

システム開発

22-F-5

次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に 関するフィージビリティスタディ

報 告 書

— 要 旨 —

平成23年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 財団法人 デジタルコンテンツ協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人 機械システム振興協会では、財団法人 J K A から機械工業振興資金の交付を受けて、機械システムに関する調査研究等補助事業を実施しております。

これらを効果的に実施するために、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長：東京大学名誉教授 藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人デジタルコンテンツ協会に委託し、実施した成果であります。関係諸分野に関する施策が展開されていくうえで、本フィージビリティスタディの成果が一つの礎石として、皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成23年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

わが国のコンテンツ産業は、約14兆円という市場規模で、米国に次いで世界第2位となっております。また、わが国のアニメ・マンガ等のソフトパワーは、「クールジャパン」と呼ばれ、海外でも高く評価されております。さらに、コンテンツ産業は付加価値が高く、雇用規模の大きい産業として、成長著しいアジア市場への展開も含め、今後の成長が期待されております。

経済産業省では、Japan国際コンテンツフェスティバルCoFesta (コ・フェスタ)の開催、コンテンツ技術戦略マップの策定等を通じて、わが国のコンテンツ産業の振興に努めておられます。

当協会ではコンテンツ技術戦略マップ策定に参加、コ・フェスタの公式イベントの一環としてデジタルコンテンツEXPOを開催し、2009年には3D関連の展示等を幅広く紹介し、2008年を上回る約3万の方々にご来場をいただきました。また、3D映像技術の開発と実証等の技術調査を積極的に展開しております。

今後とも、国のコンテンツ政策を踏まえ、会員のニーズ、課題等を取り上げ、コンテンツ産業の拡大に向けて、調査研究事業、振興事業および自主事業を柱に活動を積極的に推進し、コンテンツ産業の健全な発展、さらなる市場規模の拡大を図るとともに、わが国の経済の発展に貢献して参る所存です。

皆様方にも今後とも一層のご協力とご支援をお願い申し上げます。

本報告書は、財団法人 デジタルコンテンツ協会が(DCAj)が、財団法人 機械システム振興協会から平成22年度事業として受託した「次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に関するフィージビリティスタディ」の成果をまとめたものです。

本フィージビリティスタディ(以下、「F/S」という。)の実施にあたり、ご指導・ご支援をいただいた関係の官庁、関係機関の各位に感謝の意を表します。

平成23年3月

財団法人 デジタルコンテンツ協会

目 次

| | |
|--|----|
| 1. F/Sの目的 | 1 |
| 2. F/Sの実施体制..... | 2 |
| 3. F/S成果の要約..... | 6 |
| 3-1 3Dカメラシステムの高度化とコンテンツ評価機能の統合..... | 7 |
| 3-1.1 3Dカメラシステムの高度化..... | 7 |
| 3-1.2 ユーザインタフェースの開発..... | 10 |
| 3-1.3 コンテンツ評価機能の統合..... | 16 |
| 3-2 多様な観察環境に対応した変換機能の設計・試作..... | 19 |
| 3-2.1 視環境に応じたカメラ制御機能の改良..... | 19 |
| 3-2.2 メタデータ活用による変換機能の検証..... | 26 |
| 3-3 ユーザビリティテスト/モニタテスト..... | 28 |
| 3-3.1 ユーザビリティテスト..... | 28 |
| 3-3.2 パラメータロック機能テスト..... | 33 |
| 3-3.3 焦点調節機能から見た立体視コンテンツの両眼視差許容範囲について<参考>..... | 38 |
| 4. F/Sの今後の課題および展開..... | 46 |

1. F/Sの目的

両眼立体視を用いた立体映像(以下、「3D」という。)は、100年以上前から、その将来を繰り返し展望されながらも、現在まで普及していない。約10年の周期で到来してきたブームによる、3Dディスプレイの開発技術の発達に比べ、3Dコンテンツの制作技術の遅れが指摘されてきた。それにより、コンテンツやクリエイタの不足という、3Dコンテンツの産業・文化としての普及を阻害する要因を生み出してきたといえる。

財団法人 デジタルコンテンツ協会では、当該分野の有識者からなる委員会を構成し、3Dコンテンツの制作・利活用にかかる課題の調査を行った。図1-1は、平成18年度の調査・検討結果であるが、映画、アニメーション、ゲームなどの諸分野において、共通する6種類の課題が明らかとなった。

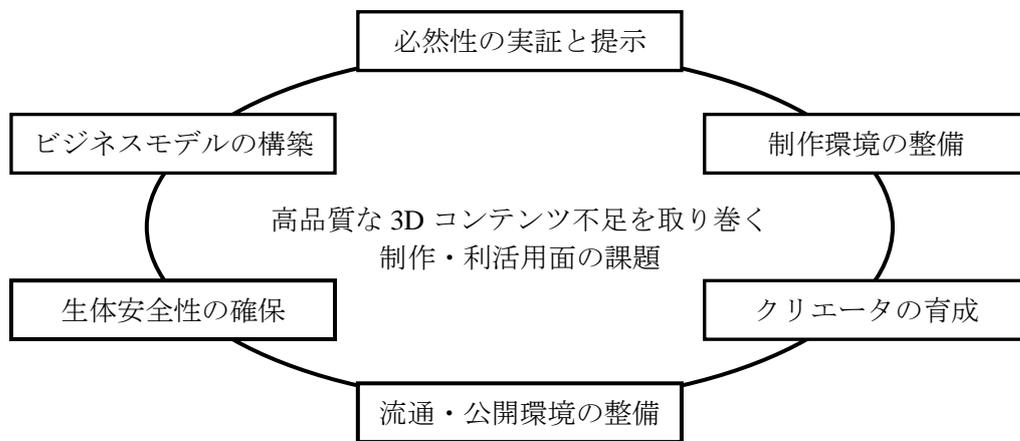


図1-1 3Dコンテンツ調査委員会(平成18年度)の結論

上記の課題は、いずれも相互に連鎖していることから、理想的には全てが同時に解決されるような取り組みが行われるのが望ましいといえるが、現実的には困難である。そのため、即効性が期待される課題を選択し、課題間の積極的な相互作用を及ぼすことに取り組むのが、3Dコンテンツの産業振興を担うのに妥当であるという結論に至った。

そこで本F/Sでは、クリエイタや配給者にとって利便性が高く、視聴者に対する安全性や快適性を踏まえて制作されたデジタルコンテンツを「次世代立体視コンテンツ」と定義し、その制作・評価にかかる応用技術・環境を確立・整備することを目的とした。

2. F/Sの実施体制

財団法人 機械システム振興協会内に「総合システム調査開発委員会」を、財団法人 デジタルコンテンツ協会内に当協会会員会社と外部有識者などからなる「次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に関する事業委員会」を、それぞれ設置して、本F/Sを実施した。(図2-1)

