点を私的することができる。

3.2.7 Lytro

Lytro は米 Lytro 社がリリースした一般向けのライトフィールドカメラである。撮影時には特にピント合わせを意識することなく、撮影された画像を見ながら後処理でピントを合わせることができるという特徴がある。ライトフィールドカメラとはイメージセンサーの前に、異なる焦点距離の小さなレンズから成るマイクロレンズアレイを配し、一度の撮影で焦点が異なる画像を獲得、後処理によって任意に焦点が異なる画像を取り出すカメラである。解像力や収差に問題があるものの、三次元データの獲得、奥行き計測、パンフォーカス画像の獲得など、様々な応用が可能である。



☒ 3.6 Lytro [23]

第4章

MAGICAの概要

MAGICAは4Kクラスの高品質映像をムービーカメラによる撮影を行わずに獲得することを可能にするシステムである。ある空間においてスチルカメラを用いた連続撮影を行って空間をデータベース化しておき、デジタルデータならではの高速ランダムアクセスによって十分なフレームレートで提示することによってある空間においてパン等のカメラワークを行った場合に得られるであろう映像を再現する能力をもつ。

4.1. MAGICAの発案

本研究の目的は静止物から構成される空間にカメラを設置し、基礎的なカメラワークを行った場合と等価な映像を生成する手段を確立することである。映像の品質としては大画面での鑑賞に堪える4K品質であるものとする。この前提から得られる要求は以下のとおりである。

1. 4K画質の映像を得られるカメラを採用すること
2. パン・ティルト・ドリーの再現に十分なデータを用意すること
3. ムービーカムを用いて撮影された映像と同等の品質の映像を生成できること

これらの条件を満たすシステムを構想するにあたり、映像の基本原理に立ち戻ったところ、静止画像から成るデータベースをつくり、そこから十分なフレームレートで画像を取り出し、提示することで映像を生成するという着想を得た。

この考えに MAGICA という名前を与えた。“Multi-purpose AGgregated Images Compose Ad-lib movie” の略である。

一般に映像は時間軸方向に連続した一元配列の画像データ群とみなすことができる。しかしながら、人間が映像を「見る」のは連続した画像が一定以上のフレームレートでスクリーンやモニターに提示された後にそれが光線として角膜、水晶体等を通して網膜に像を結んで刺激し、その刺激が視神経を經由して脳の視覚野へ伝わって、ここで初めて人間はものを「見る」のである。それ以前はコンテンツが如何なる状態であっても構わない。現にリアルタイムレンダリングする 3D コンテンツはストレージに格納されている段階では 3D オブジェクトとテクスチャ、光源やカメラ等レンダリングに必要となる一連のデータを収めているに過ぎない。ありとあらゆるデータは最終的にスクリーンやモニターに出力される段階で連続的に提示される一連の静止画像となればよいのである。

また、カメラワークを条件に挙げた三種類に絞った根拠については次に述べる。

4.1.1 パン・ティルト・ドリー

代表的なカメラワークとして以下のものが挙げられる。

- フィックス
- パン
- ティルト
- ドリーイン/アウト
- トラック
- ズームイン/アウト

カメラワークは基本的に以上のものの組み合わせ、もしくは発展系である。パン、ティルトはそれぞれカメラを水平、垂直に振ることを意味し、ズームイン/アウトはレンズの画角を変化させることを指す。ドリーイン/アウトとトラック

の区別は時として曖昧で、トラックイン/アウトと呼ばれることもあるが、これが本来ドリーとトラックとはカメラを動かしながら撮影するとき用いる器具のことを指しているという事情による。一般に、ドリーは進行方向と画面の中心が一致している動きを指し、トラックはレンズの向きとカメラの進行方向が一致しない場合を指す。

本研究において対象をパン・ティルト・ドリーに絞った根拠は、これらがカメラを動かす撮影技法としては最も基本的であり、情景の説明など、特定の被写体を定めない一般的な用途に使用されやすいという点にある。トラックはドリーと違い、進行方向と画面の中心が一致しない、つまり明確に何らかの被写体を意識する傾向が強く、ズームイン/アウトは明確にズームする対象を必要とするカメラワークである。対照的にパン、ティルトは状況説明的なカットで頻繁に用いられるカメラワークであり、特定の被写体を想定しないケースが多い。ドリーはパン、ティルトと比べると進行方向が必要であるという点において何らかの対象物に意識が向いている傾向が強いが、何らかの興味の対象を暗示するトラックや、明確な被写体への「寄り」が基本であるズームと比べれば一般的な用途に用いられやすい。

4.1.2 静止画像データベースとデジタルデータのランダムアクセス性

画像データ群を多次元配列化してストレージに格納しておき、要求に応じて適切なフレームを順次読み出していけば、一連のある場所にカメラをおいて任意にパン・チルトした場合に得られるであろう映像と等しいものを得ることができる。例えば、水平方向にカメラを一定の割合で向きを変えながら撮影されたデータをX軸方向へ、垂直に同様の撮影を行ったデータをY軸方向へ下図のように格納しておき、あるフレームを再生しているときに上へチルトしたくなればY軸方向の上方に位置するフレームを順次読み出してけばよい。図4.1に例を示す。水平方向のパンを再現する場合には、同じ模様の行をパンさせたい方向に向かって読み出していけばよい。ティルトの場合には同じ列のデータを上下のどちらかで読み

出していくことになる。こうした画像データの格納や順次読み出しではない再生は、フィルムには不可能であった。

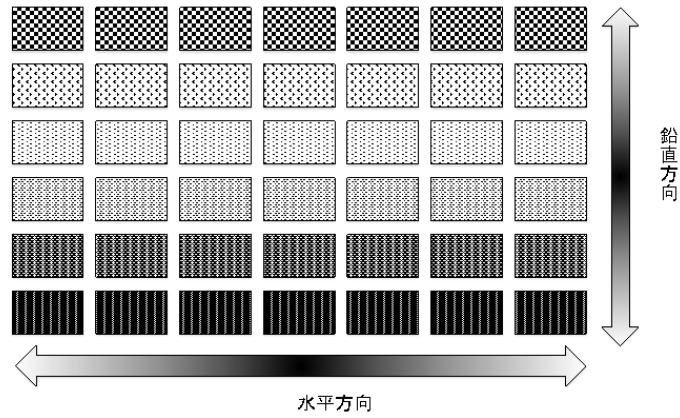


図 4.1 データの格納手法

第5章

MAGICA の設計

5.1. MAGICA の設計

5.1.1 MAGICA のシステム設計

本研究の目的達成のために映像の基本原理に立ち戻った結果、静止画像から成るデータベースを構築し、そこから十分なフレームレートで画像を提示することで映像を生成するという着想を得た。これを実現するため、下記のコンポーネントが必要であると考えた。

1. 静止画像データを取得する撮影装置
2. 静止画像データベース
3. ユーザーインターフェース
4. 読み出すべきデータを計算、出力する映像生成エンジン
5. ディスプレイ

図 5.1 にこれらのコンポーネントが如何に動作するかについての図を示す。

最も重要度が高いコンポーネントは静止画データへの高速ランダムアクセスによる動画生成という MAGICA の主たるコンセプトを支える画像データベースと映像生成エンジンである。画像データベースは迅速にユーザーインターフェースと映像生成エンジンを介して伝えられるユーザーのアクションに応じて画像を取り出せねばならない。高品質映像を得るという目的を考慮すると、これは毎秒 30 フレームから 60 フレームを達成している必要がある。映像生成エンジンもまた、

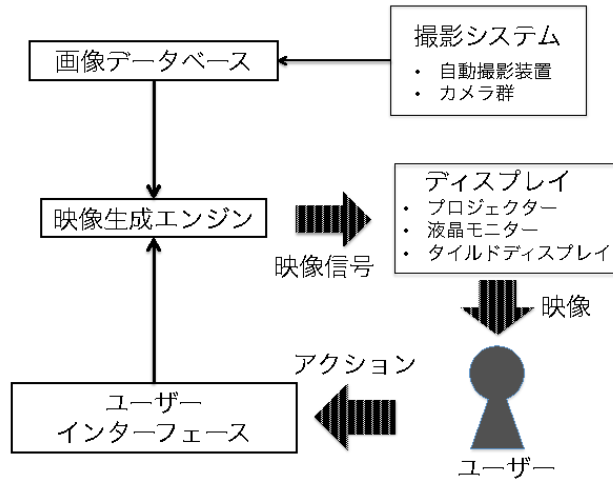


図 5.1 MAGICA を構成するコンポーネント

画像データを同等の速度でデコードしてディスプレイに出力する能力を備えていることが要求される。

ディスプレイ、撮影システムに含まれるカメラはこれらに比して要求は厳しくない。4K クラスのプロジェクターおよびモニターは既に普及価格帯の製品が市場に現れつつある。また、現代のデジタルスチルカメラは既に十分な解像度を持っており、この点についての問題は十分なアクセス速度と容量ストレージを用意することである。DCI4K 準拠の映像はおよそ 800 万画素であるが、横方向に 4096 ピクセルの解像度を確保すれば足りるから、スチルカメラで一般的なアスペクト比に換算すると 1200 万画素級であれば十分な性能であると言える。

5.1.2 連続撮影装置

5.1.1 で示したコンポーネントのうち静止画像データを取得する撮影装置を設計するにあたって、以下のような要件を定めた。

1. 水平方向 360 度、垂直方向 100 度以上の自由度を備えること

2. 何らかの動力によって自動的に稼動し、連続撮影を行えること
3. 単一のレンズによって撮影を行うこと。

この条件が意図するところはMAGICAの応用範囲を広げるに当たって最適なものを追求である。可能な限り人間の頭部の動きに近づけることで視覚体験の再現を目指し、極力アートワークを排除するという意図に基づいて、連続的に撮影された画像をそのまま利用可能なことを条件とした。

単一のレンズを用いることにした理由を以下に示す。

1. 複数のレンズを用いる場合、視差を生ずることを避けられない
2. レンズの個体差による画質への悪影響を回避するため
3. 十分な画像品質を得られるレンズおよびセンサーを採用するため

カメラを上下左右に振る時は、光軸上に存在するノードルポイントを出しておかないと視差が生じる。これは映像についてのみ考える時は必ずしも問題とならないが、パノラマ写真のように複数の静止画像を繋ぎ合わせる処理を行う場合には破綻の原因となる。これを重視したというのが理由の一である。

次に複数のレンズとカメラを用いた場合、レンズの個体差からくる画像品質のばらつきが最終的に映像となったときに破綻感を生じる可能性を考慮したことによる。映像用のレンズに必要な性質として、収差の小ささもさることながら、収差の均一性と首尾一貫した振る舞いをしめすことが望ましい。また、光学系は高い品質の画像を求めるならば、大型化が避けられない。センサーも大型のものの方がノイズ対策や高感度には有利である。センサーと付随する周辺回路やストレージ等のスペースファクターも無視できない。

当初筆者らは流用の効く機材を求めたが、どれも求められる条件を満たすものではなかった。以下にそれらの機材の例を示す。

一つはNodal Ninja社から発売されているNodal Ninjaシリーズで、水平および垂直の両方に高い自由度を持っているが、自動化は全くされていなかった。パノラマ写真の撮影補助機材なので、カメラマンが手動で操作するのが前提である。図5.2に写真を示す。



図 5.2 Nodal Ninja (写真は Nodal Ninja3 mk2) [24]

もう一つが Canaria 社から提供している一眼レフ雲台システムである。これは水平および垂直方向にカメラを振ることができ、モーターを搭載し自動化されている。この機材の問題はパン・チルトの角度がそれぞれ 150 度、30 度と制限されてしまっており、水平 360 度を目指す筆者らの用を足すものではなかった。図 5.3 に写真を示す。

これらの条件を踏まえて連続撮影装置を設計した、図 5.4 に図面を記す

5.2. MAGICA の実装

MAGICA の設計を実装するにあたって、以下のものを製作・あるいは用意した。

1. デジタル一眼レフを用いた連続撮影装置
2. データベースの格納場所兼最終映像出力装置として NTTAT 製 JPEG2000 リアルタイムコーデック
3. 読み出すべきフレームを計算する映像生成エンジン



図 5.3 Canaria 社の一眼レフ雲台システム [25]

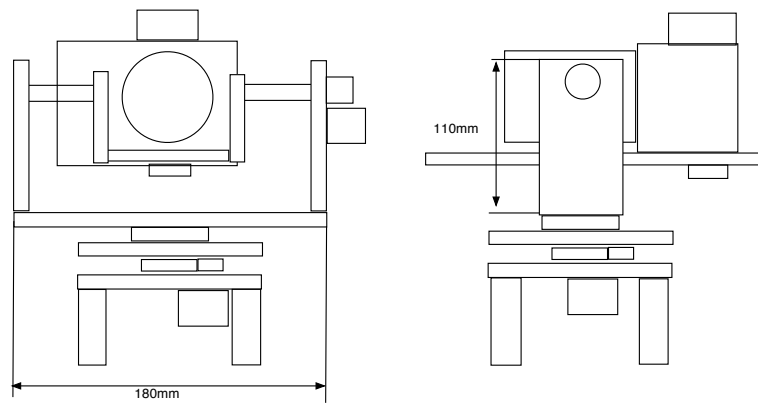


図 5.4 連続撮影装置の設計図

4. データベースのファイルフォーマットの試案

JPEG2000 リアルタイムコーデックのストレージにデータベースを格納し、ディスプレイへの最終映像出力装置を兼ねた。JPEG2000 リアルタイムコーデックは外部の PC からリモートでコントロールすることが可能であり、この機能を利用して田中薫氏が作成した映像生成エンジンから指令を受ける。

画像データとして JPEG2000 を採用している理由は第一にそれが DCI4K の標準規格として採用されている点 [26] と、H.264 等フレーム間相関を用いるフォーマット [27] では本研究において求められる高いランダムアクセス性を得ることが出来ないからである。

JPEG2000 リアルタイムコーデックの採用が決まり、映像生成エンジンの実現方法についての見通しが立ったのち、テストデータを取得するため、5.1.2 で設計した撮影機材を制作した。図 5.5 および図 5.6 に製作中の写真を示す。光学機器であるがゆえに高い組立精度を求められたこともあって製作は難航した。

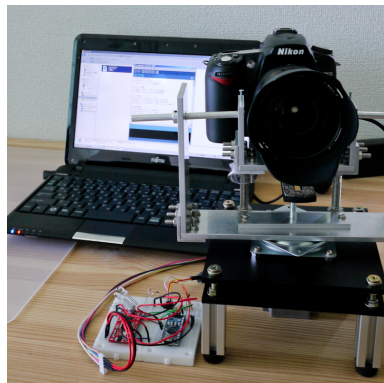


図 5.5 試作の撮影装置

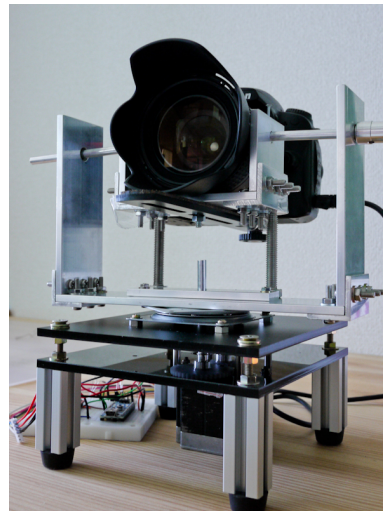


図 5.6 試作の撮影装置

問題に直面した筆者らは最終的に GigaPanPro という製品を改造して用いることを選択した。本来自動的に画像をステッチする技術をスピノフする過程で作られた装置である。当初筆者らの目から逃れていた製品であったが、改めて調査を行うなかで発見された。テストの結果は良好であったので、これを改造して用いることにした。手製の自動撮影装置と機構的にはほぼ同一であったので、制御系を移植することにした。