次世代立体視(3D)カメラの高度化(開発)に関するF/Sについて、ハード関係を株式会社レッツコーポレーションに再委託する。

また、本事業にて開発した3Dカメラシステムを利用したコンテンツ制作によるユーザビリティテストとして、パナソニック映像株式会社に協力を依頼する。

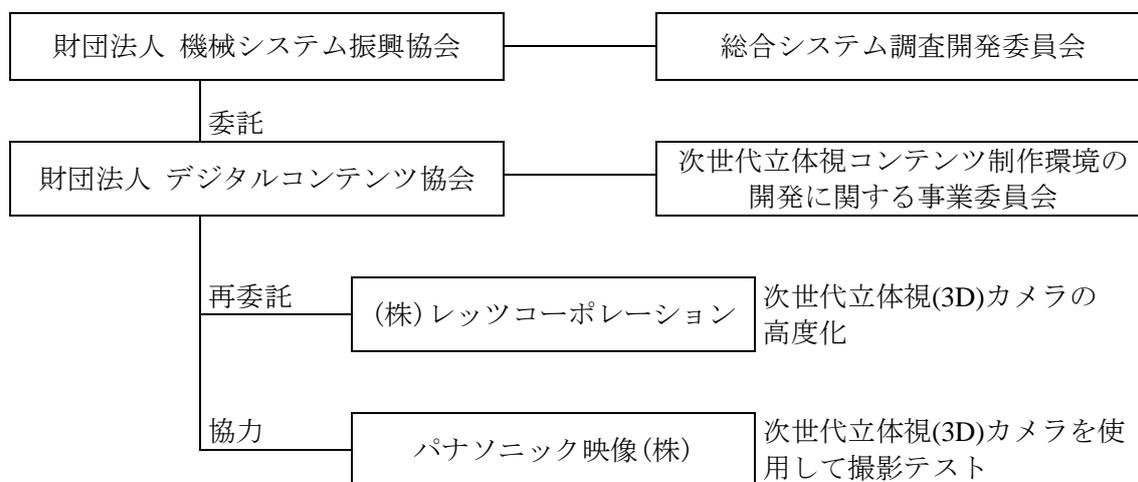


図2-1 F/Sの実施体制図

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

| | | |
|-----|--|---------|
| 委員長 | 東京大学 名誉教授 | 藤 正 巖 |
| 委 員 | 埼玉大学 総合研究機構 教授 | 太 田 公 廣 |
| 委 員 | 独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門 研究部門長 | 金 丸 正 剛 |
| 委 員 | 独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 招聘研究員 | 志 村 洋 文 |
| 委 員 | 早稲田大学 研究戦略センター 教授 | 中 島 一 郎 |
| 委 員 | 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授 | 廣 田 薫 |
| 委 員 | 東京大学大学院 工学系研究科 准教授 | 藤 岡 健 彦 |

次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に関する事業委員会

(順不同・敬称略)

| | | |
|-------|---|---------|
| 委員長 | 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 教授 | 河 合 隆 史 |
| 委 員 | 東京眼鏡専門学校 校長 | 畑 田 豊 彦 |
| 委 員 | NHKメディアテクノロジー 営業推進部 エグゼクティブ・エンジニア | 緒 形 京 |
| 委 員 | 産業医科大学 眼科学教室 講師 | 岩 崎 常 人 |
| 委 員 | 神奈川工科大学 情報学部 教授 | 井 上 哲 理 |
| 委 員 | 株式会社 フジテレビジョン 技術開発局技術開発室企画開発部 副部長 | 高 橋 和 子 |
| 委 員 | 株式会社TBSテレビ メディアビジネス局 ペイテレビ事業部 部次長 | 篠 原 彰 弘 |
| 委 員 | (株)IMAGICA 3D事業推進室 課長/3Dスーパーバイザー | 灰 原 光 晴 |
| オブザーバ | 株式会社TBSテレビ 技術局マネジメントデスク部 部次長 | 中 澤 健 |
| オブザーバ | シャープ 株式会社 研究開発本部 先端映像・通信技術研究所 主事 | 田 中 誠 一 |

| | | |
|-------|--|-----------------------------|
| オブザーバ | 東芝デジタルフロンティア 株式会社 制作部 部長 | 和 田 宏 |
| オブザーバ | 任天堂 株式会社 企画開発本部 環境制作部 映像制作グループ グループマネージャー | 河 越 巧 |
| オブザーバ | 財団法人 NHKエンジニアリングサービス 社長室付 新規事業部 課長 | 国 分 秀 樹 |
| オブザーバ | パナソニック映像 株式会社 東京制作第2グループ グループマネージャー | 木 崎 浩 司 |
| オブザーバ | パナソニック映像 株式会社 東京制作第2グループ プロデューサー | 澤 村 厚 志 |
| オブザーバ | ソニー 株式会社 プロフェッショナルソリューション事業本部 室長 | 甲 賀 祐 二 |
| オブザーバ | 株式会社 レッツコーポレーション 社長室付 新規事業部 課長 | 坂 口 裕 介 |
| オブザーバ | 株式会社 レッツコーポレーション 情報機器事業部 | 橋 本 和 紀 |
| オブザーバ | 早稲田大学 国際情報通信研究センター 客員研究員 | 岸 信 介 |
| オブザーバ | 早稲田大学 大学院国際情報通信研究科 修士課程 | 趙 昱 |
| 事務局 | 財団法人デジタルコンテンツ協会 常務理事 (兼) 事業開発本部長 事業開発本部 先導的の事業推進部長 事業開発本部 先導的の事業推進部主幹 | 田 中 勉 増 井 武 夫 松 原 真 弓 |

3. F/S成果の要約

本事業では、クリエイターや配給者にとって利便性が高く、視聴者に対する安全性や快適性を踏まえて制作された立体視(3D)コンテンツを「次世代立体視コンテンツ」と定義し、その制作・評価にかかる応用技術・環境を確立・整備することを目的とした取り組みを行ってきた。

事業の推進にあたっては、3Dコンテンツの制作・利活用・評価にかかわる多様な専門性を有した委員からなる事業委員会を構成し、制作現場および技術開発の双方の観点から、知見のご提供をはじめとしたF/Sにご協力いただいた。

本事業では、3Dコンテンツの発展・普及に伴う新たな産業の振興や文化の創出を目指し、それに伴う課題を次のように明確化した。

すなわち、柔軟性が高く、多様な撮影条件に対応・設定可能な3Dカメラシステムの開発と、安全性や快適性を損なうことなくコンテンツを制作する方法論とそのための人材の育成、そして、それらを通じた3Dコンテンツの必然性の実証などである。

本事業は、上記課題に対するF/Sとしての取り組みの3年目に相当し、初年度(平成20年度)および昨年度(平成21年度)の成果を踏まえ、以下のサブテーマを推進した。

(1) 次世代3Dカメラシステムの高度化

初年度は、左右のカメラからの画像と同時にレンズデータなどを取得可能な3Dカメラを開発した。当該カメラシステムは、フォーカスやコンバージェンス、インターアクシャルをはじめ、各種パラメータをPCによって制御可能という特徴を有していたが、制御系の統合化が行われていなかった。そのため昨年度は、当該カメラシステムの制御における合理性や利便性、精度などの観点から、ハードウェア、ソフトウェアに改良を加えることで高度化を図った。前者では、カメラマウントの治具を付加して垂直視差の補正を改善するとともに、3Dコンバータの内部メモリ等のスペックアップを行い、ステレオ画像収録時の画像欠損の問題を解決した。後者では、カメラ制御機能の拡張と左右の画像のキャプチャリング機能を統合した。しかしながら、ユーザビリティテストを通して、新たな課題も明らかとなったため、平成22年度はそれらの解決を図った。