5.3. mci ファイル

mci ファイルとは、JPEG2000 リアルタイムコーデック上で magica の静止画像データベースを実装するにあたって仮に定めたファイルフォーマットを記述するファイルである。実験段階において、当面困ることがないような範囲を網羅する



図 5.7 GigaPanPro を流用した連続撮影装置

ことを目的とした試験的なものであって、検証を経てその機能を証明されたものではない。

5.3.1 仕様策定の背景

MAGICA においては静止画像データベースを用意して高速に任意の静止画データを取り出せるようにしておく必要がある。本実装において求められている要件は以下の通りである。

1. それぞれ独立した静止画像データを格納する
2. 要求に応じて適切なフレームにランダムアクセスすることができる
3. 求める映像の品質に応じて、十分なアクセス速度を確保する
4. パン・ティルト・ドリーという3つのカメラワークをカバーする

映像生成エンジンとデータベースを兼ねる NTTAT 製 JPEG2000 リアルタイムコーデックの仕様のうち、本要件と関連しそうな事柄を列挙する。

1. データは JPEG2000 静止画像データ 1000 フレームを 1 ファイルとし、コンテンツ単位でディレクトリにまとめて格納しなければならない。
2. 映像や付随する音声についてのメタデータは vds ファイルというテキストファイルに記述され、動画像ファイルや音声ファイルと同一のディレクトリに格納される。
3. 利用可能な動画像ファイルは連番の JPEG2000 画像データのみであり、複雑な名付けは利用できない。

5.3.2 仕様のコンセプト

システム要件と JPEG2000 リアルタイムコーデックの仕様上の制限に適應するべく、ファイルの構成を記述するファイルを準備し、パン・ティルトの再現に必要とされるデータを備えた箇所とそれらの間をドリー撮影した場合を再現するために必要なデータの集まりとしてノードとリンクという概念をグラフ理論用語から借用した。

本研究で使用したものはあくまで試案というべきものであり、実験段階において想定される事態の範囲内で不足するところがないことを念頭に立案されたものである。

1. ファイルの構成を記述するテキストデータを JPEG2000 リアルタイムコーデック用の動画像データに添付する
2. 要求項目にあるカメラワークに対応するため、グラフ理論の概念を借用して空間をモデル化する
3. パン・ティルトに対応した箇所をノードと名づけ、各ノードが含む画像データの性質に応じて使い分けられるようにしておく。
4. ドリーに対応するデータはリンクと名づける。各ノードの間をドリー撮影したケースを再現することを目的とする。

5.3.3 ファイルフォーマットの詳細

JPEG2000 リアルタイムコーデックには与えられた連番の静止画像データを JPEG2000 で圧縮し、再生可能にするプログラムが組み込まれている。圧縮されたデータは 0 オリジンで 1000 フレーム毎にひとつのファイルにまとめられ、コンテンツごとに一つのディレクトリにまとめて保存される。この仕様上、MAGICA 用のデータも連番の画像データをして保存されるしかなく、その構造を記述しておくことが必要となり、mci ファイルを考案するに至った。サンプルを付録に収録してある。

MAGICA 用の画像データはノードとリンクから成る。図 5.8 にノードとリンクの関係についての例を示す。下図中の丸がノードを示しており、それらを繋ぐ線がリンクを示している。ノードがパンおよびティルトに対応したデータを用意しておく部分で、リンクはそれぞれのノードを繋ぐドリーを再現するためのデータを用意しておくためや、通常の一方向性のデータを収めておきたいときに用いるといった用途を想定している。

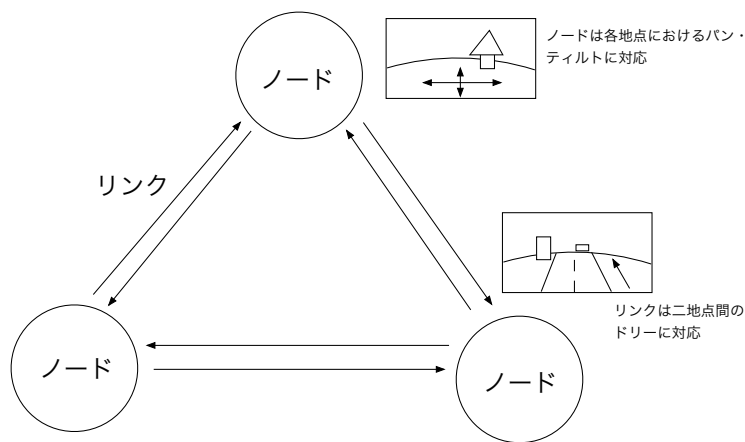


図 5.8 ノードとリンクの例

5.3.4 ノード

ノードはパンおよびティルトに対応するデータを用意しておく部分である。目的や空間の視覚的性質に応じて使い分けられるよう、3タイプのノードを想定した。球座標を採用した“sphere”、平面座標の“plane”、水平方向に加えて一部のみ垂直へのフレームが付与されている“bus”である。まず、全種類のノードに共通する記述方法と内容について述べ、その後この3種類について独自の事情を述べるものとする。

mci ファイルにおいて各ノードを宣言する場合に共通する要素は以下の通り。具体例については付録 A を参照のこと。

- Start_of_Frames および End_of_Frames という二項目で当該ノードに属するデータの範囲を明示すること。
- 接続する他のノードとリンクについて以下の項目を明示すること。
 - 接続されている他のノードの名称
 - リンクの名称
 - 該当リンクへの移行を許可するフレーム番号 (call_frame_no 本節にて詳述)
 - 呼び出す side (5.3.5 を参照)

call_frame_no とはあるノードから他のノードおよびリンクへと接続している箇所を示す。付録 A に示す通り、接続するノード、リンク、call_frame_no、呼び出す side が必須である。図 5.9 に示す通り、隣接するノードとそれらを繋ぐリンクがあるノードから見てどの方位から出発するかの関係が適切に示されていない場合、向かうべきノードとリンクを適切に指定できない、風景が飛ぶといった支障を生ずる。

Sphere タイプ

球座標を採用した Sphere では以下の情報を加えなくてはならない。例を図 5.10 に示す。ノード種別の宣言と垂直・水平方向のデータが用意されている範囲、そ

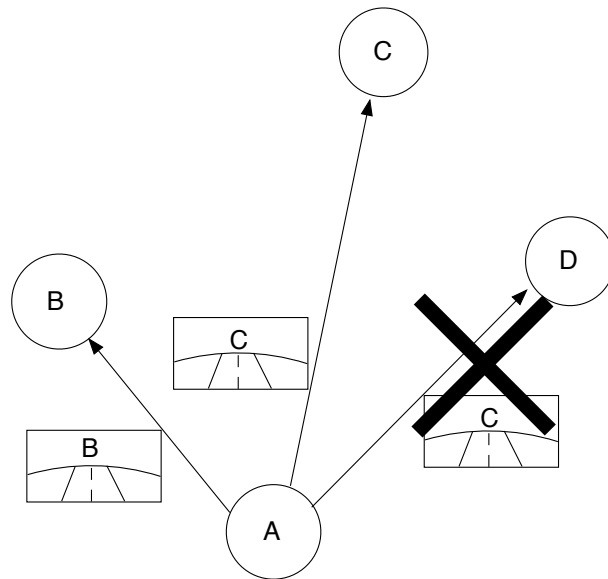


図 5.9 隣接ノード、リンクの呼出し

それぞれの角度へのステップ角である。表示中の画像からこれらのパラメータを基準に次に再生すべきフレーム番号を計算する。本研究においては計算が複雑になるため使用していないが、発展性の意味を込めて定義しておくことにした。

垂直方向に渡って完全なデータを保持するケース以外はそれぞれに範囲を指定しなくてはならない。水平方向の最大値は 360 度で、垂直方向を 180 度と想定している。水平方向 360 度全周の撮影を行ったとしても、垂直方向の全周撮影は行われなことがほとんどだと思われる。当該ノードが完全な球状全周囲に近い場合はストレージ容量を節約することができるのがメリットである。

Plane タイプ

Plane では、図 A に示されるように記述することが求められる。水平方向・垂直方向のフレーム数を指定すればよく、最もシンプルだが、他の 2 タイプと比べるとデータ容量が過大になりやすい。例を図 5.11 に示す。水平方向に連続したフレームを格納し、垂直方向は水平方向の一行あたりフレーム数を基準に垂直方向に配置されているフレーム番号を計算する。図 5.11 の場合では、A から C へパ

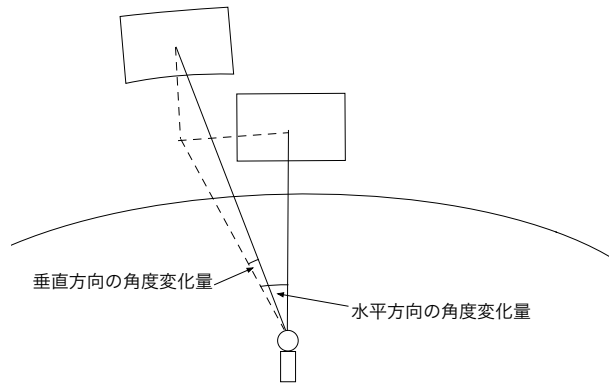


図 5.10 sphere タイプの例

ンする場合、順次次のフレームを読み出して行くことになり、A から B へティルトする場合には、再生中のフレーム番号に対し水平方向の一行当たりフレーム数を足したものが次に再生すべきフレーム番号となる。

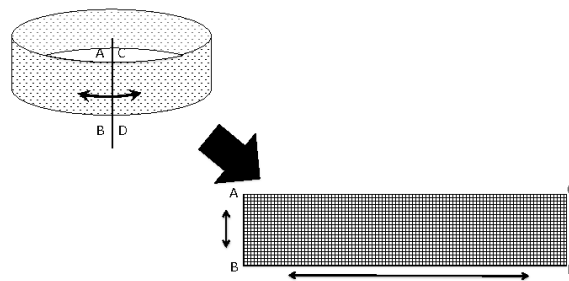


図 5.11 plane タイプの例

Bus タイプ

Bus は水平方向の自由度を基本にファイル容量を減らしつつ、水平方向の一部にのみ大きく垂直方向の視点自由度を確保すれば十分であると思われる場合を想定して用意された。Sphere タイプや Plane タイプは水平方向のデータが用意されている範囲全てでチルトが可能になるように設定されているが、撮影時間の制限やチルトが用いられる場合の演出意図を鑑みるに、より簡易なモデルで十分に機能しうるのではないかという議論がなされ、このタイプの設定に至ったのである。特に建築物や柱など、それに沿って視線を走らせるよう人を誘導するものがある場合に効果的だと思われる。図を図 5.12 に示す。必要に応じて付録 A を参照のこと。

Start_of_equator と End_of_equator はそれぞれノードの基本となる水平方向のフレームの範囲を指定する。基本的にはこれが水平面と一致することを期待しているが、必ずしもその必要ない。水平方向のフレーム群で最も多量の画像データを収めることが予測されているので、Equator と呼ぶことにした。

woof は equator に交差する垂直方向の画像データ群を収める。<woof:woofname> と </woof> のタグで一つの woof のデータが記述されている範囲を規定する。woof は equator に含まれるものと共通の画像を含む、単数または複数の画像データ群から構成される。これは垂直方向にカメラを振ることができる範囲をある程度広く取れるようにしておかないと不便であろうという配慮による。equator と交差する一続きの画像データ群を string といい、それぞれの string は equator とただ一つだけ共通のフレームを持つ。woof に含まれる全ての string は必ず上方から始まって、下方に向かって連続する連番の画像データでなくてはならない。一つの woof に含まれる string に含まれるフレーム数は全て同じでなくてはならず、Frames_per_string の項目で指定される必要がある。Bus 型ノードに含める woof の数は equator のフレーム数を超えてはならない。これは全ての woof が equator と交差することを想定しているためである。

Start_of_Frames と End_of_Frames は woof を表すフレームの範囲を指定する。一つの woof に含まれる画像データ群は、JPEG2000 映像ファイル上のフレームにおいてあるまとまった範囲に全て含まれていなければならない。woof には連続

した equator に交差する画像データ群を含めることが許可されているが、それらの画像データは常に若い番号が映像における下方にあたらなければならない。

Start_of_crossing_Frames と End_of_crossing_Frames では Equator と woof が交差する範囲を、Equator 上のフレーム番号で指定する。Relative_crossing_point は各 string の開始フレームを 1 番と考えたときに equator と交差するフレームは何番目かということを表しており、これを基準に各 woof 内でパンを行う際のフレームを計算する。

weft は equator と平行な水平方向の画像データ群を収める。<weft:weftname> と </weft> のタグで一つの weft のデータが記述されている範囲を規定する。weft は woof と共通の画像データを持つ一連の画像データ群で、垂直方向には複数のフレームを含めることができない。もしその必要があるならば、追加で weft を宣言するべきである。Start_of_Frames と End_of_Frames でフレームの範囲を指定する点は woof と共通である。weft は必ず woof と共通のフレームを持つことが想定されており、交差する woof を woofnameA:123 といったふうに woof の名前と交差する相対フレーム番号で指定する。Start_of_crossing_Frames と End_of_crossing_Frames では weft と woof が交差する範囲を、weft 上の絶対フレーム番号で指定する。Bus タイプは Equator に沿ったパンのみで、その空間における映像の需要をほぼ満たしうるような環境下で用いられることを意図した。weft の利用は必要最小限度に抑えられるべきである。

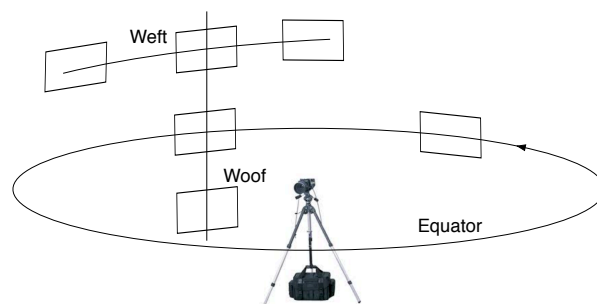


図 5.12 Bus タイプの例

各タイプの使い分け

Plane タイプ、Bus タイプを用意した根拠は、ある種の妥協策であると言える。連続撮影装置を用いた画像の取得、それらを適切に整理するための管理手法は未成熟であり、作業中にも直感的に理解しやすいモデルを用意する必要の迫られたために、この二種類を用意した。こうした理由に加え、映像制作の現場では常に作業時間、機材やストレージ等の装備等、様々な制約のなかで作業を行うことを強いられるので、これらの制約要因と折り合いをつけるための妥協策は必要である。

5.3.5 リンク

各リンクはそれぞれ2つのノードの間をドリーで移動した場合を再現するための画像データが収められている。二地点間をドリーした場合の映像を生成する場合、往路復路の両方には別々のデータが必要になる。図 5.13 に例を示す。付録に添付したサンプルにおいては往路、復路別々のリンクを設定した。

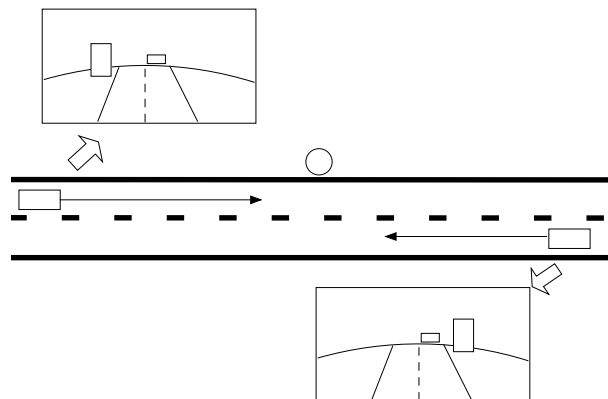


図 5.13 リンクの例

リンクには“side”という概念があり、これを利用することによって一つのリンクに複数の連続した静止画像データ群を収めることができる。図 5.14 に示すように、進行方向とカメラの向きが一致しない場合に対応できる余地を盛り込むという意図による。渡り廊下のような空間において用いられることを主に意図している。