具体的に、ハードウェアにおいては、

- ・ 左右のカメラのGENLOCKレベルでの同期機能の付加
- ・ 光軸ずれの補正にかかるユーザビリティの改善
- ・ 3Dカメラシステムのモビリティの向上

ソフトウェアにおいては、

- ・ ユーザインタフェースの再設計と効果的な制御手法の検討
- ・ コンテンツ評価機能の3Dカメラシステムへの統合

に対して、それぞれ取り組んだ。

(2) 多様な視環境に対応した変換機能の設計・試作

3Dコンテンツは、シアターからモバイル環境に至る、幅広い活用が期待されるが、方式間の互換性および視環境の変化による立体感の変化が問題として指摘されている。初年度は、こうした課題を抽出し、昨年度はそれらの解決手法について、具体的な検討・一部試作を行った。具体的には、視環境に対応してカメラのパラメータを変更する制御機能について、3Dカメラシステムに実装した。これに対して平成22年度には、

- ・ カメラパラメータのアルゴリズムの修正
- ・ メタデータの活用による変換機能の検証

に対して、それぞれ取り組んだ。

(3) ユーザビリティテスト

上述の取り組みを通して、高度化したシステムならびに試作・実装した諸機能について、その有効性を評価した。昨年度は、エンジニアリングの観点だけでなく、クリエイターや放送事業者との連携により、利便性やコンテンツの品質を満たす制作環境の構築へ向け、諸課題の抽出や解決策の検討を行った。その結果が、平成22年度の取り組みに反映されている。具体的に、当該年度においては、実際の3Dコンテンツ制作に関わるオブザーバの協力を得て、撮影現場で本システムを使用した際のユーザビリティについて、高度化前後での比較・検証を行った。加えて、平成22年度に実装した新たな機能の1つである、パラメータロックについて、機能テストを実施した。さらに、眼科学を専門とした委員による、焦点調節機能からみた3Dコンテンツの視差角の許容範囲についての実験データを、参考資料の形で収録させていただいた。

3-1 3Dカメラシステムの高度化とコンテンツ評価機能の統合

上述のように、平成22年度には、以下の5点に取り組んだ。

- ・ 左右のカメラのGENLOCKレベルでの同期機能の付加
- ・ 光軸ずれの補正にかかるユーザビリティの改善
- ・ 3Dカメラシステムのモビリティの向上
- ・ ユーザインタフェースの再設計と効果的な制御手法の検討
- ・ コンテンツ評価機能の3Dカメラシステムへの統合

3-1.1 3Dカメラシステムの高度化

図3-1-1に、平成21年度までのカメラユニットと、平成22年度に改良を行ったカメラユニットを、それぞれ示した。外装を含め、前年度までのものから大きな変更がなされていることが分かる。



図3-1-1 平成21年度までのカメラ部(左)と平成22年度に改良したカメラ部(右)

(1) GENLOCK同期の付加

本システムで使用しているカメラユニットは、カメラ本体にGENLOCK方式の同期機能を有していないことから、外部に同期部を搭載することでインプリメンテーションを行った。

図3-1-2に、本システムのカメラユニットと搭載したGENLOCK同期部を示した。背面からの写真となっているが、カメラの電源投入後、POWERランプが点灯する。その後、左右のカメラの垂直・水平同期にかかるイニシャライズが開始し、GENLOCKが実行されると、SYNCランプが点灯する。



図3-1-2 改良したカメラユニットの外観とGENLOCK同期部

(2) 光軸ズレの補正にかかるユーザビリティの改善

左右カメラの垂直・水平方向の光軸ずれの補正については、右眼用カメラの後部2カ所に操作用の部材を配置し、下部のローレットにて高さや傾きを補正すると同時に、ソフトウェアのユーザインタフェースの一部としてもデジタル補正機能を実装した。

図3-1-3に上部外装を取り外したカメラユニットの背面と右眼用カメラの光軸ズレの補正部を、それぞれ示した。



図3-1-3 上部外装を取り外したカメラユニット(左)と右眼用カメラの光軸ズレ調整部(右)

(3) 3Dカメラシステムのモビリティの向上

多様な環境での検証を目的としたモビリティの向上においては、3Dカメラシステムを、以下の4つのユニットに分割し、それぞれを可搬可能なケースへ収納すると同時に、ユニット間の結線を簡略化した。

- ・ カメラユニット
- ・ コントロールユニット
- ・ 3Dディスプレイ
- ・ 電源ユニット

図3-1-4に、ケース収納時のコントロールユニットの外観、外装取り外し後の格納機器の前面を示した。図3-1-5にコントロールユニットの後面とカメラユニットの背面を示した。コントロールユニットの最上部にはディストリビュータが格納されており、PC以外の各機器に電源が供給される。その下方には、カメラコントロールユニットと3Dコンバータ、そしてカメラ制御・映像収録用PCが配置されている。また、カメラユニットとコントロールユニットが、それぞれ容易に接続できるよう、配線が工夫されていることが分かる。



図3-1-4 コントロールユニットの外観(ケース収納時) (ケース内部前面)



図3-1-5 コントロールユニットの外観(ケース内部後面)とカメラユニットの背面

本システムでは、撮影時の機器制御とモニタリングに、X-Polを用いた偏光フィルター方式の24インチ3Dディスプレイ(Hyundai IT, W240S)を使用する。当該ディスプレイも他のユニットと同様、ケースに格納することで、モビリティの向上を図った。当該ディスプレイを格納したケースと、その内部を、それぞれ図3-1-6に示した。



図3-1-6 3Dディスプレイ格納ケース(外観と内部)

平成22年度は、3Dカメラシステムにバッテリー駆動機能を付加することで、屋外などでの検証を可能とすると同時に、電源再投入時のキャリブレーションによるロスタイムの軽減を図った。また、バッテリーはリチャージャブルとし、駆動部も対応可能な仕様とした。

図3-1-7に電源ユニットのケース外観(左)を、上部に格納されたインバータ(中)を、下部に格納されたバッテリー(右)をそれぞれ示した。



図3-1-7 電源ユニット格納ケース(外観とインバータとバッテリー)

3-1.2 ユーザインタフェースの開発

前年度のユーザビリティテストでの指摘事項を反映し、ユーザインタフェースを再設計すると同時に、左右のカメラの新たな制御手法を考案・実装した。

(1) 機能一覧

| 機能名称 | 内 容 |
|----------|--------------------------------------|
| 条件設定 | システム起動時に、コンテンツの呈示条件(視距離、画面サイズ)を入力する |
| プレビュー | モニタリング映像、収録映像、コンテンツ評価結果を、それぞれ表示する |
| 3Dコントロール | フォーカス、コンバージェンス、インターアクシャル、ズーム、パンを設定する |
| 録画 | 映像データの格納ファイルの指定、収録開始・停止を行う |
| 再生 | 再生ファイルの指定、再生開始、一時停止、停止、リピート、ミュートを行う |
| 2Dコントロール | シャッター、アイリス、ゲイン、ホワイトバランスを、それぞれ調整する |
| 通信設定 | COMポートとボーレートの設定、接続、電源同期、原点復帰を行う |
| ビデオ設定 | 映像、音声データの入力デバイス、フォーマット、コーデックを設定する |
| メタデータ記録 | 左右のカメラの設定・調整値を、メタデータとして時系列で記録する |
| メタデータ再生 | 記録されたメタデータを再生し、カメラ制御に反映する |
| バージョン | バージョン情報を表示する |
| 共同運動 | コンバージェンスとは異なり、左右のカメラを同じ方向に回転させる |
| 近見反射 | フォーカスとコンバージェンスの近方への制御時に、アイリスも調整する |
| コンテンツ評価 | 左右の映像から視差角分布を算出し、安全性や快適性の観点から可視化する |

(2) メインウィンドウ(ユーザインタフェース)

ユーザインタフェースの再設計では、メインウィンドウを、以下の四つの領域に分割・整理した。

- ・ プレビュー領域
- ・ 記録・再生領域
- ・ 3Dコントロール領域、
- ・ 2Dコントロール領域

プレビュー領域では、撮影中の映像のモニタリングと同時に、評価結果の表示などを行う。記録・再生領域では、3D映像データだけでなく、カメラパラメータを記録したメタデータも扱う。3Dコントロール領域では、左右のカメラのフォーカス、コンバージェンス、インターアクシャ

ル、ズーム、パン等を設定する機能が配置されている。2Dコントロール領域では、シャッター、アイリス、ゲイン、ホワイトバランスといった2D撮影でも使用する機能群が配置されている。

図3-1-8に平成21年度までの、図3-1-9に平成22年度に再設計したインタフェースを示した。



図3-1-8 平成21年度のユーザインタフェース



図3-1-9 平成22年度のユーザインタフェース

一方、効果的な制御方法の検討として、平成22年度は、3Dコンテンツの立体情報に影響を及ぼす特定のパラメータを固定し、他のパラメータを連動して操作するという概念を提案し、機能として実装した。具体的に、左右のカメラのフォーカス、コンバージェンス、インターアクシャルのうち、1つのパラメータを固定(ロック)し、他の2つのパラメータを連動して変化させる機能である。これらを利用した制御により、立体感の誇張や抑制などの特徴的な効果を表現し得るかという、実験的な検討を可能にするとともに、機能テストを併せて実施した。

(3) 3Dコントロール機能

左右のカメラのフォーカス、コンバージェンス、インターアクシャル、ズーム、パン等を設定する機能である。図3-1-9に示すように、メインウィンドウの右上の領域に、操作のスライダやボタン類がレイアウトされている。図3-1-10に、3Dコントロール領域のインターフェースを示した。

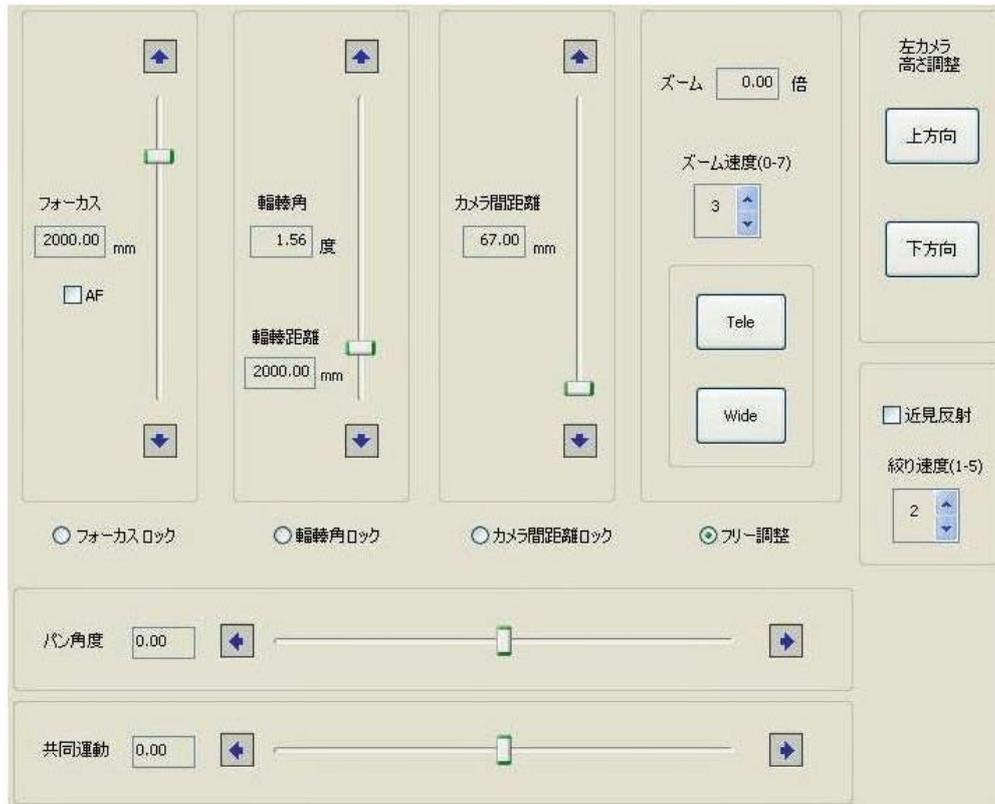


図3-1-10 3Dコントロール領域のインターフェース

左右のカメラのフォーカス、コンバージェンス(輻湊角)、インターアクシャル(カメラ間距離)は、スライダで操作する。いずれもメートル単位での制御が可能となっている。各スライダの下部には、それぞれロック用ラジオボタンが配置されている。ここで、ロックとは、あるパラメータを固定し、他のパラメータを変化させるという、3D撮影に特化した新機能である。図3-1-11に各パラメータのロック時の左右のカメラの動作概念を示した。

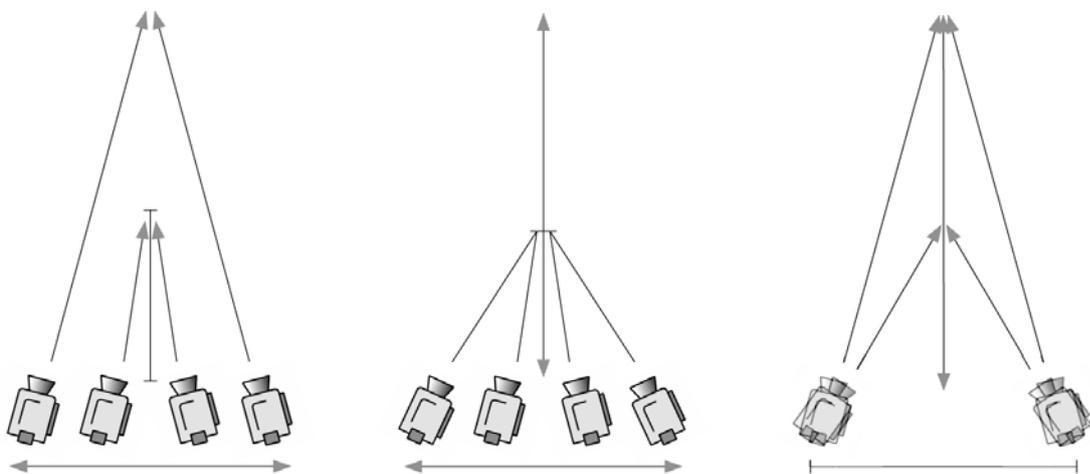


図3-1-11 フォーカスロック時(左)、コンバージェンスロック時(中)、インターアクシャルロック時(右)における左右のカメラの動作概念

3D撮影においては、カメラパラメータを独立して変化させることが可能だが、各パラメータの変化によって生じる立体情報の変化と、観察者の知覚や印象との関連については、いまだ不明な点が多い。そのため本機能では、コンテンツの立体情報に影響を及ぼす3種類のパラメータを、それぞれ固定して操作することで、特徴的な効果を生み出す可能性を検討することを目的としている。