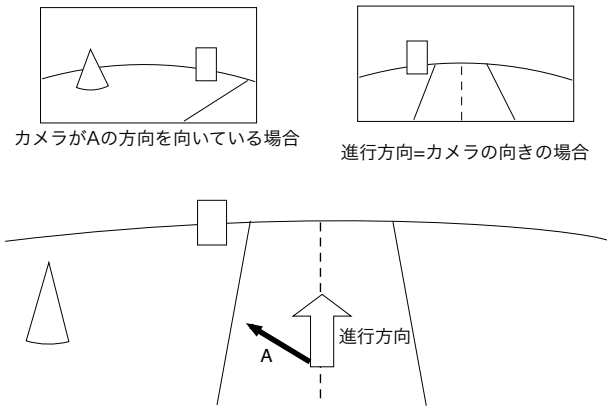


図 5.14 進行方向とカメラの向きについて

第6章

MAGICAの評価試験

6.1. テストデータの取得

評価試験を実施するにあたり、静止画像データの取得を制作した機材で行った。このとき用いられたパラメータと機材を以下に示す。

- カメラユニット:NikonD90
- ストレージ:P社製SDメモリーカード 容量16GB Class6を2枚
- 画質:RAW(1ファイルあたり10.6MB)
- 視点回転角度:0.2度(一周1800分割)
- シャッターリリース後のインターバル:1(Sec)
- 撮影一時休止頻度及び時間:10回ごとに3(Sec)

以上の構成とパラメータで行った撮影の所要時間は約40分であった。

6.2. 予備実験

6.2.1 概要とパラメーター

本評価試験に先立って、稲本・田中両名による予備実験を行った。その目的は本評価試験のユーザーテストに向けてパラメータを絞り込むこと、および動作チェックである。評価に用いた機材は作成した撮影システムおよび映像表示システムで

ある。このテストの結果を検討したうえで、本評価試験で用いるパラメータを決定した。

予備実験用映像(1)のパラメータは撮影機材に用いられていたステッピングモーターをそのまま用いた場合の数値であり、それに対して予備実験(2)はGigaPanProを改造して用い板際の最小動作角である。この間のどこかに適当な値の範囲があると推測し、これらのパラメータを決定した。決定したパラメータは6.3.1に記載されている。

予備実験に仕様した映像群の取得方法や地点を以下に示す。

予備実験用映像(1) 水平のみ

- 撮影場所:慶應義塾大学日吉キャンパス協生館3F 工作室
- 水平方向視点撮影範囲:360度(全周)
- 水平方向視点回転速度 1.2度
- 水平方向視点分割数 180分割

予備実験用映像(2) 水平のみ

- 撮影場所:慶應義塾大学日吉キャンパス協生館3F バルコニー
- 水平方向視点撮影範囲:112度
- 水平方向視点回転速度 0.112度
- 水平方向視点分割数 1000分割

6.2.2 予備実験の結果

本予備実験は稲本、田中の両名による主観評価である。実験映像を両名で吟味した結果、実験用映像(1)では30フレーム毎秒等倍でも動きが速すぎると感じたことと見解の一致を見た。実験用映像(2)では60フレーム毎秒等倍で再生した場合に

遅すぎるとの感想を両名がもった。本予備実験の結果を踏まえ、ユーザーテストに用いるパラメータを決定した。

成果として得られる映像の品質を考慮し、画像データは細密に取得することを基本方針とし、ゆっくりとしたパン速度の実現を目標として定めた。同一フレームレートで再生する場合、撮影時の動作角度を大きくとると、再生した際によりパン速度が速くなるという効果をもたらす。パン速度を保ったまま撮影時の動作角度を二分の一とすると、パン速度も半分になることになる。しかしながら、この場合には再生するフレームを一つ飛ばしていくことによってパン速度を維持することができる。その一方で、フレーム動作角度を大きく保ったままパンの速度を抑えるには、同一フレームを複数回表示するといった工夫が可能であるが、フレーム間の変化量が過大になり、映像品質に悪影響をもたらす可能性が懸念される。以上の理由から、画像データ取得時の動作角度は小さく、細密にデータを取得していくことを基本とした。

この基準に対し、予備実験(1)のパラメータはあまりにパン速度が速過ぎ、対する予備実験(2)のパラメータは十分に遅いパンが実現できているものの、撮影所用時間やデータ量との兼ね合いを考慮に入れると不要であろうと稲本、田中の両名は判断した。予備実験(2)のパラメータによって得られる映像は“極端にゆっくりとしたパン”と表現すべきものであり、このような映像を用いる場合は同一フレームの複数回再生といった妥協策を用いるべき特殊事例とすることができるという判断がその根拠である。

6.3. ユーザーテスト

6.3.1 ユーザーテストに用いたデータについて

実際に自動撮影システムにて取得した画像を映像表示システムにて表示して実験を行った。

実験に使用した映像群の取得方法や地点を以下に示す。

実験映像（１）（水平/垂直方向）

- 撮影場所：慶應義塾大学日吉キャンパス協生館 3F 工作室
- 水平方向視点撮影範囲：360 度（全周）
- 水平方向視点回転角度：0.2 度
- 水平方向視点分割数：1800 分割（ $360 / 0.2 = 1800$ ）
- 垂直方向視点撮影範囲：120 度（水平状態から上下 60 度）
- 垂直方向視点回転角度：0.2 度
- 垂直方向視点分割数：600 分割（ $120 / 0.2 = 600$ ）

実験映像（２）（前後方向）

- 撮影場所：慶應義塾大学日吉キャンパス協生館 3F KMD スタジオ
- 水平方向視点移動角度：固定
- 垂直方向視点移動角度：固定
- 前後方向移動距離：約 4m（レール・ドーリー使用）
- 1 視点当たりの移動距離：約 3cm

（１）については、作成した自動撮影システムを用いて、撮影地点固定、その場で視点のみを回転させて撮影したものであり、ある一地点において自由視点を再現するものである。

（２）については、今回試験的に行った前後方向の移動である。カメラの撮影角度は水平方向、垂直方向ともに固定し、カメラシステム全体（カメラが固定された三脚ごと）をドーリーの上に載せて、レールの上を前後方向に移動して撮影したものである。なお、今回はあくまで試験的に行ったものであり、こちらの撮影方法は機械化されていない。そこで、レールの上に載ったドーリーを手動で 30mm

ずつさせながら撮影を行った。そのため移動幅など精度の面については全く期待できない。

6.3.2 実験内容

実験映像(1)をベースとして、映像表示システムによってインタラクティブな自由視点映像を表示する。その際、以下のようにパラメータを調整したいくつかの映像を用意し、それらを比較して見え方、感じ方の違いを検証する。

(A)

- フレームレート：60 [フレーム/秒]
- 動作速度：等倍 (0.2 度きざみ)
- 再生操作：GUIプログラム上のクリックボタンもしくはカーソルキー

(B)

- フレームレート：60 [フレーム/秒]
- 動作速度：等倍 (0.2 度きざみ)
- 再生操作：ジェスチャー (kinect による検知)

(C)

- フレームレート：30 [フレーム/秒]
- 動作速度：等倍 (0.2 度きざみ)
- 再生操作：GUIプログラム上のクリックボタンもしくはカーソルキー

(D)

- フレームレート：60 [フレーム/秒]
- 動作速度：2 倍速 (0.4 度きざみ)
- 再生操作：GUI プログラム上のクリックボタンもしくはカーソルキー

(A) は、実験映像 (1) を未調整のまま映像表示システムにて表示する。操作は作成した制御プログラムの GUI 上に設けられているクリックボタンをクリックするか、もしくはパソコンのキーボードのカーソルキーを押すことで視点切替の操作をする。(ボタンクリックかカーソルキーかはユーザの好みで任意に選択)