フォーカスロック時には、ヒトの視覚系でいえば、調節距離は固定されているが、瞳孔間隔と視線の交差する距離が一定の比率を保ちながら変化することを意味している。コンバージェンスロック時には、視線の交差する位置は常に同じだが、瞳孔間隔と調節距離は一定の比率を保ちながら変化する。インターアクシャルロック時には、瞳孔間隔は不変で、調節と輻湊の距離が等しくなるよう変化する。注視点までの距離が固定されるという点を除けば、インターアクシャルロック時の動作は、自然視における網膜像の変化に近い撮影条件と考えられる。一方で、フォーカスロックとコンバージェンスロックは、日常的には体験されない両眼の立体情報の変化であり、再生される映像空間に対して従来にない効果を与え得るか、実証的に検討することは、次世代の立体視コンテンツにおいて、重要な取り組みと考えられる。

フォーカス、コンバージェンス、インターアクシャルのスライダの右側には、ズーム操作ボタン類が配置されている。ここで、ズームは、8段階の速度を選択可能になっている。また、その右側の「左カメラ高さ調整」とは、垂直視差のデジタル補正機能である。

「左カメラ高さ調整」の下部に、図3-1-12に示す「近見反射」というボタン類が配置されている。近見反射とは、本来、近方を注視する際に、調節、輻湊、縮瞳（瞳孔の収縮）が同時に生じることである。これを3D撮影で模すためには、近方の対象を被写体とする際に、フォーカスとコンバージェンスに加えて、縮瞳に相当するパラメータの変化が求められる。そこで本機能では、近見反射チェックボタンをONにすることにより、コンバージェンスの近方変化に伴って、5段階の「絞り速度」で設定した条件で、アイリスが変化する仕様となっている。



図3-1-12 「近見反射」を模したアイリス制御ボタン類

3Dコントロール領域の下部には、「パン」と「共同運動」が配置されている。パンは、本システムにおいては、ヒトの頭部運動に相当する。パン操作時の動作概念と操作部を図3-1-13にそれぞれ示した。

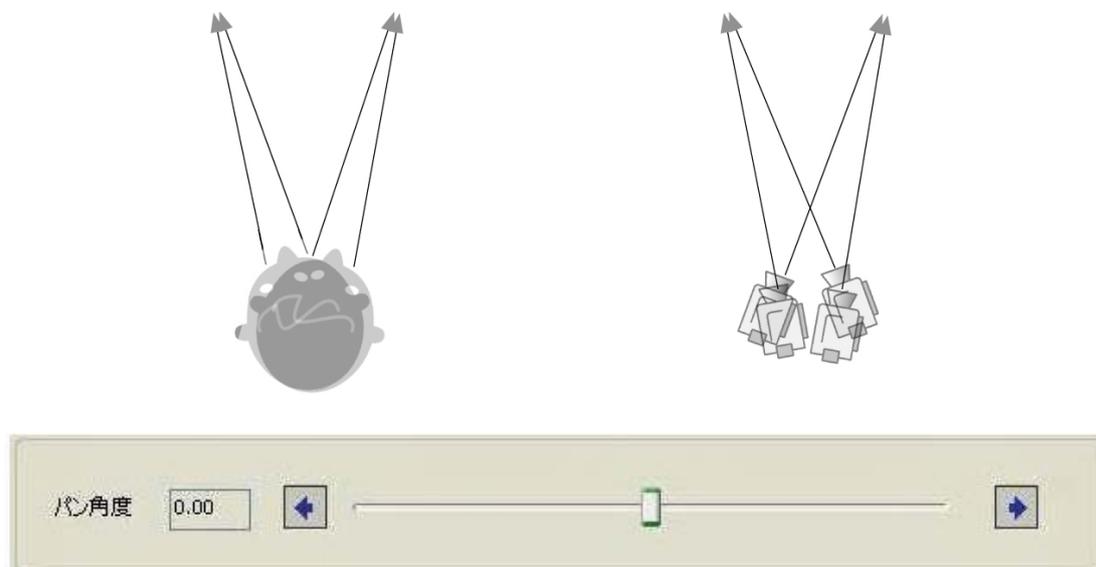


図3-1-13 頭部運動(左)に相当するパン操作(右)とパン機能の操作部

共同運動とは、両眼の眼球運動の一種であり、左右の眼が同じ方向に回転する。これに対して、奥行き方向に距離の異なる対象を注視する際に生じる、左右の眼が反対方向に回転する運動が、輻湊である。輻湊は、コンバージェンスとして、3D撮影において重要なパラメータとなっているが、共同運動は、これまで3D撮影において、ほとんど使用されてこなかった。映像という点では、左右でひずみが生じることが想定されるものの、日常的に使用される視覚系の働きである。そのため本システムでは、共同運動を模した機能を実装し、新たな立体視表現の可能性について検討することは、ロック機能や近見反射同様、新規性、重要性を有していると考える。