次に、(B) は (A) の設定をそのままに、操作方法だけをジェスチャーによる操作に変更したもの。具体的には、Kinect によって認識されたユーザの右手 (もしくは左手) で映像を撫でるような動作をすると、それに付随して視点が切り替わるというもの。イメージとしては、タッチパネルの画面をスクロールするときのような動作感覚に近いものとなる。

(C) は、(A) のフレームレートを半分の 30 [フレーム/秒] にしたものである。ただし、使用している JPEG 2000 リアルタイムコーデックの仕様上、映像表示の際には基本的にフレームレートが 60 [フレーム/秒] に設定されてしまうため、今回は表示するすべてのフレームを「フレーム 1、フレーム 1、フレーム 2、フレーム 2、フレーム 3、フレーム 3」のように 2 回連続で表示させることで 1 フレームあたりの表示時間を 2 倍にし、擬似的に半分のフレームレートを実現している。

最後に、(D) は (A) の動作速度を 2 倍にしたものである。具体的には通常の状態では「フレーム 1、フレーム 2、フレーム 3」といったように順番に表示されるものを「フレーム 1、フレーム 3、フレーム 5」というように、1 フレーム飛ばしで表示する。これはすなわち、視点移動の回転角度が 2 倍になったことに相当し、一周 360 度の分割数が半分の 900 フレームに分割されたものと同様ということになる。

これら（A）～（D）の映像を、KMDの学生10名に体験してもらい、まず（A）（C）（D）の3つを比較し、それぞれパラメータの違いから見え方、感じ方の違いの比較をおこない、次に（A）と（B）を比較して操作性の比較をおこない、その上で以下の表4.6に示す項目についての感想を求めた。

なお（A）（C）（D）の比較の際、それぞれの映像のパラメータは被験者には一切伝えず、また表示の順番も完全にランダムとし、被験者には3つのうちのどの映像が表示されているかわからない状態とした。本実験で用いた質問項目は以下の通り。

（A）（C）（D）比較についての項目

動画の動きはなめらかでしたか（カクつきはありましたか）

- かなりなめらか
- なめらか
- 普通（一般的な映画並）
- カクつく
- かなりカクつく

視点移動の自由度はどうでしたか

- 無段階で自由自在
- 完全に無段階ではないがある程度自由にうごかせる
- 角度の荒さがが気になる
- 荒くて好きな角度にできない

動きの速さはどうでしたか

- 速すぎる
- 速い
- ちょうどよい
- 遅い
- 遅すぎる

(A)(B)比較についての項目

単刀直入に、どちらの方が操作しやすかったですか

1. ボタン操作
2. Kinect 操作

ジェスチャーと映像の視点移動量とのバランスはどうでしたか

1. ジェスチャーに対して映像の方が動きすぎる
2. ちょうどよい
3. ジェスチャーに対して映像の方が動かなさすぎる

その他何か気付いた事などあれば何でも構いませんのでお書きください

6.3.3 実験結果

6.3で述べた通りの実験を行ったところ、以下のような結果を得た。

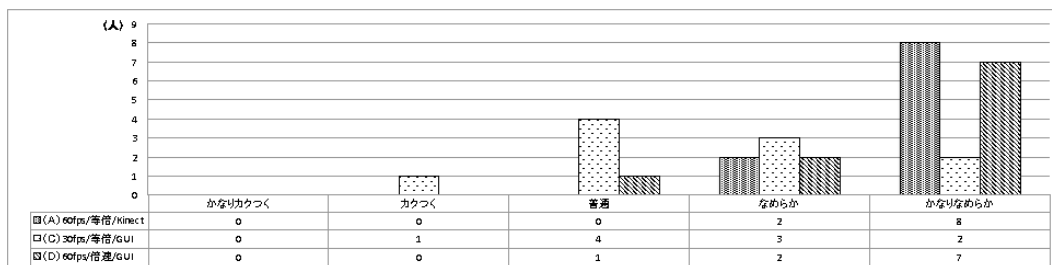


図 6.1 映像のなめらかさについての評価



図 6.2 視点移動の自由度についての評価

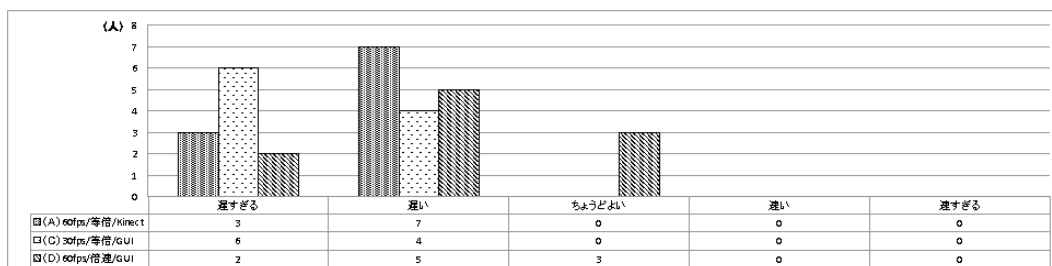


図 6.3 視点移動の速さについての評価

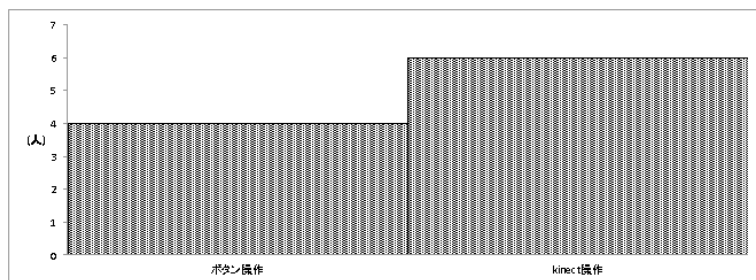


図 6.4 操作性の比較による評価

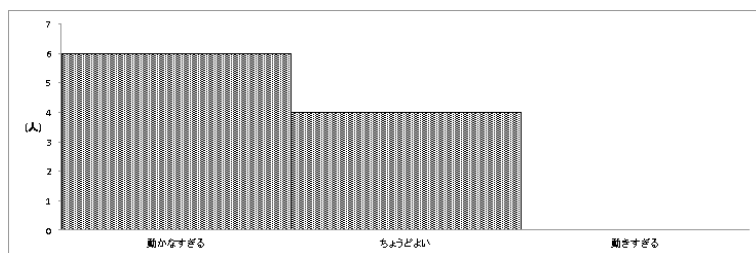


図 6.5 ジェスチャーと移動量のバランスについての評価

第7章 考 察

7.1. 実験結果の考察

6.3 に記した要領で実施されたユーザーテストにおいて、図 6.1 で示されたような結果が得られた理由は、生成された映像のフレームレートが視聴者に与える印象に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。(A)、(C)、(D)の比較の項目において、「映像の動きはなめらかでしたか(カクつきはありましたか)」と『視点移動の自由度はどうでしたか』の質問に対しては(A)と(D)は似たような傾向が見られたが、(C)については全体を通して他2つに比べやや下回る評価がこのことを示している。また、「視点移動の自由度はどうでしたか」の問いに対し、(C)が特に差がないはずの(A)や、動作角度が大きく実際には視点移動の自由度が低いはずの(D)よりもよりも評価が低かったという点は特に注目に値する。フレームレートの遅さがもたらすカクつきが違和感の原因になっていると考えられる。

また、フレームレートが高い、(A)、(D)の映像をなめらかであるとして高評価を与えたものが多い一方で、(C)についても普通の映画並の映像のなめらかさがあるとの評価を得たと信ずるに足る結果でもあるといえる。本研究の第一義的目標は鑑賞に堪える映像の生成であるから、既存の映画に迫るか、場合によってはそれ以上のなめらかさの映像であるとの評価を得た。

(A)、(B)による操作性について検討すると、多少ではあるが Kinect 操作がより好評を得た。自由記入欄に寄せられた肯定的な意見の一部を示す。

- ボタン操作ではわずらわしい
- 大きい画面を自分の手で動かせると迫力がある

- ジェスチャーの方が直感的でわかりやすい

次に否定的な意見の一部を示す。

- ジェスチャーだと微調整がしにくい
- 小さい動きだと反応しない

こうした意見から大振りになりがちなジェスチャーでいかにして細かい映像操作をするための仕組みが必要であるということがわかった。

7.2. 静止画像データの取得について

静止画像データ取得について述べる。本実験で用いられたパラメータは 6.3.1 で述べた通りで、撮影には約 40 分を要した。全くの静止物で構成される屋内のような空間で、照明を完全にコントロールする場合であれば問題にならないが、屋外への適用や自然光を活かした照明による絵づくりを意図する場合は問題であり、何らかの対策が必要である。

6.1 で示したテストデータ取得の過程で発覚したことであるが、SD メモリーカードへのアクセス速度には著しいばらつきがあり、Class 表記も必ずしも信用できるものではない。撮影に先立ってメモリーカードアクセス速度の測定を行ったのだが、Class4 の製品であるにも関わらず 10MB/S という良好な書込み速度をマークした製品があった一方で、Class10 であるが 9MB/S という結果しか得られないものもあった。SD メモリーカードをアクセス速度が焦点となりうる用途に用いる際には留意しなくてはならないといえよう。

7.3. 映像の品質について

本研究において最優先の達成すべき目標は十分な画像品質の映像を獲得することにほかならない。したがって、毎秒 60 フレーム 0.2 度きざみ、毎秒 30 フレーム 0.2 度きざみ、毎秒 60 フレーム 0.4 度きざみ、の各パラメータにおいてほぼ全

員がカクつきに不快感を覚えず、6.3にて示した通り、通常の再生方法と異なるMAGICA独自の方式で再生されているにも関わらず、通常の映画と変わらないと回答したことがもっとも重要である。

本研究における映像品質についての懸案事項はJPEG2000リアルタイムコーデックに搭載されているストレージから画像ファイルの読み出し速度が不足している、またはKinectをコントロールしているPCとの接続環境の問題からバッファが枯渇して鑑賞に耐えうるフレームレートを維持できないという可能性であった。この検証の範囲においてこの問題は生じなかったと判断できる。これをもって、本研究は一応の目標達成を見たといえる。

本研究では6で示した通りのパラメータを用いて評価を行い、映像の滑らかさについて図6.1に示される通りの結果を得た。被験者の回答を参考にすると60fpsのフレームレートを採用した(A)および(D)が良好な性能を示していると考えられる。しかしながら、これをMAGICAの標準のパラメータとして用いる事は不可能である。DCI4Kではフレームレートは24fpsと定められており、60fpsで適切なパンの速さで、カクつきを感じないと判断しても、単純に再生しただけではパン速度が遅くなり過ぎる。また、図6.1において、同一の角度変化量に相当する(C)と(D)についての評価を比較するに、角度変化をそのままより低いフレームレートの映像に適用すると、カクつきを覚える可能性がある。最終的に利用される映像のフォーマットに近い数値で再生を行い、適切と思われるカメラワークを設定することが望ましい。JPEG2000リアルタイムコーデックは様々なフレームレートに対応しており、この点では柔軟性が高いといえる。

第8章

結 論

8.1. まとめ

本研究では映像コンテンツ製作の大幅な省力化と品質の底上げを実現するため、ある空間においてカメラワークによって得られる映像を静止画像データベースを用いて再現することを試み、MAGICA を考案・作成・検証した。

MAGICA はスチルカメラを用いて静止画の取得を行い、それを所定のフォーマットに従って NTTAT 製の JPEG2000 リアルタイムコーデックに接続されたストレージに格納、田中薫氏によって作成された制御プログラムを介して適切な画像の再生命令を発行することによって 4K の高精細な映像を生成するという形で実装された。

画像データ取得のための連続撮影装置は、当初手製の装置を試みたが、最終的に GigaPanPro の制御系を手製の連続撮影装置の制御系で置き換えたものを用いた。これは光学機器であるがゆえに工作精度に対する要求が高いという事情による。光学機器系にはレンズ系がかさ張って重量があるばかりではなく、精度と振動防止のために剛性を求めたものが多い、それゆえに三脚等の固定用機材もかさ張って重量があるものになり勝ちである。そのような機材を手製で組上げるとなると、工作精度と強度の問題に苦しむことになる。よって、光学機器については市販の製品の流用および改造が第一の選択肢となる。

静止画像データベースのフォーマットについて、JPEG2000 リアルタイムコーデックの仕様上の問題から mci ファイルというメタデータを記述したテキストファイルを付与するという方式をとった。mci ファイルは実験的な側面が強く、実際の運用によって更なる改良を加える余地が大である。mci ファイルの記述は複

雑で手間がかかり、ヒューマンエラーを生じる原因となりうる。連続撮影装置による取得段階から何らかのメタデータを付与する手段を用意するか、作成支援プログラムの用意といった改良が考えられる。また、映像生成エンジン、インターフェースといったその他のコンポーネントと組み合わせて運用実績を増やし、総合的な見直しを図る必要がある。

MAGICAの美点は通常カメラマンの集中とセンスを必要とするカメラワークを排除しつつ、それと同様の映像を得ることができる点にある。その性能について検証実験を行ったところ、得られたデータはMAGICAが生成した映像が十分に満足できるものであることを示している。

デジタル化技術は映像業界に画像品質の向上、コピーによる劣化防止、運用の自由度増など様々な恩恵をもたらしてきたが、本研究はさらなる省力化と低コスト化をもたらすだろう。

8.2. 今後の課題

スチルカメラの性能向上も期待される。小型軽量でミラーという振動発生源を持たないミラーレスカメラの高性能化によって撮影装置自体が小型軽量になり、取り回しも容易になる。現状ミラーレス機種はエントリーモデルやコンシューマーモデルといった位置づけをされており、リモートスイッチの端子がない、同一メーカー性一眼レフと比べ画質が劣る、キャッシュの容量が小さく連続撮影の信頼性が低いといった問題があり、本研究においては採用できなかった。今後の性能向上でこういった問題は払拭されることが期待される。

本研究においてカメラで発生した問題は連続撮影能力であったが、ボトルネックはストレージへの書込み速度であった。現に筆者らは検証実験のデータ取得段階において、ストレージに用いたSDメモリーカードの性能上の個体差に直面した。ビデオ撮影など、大量のデータを書込む作業を行う前には事前に性能を十分検証しておく必要があるという教訓は改めて確認された。とはいえ、技術革新によりストレージの容量とアクセス速度は向上しつつあるので、ストレージへのアクセス速度問題は近いうちに改善されるものと思われる。

撮影枚数の多さを解決するにはスティッチング等画像処理技術の適用によって、静止画の重複部分の撮影を避けることができる。しかしながら、レンズの収差による画像品質への影響やスティッチ時のずれ等の問題を解決せねばならないという点は指摘しておく必要がある。スティッチング技術を用いる場合にしても、諸条件の許す限り撮影枚数を増やしておくことが重要となるであろう。

謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見からの確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の稲蔭正彦教授に心から感謝いたします。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の加藤朗教授に心から感謝いたします。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科講師南澤孝太氏に心から感謝いたします。

検証実験を行う上で多くのご協力をいただいた慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の学生の皆様に心から感謝いたします。

さまざまな面から研究活動を支えていただき、時に苦楽を共にした慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 Power Of Motionpicture の皆様に心から感謝いたします。

本研究を共同して推進し、機材製作や映像生成エンジンの実装など、数多くの貢献をしてくださった慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士2年(当時)の田中薫氏に心から感謝いたします。

最後に、研究活動に関するご理解とともに、経済面や生活面において支援していただきました家族に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Youtube ウェブサイト「about youtube」 . http://www.canaria-net.co.jp/solution/broadcast/slr_camera.html.
- [2] 小野定康, 藤井哲郎, 藤井竜也. 「超高精細デジタルシネマ」. 『IECE Fundamental Review』, Vol. Vol3 No2, pp. 10–33, 2009.
- [3] シネママガジン「東京ドーム『スピード・レーサー』世界最大級 IMAX による超ド級ジャパンプレミア」. <http://cinema-magazine.com/p/1474>.
- [4] RED 「REDONE 製品ページ」 . <http://www.red.com/products/red-one>.
- [5] ARRI 「ALEXA 製品ページ」 . http://www.arri.com/camera/digital_cameras/cameras/camera_details.html?no_cache=1&product=9&cHash=a8f59e1416.
- [6] Sony ニュースリリース「新開発 8K CMOS イメージセンサーを搭載した業界最高画質の CineAlta カメラを発売」 . <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201109/11-103/>.
- [7] シャーププレスリリース「フルハイビジョン信号の 4 倍の解像度をもつ“ICC 4K 液晶テレビ”の共同開発をスタート」 . <http://www.sharp.co.jp/corporate/news/110929-a.html>.
- [8] 東芝「レグザ XS5 製品ページ」 . http://www.toshiba.co.jp/regza/lineup/xs5/index_j.htm.
- [9] SONY 「VPL-VW1000ES 製品ページ」 . <http://www.sony.jp/video-projector/products/VPL-VW1000ES/>.