本機能の動作概念を、操作部を図3-1-14にそれぞれ示した。

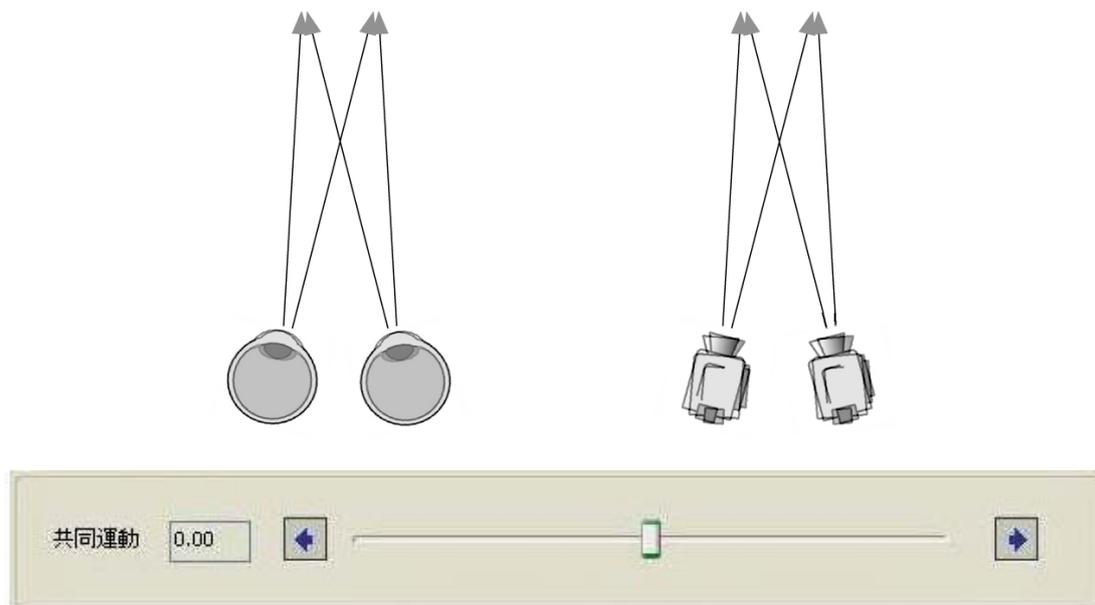


図3-1-14 共同運動(左)を模した左右のカメラの操作(右)と共同運動を模した機能の操作部

(4) 録画・再生機能

録画機能では、左右の映像データを格納するファイルの指定、収録開始・停止を行う。一方、再生機能では、ファイルの指定、再生開始、一時停止、停止、リピート、ミュートを行う。

図3-1-15に録画機能の操作部を、図3-1-16に再生機能の操作部を、それぞれ示した。なお、映像データの録画・再生は、前年度のシステムでは、独立したアプリケーションで操作していたが、本年度の改良により、3Dカメラシステムのユーザインタフェースの一部として統合された。



図3-1-15 録画機能の操作部



図3-1-16 再生機能の操作部

(5) メタデータの記録・再生機能

メタデータの記録機能では、左右のカメラの設定・調整値を時系列で保存する。記録されるメタデータは、以下の8項目である。デフォルトでは、各データを1秒ごとに記録する仕様となっている。

- ・ フォーカス
- ・ コンバージェンス
- ・ インターアクシャル
- ・ ズーム倍率
- ・ パン角度
- ・ シャッター
- ・ アイリス
- ・ ゲイン

一方、メタデータの再生機能では、記録されたメタデータを読み込んで、カメラ制御に反映する。図3-1-17にメタデータ記録ウィンドウを、図3-1-18にメタデータ再生ウィンドウを、それぞれ示した。

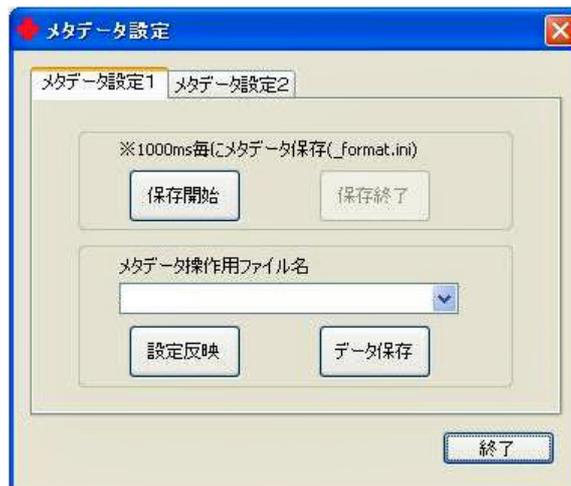


図3-1-17 メタデータ記録ウィンドウ

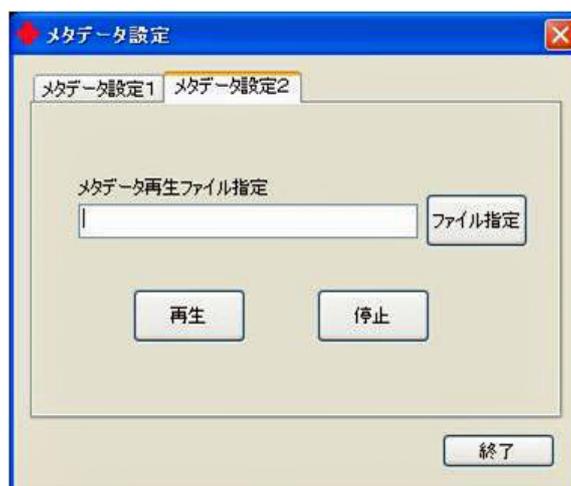


図3-1-18 メタデータ再生ウィンドウ

3-1.3 コンテンツ評価機能の統合

本F/Sでは、安全性や快適性に配慮した立体視コンテンツを、高いユーザビリティで制作するシステムを「次世代」と位置づけ、各種機能の開発を進めてきた。その一環として、経験の浅いクリエイターであっても、視差角が適当であるかどうか、判断する一助となる機能が、「コンテンツ評価」である。

本機能では、撮影中の左右の映像データに対して、画素ごとに対応点を探索し、一方の映像を基準とした水平方向の移動量を、ステレオマッチングにより算出し、呈示条件（視距離と画面サイズ）に応じた視差角分布に変換する。この視差角分布をマップとして表示する他、数値データ（.csv形式）として出力することでヒストグラムの作成をはじめとした、統計的な手法を用いた分析も可能としている。さらに本機能では、視差角分布に対して基準値と照合することで、過度の視差量を有した画素数や、奥行き方向の再生範囲を確認することができる。このことを、本F/Sにおいては、安全性と快適性の評価と呼称している。

前年度までは、本機能は、3Dカメラシステムに搭載されていたが、独立したソフトウェアとして動作していた。これに対して、本年度は、本機能を1つのユーザインタフェースに統合した。