- [10] JVC 「DLA-X90R 製品ページ」 . <http://www3.jvckenwood.com/projector/dla-x90r/index.html>.
- [11] Institute of Lumiere “La Sortie de l’Usine Lumiere Lyon” . <http://www.institut-lumiere.org/>.
- [12] Simons and Chabris “the invisible gorilla” . <http://www.theinvisiblegorilla.com>.
- [13] 株式会社ユーエヌ “アシストレールドリキット” . <http://www.un-ltd.co.jp/products/camera/others/index.html>.
- [14] Stanton Video Services, Inc 「Jimmy Jib Triangle 製品ページ」 . <http://jimmyjib.com/triangle.html>.
- [15] Tiffen Company “Clipper324” . <http://www.steadicam.com/>.
- [16] Google 「カメラを載せて走る乗り物たち」 . <http://maps.google.co.jp/intl/ja/help/maps/streetview/technology/cars-trikes.html>.
- [17] Google 「写真がストリートビューになるまで」 . <http://maps.google.co.jp/intl/ja/help/maps/streetview/technology/photos-into-street-view.html>.
- [18] 加茂竜一. 「印刷技術の進化とデジタルアーカイブへの応用」. 『日本印刷学会誌』, 20040630 1, pp. 159–165, 2004.
- [19] 池内克史, 高松淳, 岡本泰英, 鎌倉真音. 「大型有形文化財のモデル化とその利活用」.
- [20] Ryan ’s research project 「How bullet time was created in the Matrix」 . <http://ryansresearchproject.blogspot.com/2010/04/how-bullet-time-was-created-in-matrix.html>.

- [21] 仲倉一顕, 岸田義勝, 木原民雄. 「実写ビデオとVRを統合した映像ウォークスルーシステム」. 『日本情報処理学会誌』, 第55回平成9年後期(3), p. 448, 1997.
- [22] Michael Naimark. 「Aspen the verb: Musings on heritage and virtuality」. 『Presence journal』, Vol. Vol. 15, No. 3, pp. 330–335, 2006.
- [23] lytro 公式サイト . <http://www.lytro.com/>.
- [24] Nodal Ninja Inc, 「Nodal Ninja3 mk2 製品ページ」. <http://www.nodalninja.com/products/panoheads/nodalninja3.html>.
- [25] カナリア 「一眼レフ自動雲台製品ページ」. http://www.canaria-net.co.jp/solution/broadcast/slr_camera.html.
- [26] DCI Specification, Version 1.2. March 07 2008 .
- [27] H.264 : Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video .

付録A

mciファイルの例

付録のデータは“spere”、“plane”、“bus”の三つのノードを、往路と復路で別々のリンクによって接続したコンテンツを想定したものを収録している。それぞれのノードを6つの独立したリンクで接続している。

```
TITLE = sample
```

```
VIDEO_FILE = ./sample
```

```
TOTAL_FRAMES = 36000
```

```
Default = “ spere ”
```

```
<Node:sphere>
```

```
Start_of_Frames= 1234
```

```
End_of_Frames= 1234
```

```
Node_type = S
```

```
Vertical range = 90
```

```
Horizontal range = 360
```

```
Vertical step angle= 0.01
```

```
Horizontal step angle = 0.01
```

```
default_frame = 0
```

```
circulation = on
```

```
<List:Connected node>
```

```
<i>Connected_node=plane,link_name=s_to_p,call_frame_no=123,side=A</i>
```

```
<i>Connected_node=bus,link_name=s_to_b,call_frame_no=123,side=A</i>
```

</List>

</Node:sphere>

<Node:plane>

Start_of_Frames= 1234

End_of_Frames= 1234

Node_type = P

H_Frame_number = 1234

V_Frame_number = 1234

default_frame = 1234

circulation = on

<List:Connected node>

<Connected_node=sphere,link_name=p_to_s,call_frame_no=123,side=A</i>

<Connected_node=buslink_name=p_to_b,call_frame_no=123,side=A</i>

</List>

</Node:plane>

<Node:bus>

Start_of_Frames= 1234

End_of_Frames= 1234

Node_type=B

Start_of_equator= 1234

End_of_equator= 1234

<woof:woofname>

```
Start_of_Frames= 1234
End_of_Frames= 1234
Start_of_crossing_Frames= 1234
End_of_crossing_Frames= 1234
Frames_per_string= 1234
Relative_Crossing_point= 1234
</woof>
```

```
<weft:weftname>
Start_of_Frames= 1234
End_of_Frames= 1234
Crossing_woofname=woofnameA: 1234,
Start_of_crossing_Frames= 1234
End_of_crossing_Frames= 1234
</weftname>
```

```
default_frame = 1234
circulation = on
```

```
<List:Connected node>
  <i>Connected_node=sphere,link_name=b_to_s,call_frame_no=123,side=A</i>
  <i>Connected_node=plane,link_name=b_to_p,call_frame_no=123,side=A</i>
</List>
```

```
</Node:bus>
```

```
<Link:Linkname>
  <Aside>
    Starting frame No= 1234
```

```
End frame No=  
Connect to Nodename,FrameNo= 1234  
</Aside>  
<Bside>  
Starting frame No= 1234  
End frame No= 1234  
Connect to Nodename,FrameNo= 1234  
</Bside>  
</link>
```

```
<Link:s_to_p>  
  <Aside>  
    Starting frame No= 1234  
    End frame No=  
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234  
  </Aside>  
  <Bside>  
    Starting frame No= 1234  
    End frame No= 1234  
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234  
  </Bside>  
</link>
```

```
<Link:s_to_b>  
  <Aside>  
    Starting frame No= 1234  
    End frame No=  
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234  
  </Aside>
```

```
<Bside>
Starting frame No= 1234
End frame No= 1234
Connect to Nodename,FrameNo= 1234
</Bside>
</link>
```

```
<Link:p_to_s>
  <Aside>
    Starting frame No= 1234
    End frame No=
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234
  </Aside>
  <Bside>
    Starting frame No= 1234
    End frame No= 1234
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234
  </Bside>
</link>
```

```
<Link:p_to_b>
  <Aside>
    Starting frame No= 1234
    End frame No=
    Connect to Nodename,FrameNo= 1234
  </Aside>
  <Bside>
    Starting frame No= 1234
    End frame No= 1234
```



```
        Connect to Nodename,FrameNo= 1234
    </Bside>
</link>
```

```
<Link:b_to_s>
    <Aside>
        Starting frame No= 1234
        End frame No=
        Connect to Nodename,FrameNo= 1234
    </Aside>
    <Bside>
        Starting frame No= 1234
        End frame No= 1234
        Connect to Nodename,FrameNo= 1234
    </Bside>
</link>
```

```
<Link:b_to_p>
    <Aside>
        Starting frame No= 1234
        End frame No=
        Connect to Nodename,FrameNo= 1234
    </Aside>
    <Bside>
        Starting frame No= 1234
        End frame No= 1234
        Connect to Nodename,FrameNo= 1234
    </Bside>
</link>
```