本機能は、プレビュー領域の「評価ON」ボタンにより起動する。図3-1-19、にプレビュー領域を示した。

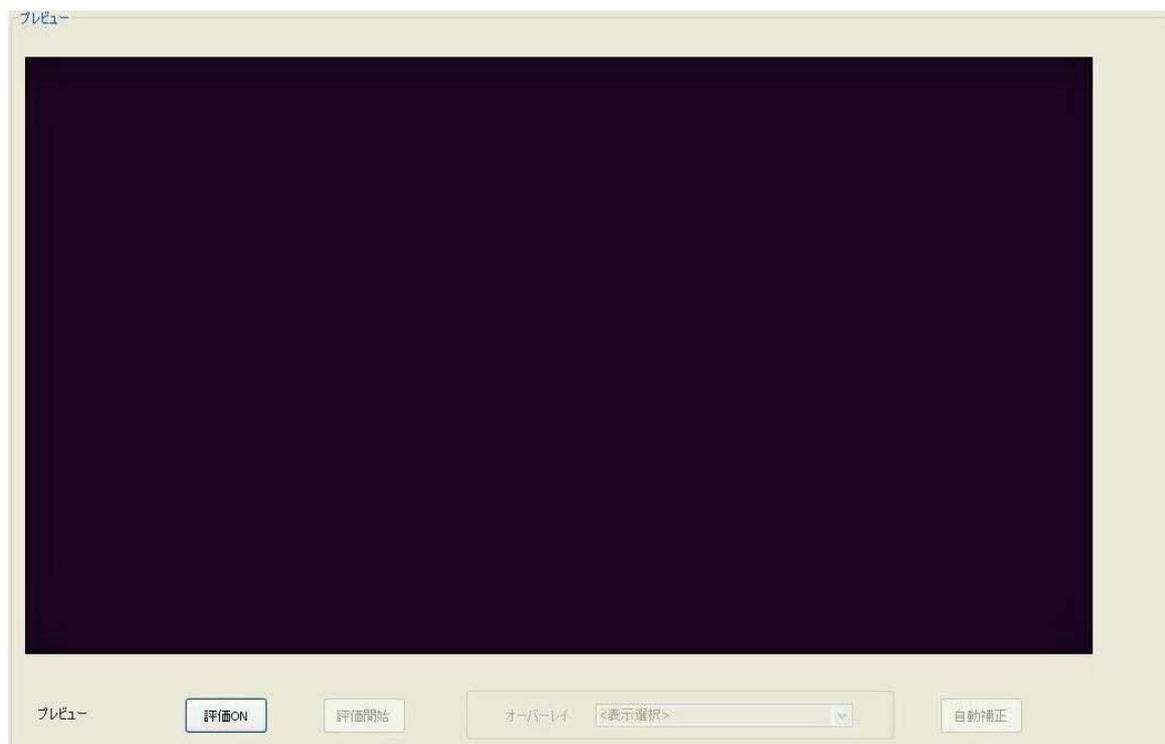


図3-1-19 プレビュー領域と「評価ON」ボタン

上述のとおり、本システムの起動時に、カメラの初期設定用に呈示条件を入力するため、本機能では、その呈示条件に基づいて視差角を算出する仕様となっている。評価機能の起動時には、視差角分布の統計処理に関する設定ウィンドウが表示される。ここでは、以下の3種類を設定する。

- ・ ヒストグラム両端の階級： 0.5～5.0（視差角）度
- ・ ヒストグラムの階級の幅： 0.1～0.5（視差角）度
- ・ 交差 / 同側方向の最大視差角： ±0～20パーセンタイル

本評価機能の起動時の設定ウィンドウを、図3-1-20に示した。

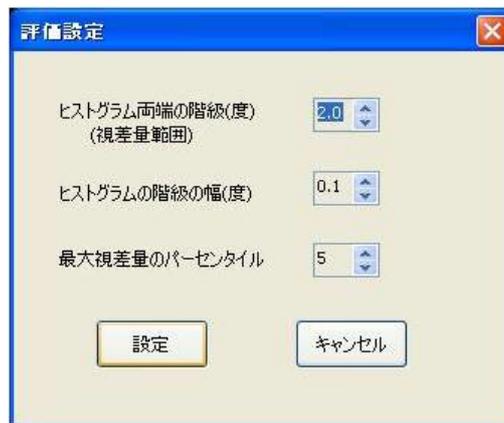


図3-1-20 評価機能の起動時の設定ウィンドウ

ステレオマッチングの結果から算出した視差角分布のマップの例を図3-1-21に、基準範囲を逸脱した画素分布の確認（安全性の評価）結果の例を図3-1-22に、基準範囲内の画素分布の確認（快適性の評価）結果を図3-1-23に、それぞれ示した。

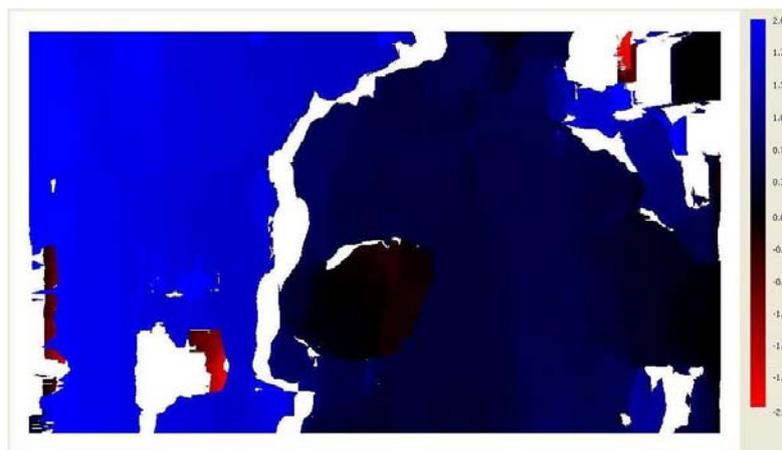


図3-1-21 視差角分布のマップ例

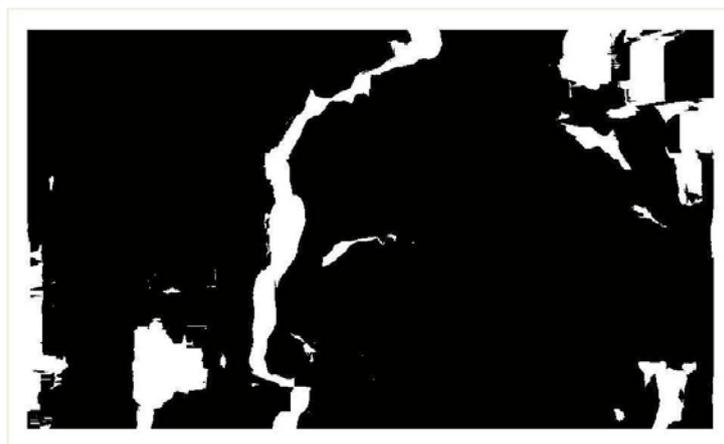


図3-1-22 安全性の評価結果例

黒で表示された画素が基準範囲内、白で表示された画素がマッチングエラーを示す

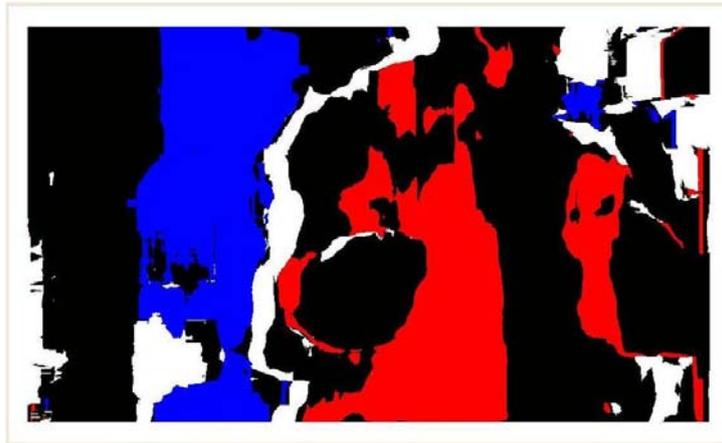


図3-1-23 快適性の評価結果例

赤で表示された画素が交差方向の、青で表示された画素が同側方向の、基準範囲内を示す

本機能の活用により、収録している立体視コンテンツのモニタリングだけでなく、図3-1-21～23に示した視差角分布の分析結果の例を確認することで、再生環境に応じた特徴量の把握が可能になる。図3-1-24に、数値データで出力した結果を、ヒストグラムとして分析した例を示した。

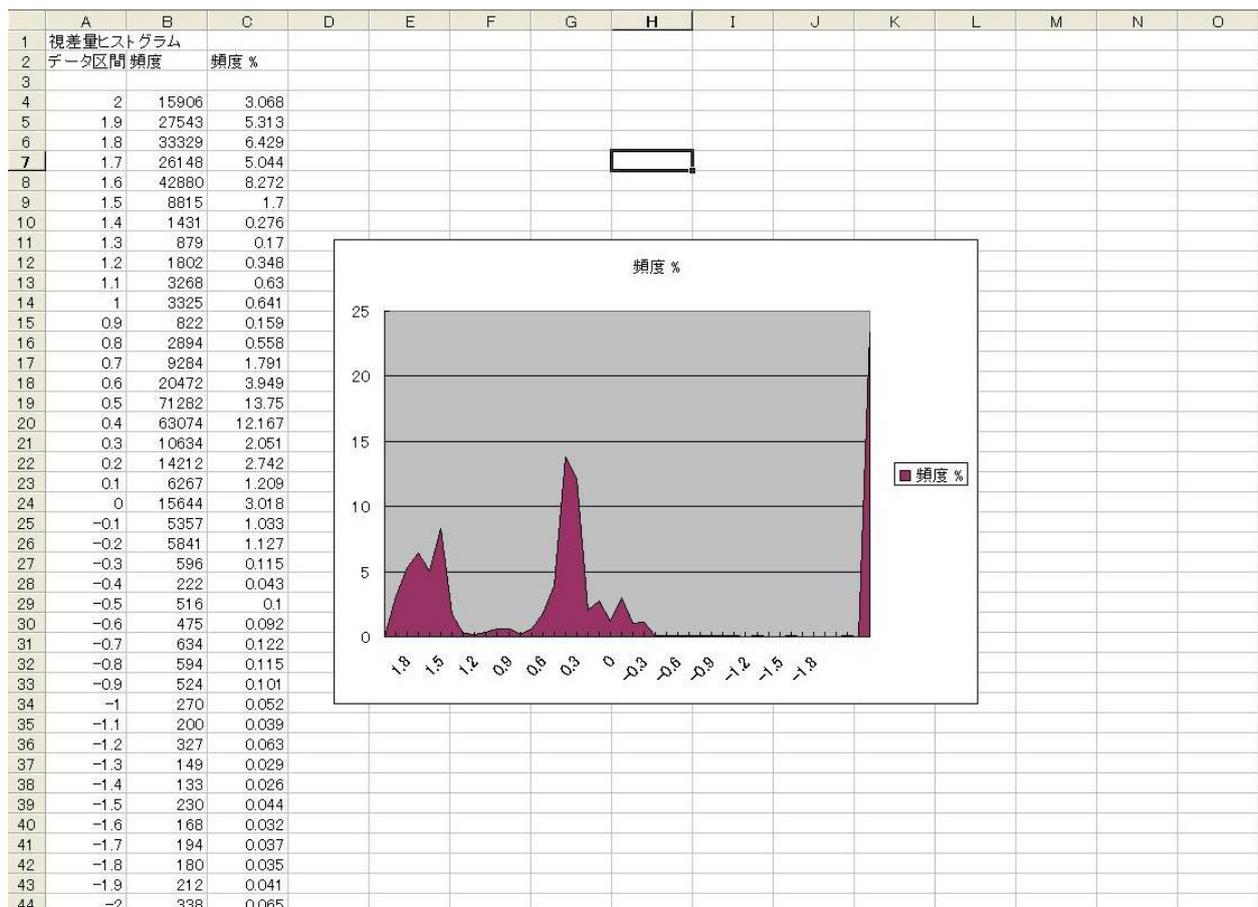


図3-1-24 視差角分布のヒストグラムの例

3-2 多様な観察環境に対応した変換機能の設計・試作

上述のように、平成22年度には、以下の2点に取り組んだ。

- ・ カメラパラメータの制御アルゴリズムの修正
- ・ メタデータの活用による変換・制御機能の検証

3D撮影において、インターアクシャルが大きい、コンバージェンスに対して被写体が顕著に近方あるいは遠方に存在するといった条件では、視環境によっては視差角が過剰になる場合がある。結果として、観察に際しての安全性や快適性に影響を及ぼすことが予想される。このような、3Dコンテンツに含まれる過剰な視差角を抑制することが、カメラパラメータの制御アルゴリズムの目的である。

平成21年度には、主観評価実験の結果に基づき、視環境毎に画像処理を用いて視差角の分布を算出・分析し、撮影時のカメラパラメータ(インターアクシャルおよびコンバージェンス)を修正する機能を実装した。これに対して平成22年度には、特定のズーム倍率のみに対応していた本機能を、任意の倍率に対応可能とした他、プログラムの改良によりパフォーマンスやメンテナンス性を向上した。

本機能の基本的なフローとしては、撮影時に再生時の視環境を入力後、制作者により設定された撮影条件での視差角分布を算出・分析し、交差・同側方向それぞれについて、基準となる範囲を逸脱した画素が一定の割合を超えているかどうかを表示する。その上で、制作者の意図に従い、近方と遠方の過剰な視差角を抑制するためのカメラパラメータを算出する仕様となっている。

一方で、映像データ以外の撮影条件に関わる情報を、記録・再生することがメタデータの目的である。メタデータには、撮影時の全てのカメラパラメータが含まれ、撮影後の修正の手がかりとして使用することで、従来よりも補正や変換が容易になると考えられる他、メタデータを編集することで、マニュアルでは困難なカメラの制御も可能になる。とりわけメタデータは、視環境に応じて3Dカメラの動作を変更する場合などで活用できると考えられる。

3-2.1 視環境に応じたカメラ制御機能の改良

(1) 機能の概略

平成21年度の取り組みでは、人間工学的な主観評価実験の結果に基づき、視差量を基準に画像処理を用いて撮影前にカメラの設定値(カメラ間隔および輻湊角)を修正する機能を検討した。安全な範囲を規定する閾値を交差方向および同側方向に設け、閾値を超える画素が一定の割合を超えないよう設定するという機能である。

カメラ間隔が大きく、クロスポイントよりも大幅に手前もしくは奥に被写体が存在する場合には、左右ズレ量が大きくなりすぎ、視差量が過剰となる。その結果、観察者の視覚的負担が増大しうる。複数の先行研究で、立体映像コンテンツの視差量が增大すると視覚負担は増大することが示されている[1][2]。こうした立体映像観察時における視覚負担の増大を抑制するよう制御することが、本手法の目的である。

平成22年度の取り組みでは本機能を改善し、従来は特定のズーム倍率のみに対応していたのを任意の倍率に対応可能とした他、プログラムを新規に書き直したことでパフォーマンスやメンテナンス性を向上した。以降に、改善されたカメラ制御機能について述べる。

具体的な処理の流れとしては、最初に制作者が入力した再生条件の値に基づき、再生時のズレ量を画素ごとに計算する。そして、交差・同側方向それぞれについて、視覚的な負担が増大する閾値を超える画素が一定の割合を超えた場合に警告を表示する。最後に、制作者の判断にしたがって撮影条件を変更することで、遠景と近景における視差量の過剰を抑制するという仕様である。これら

の機能のフローチャートを図3-2-1に示す。

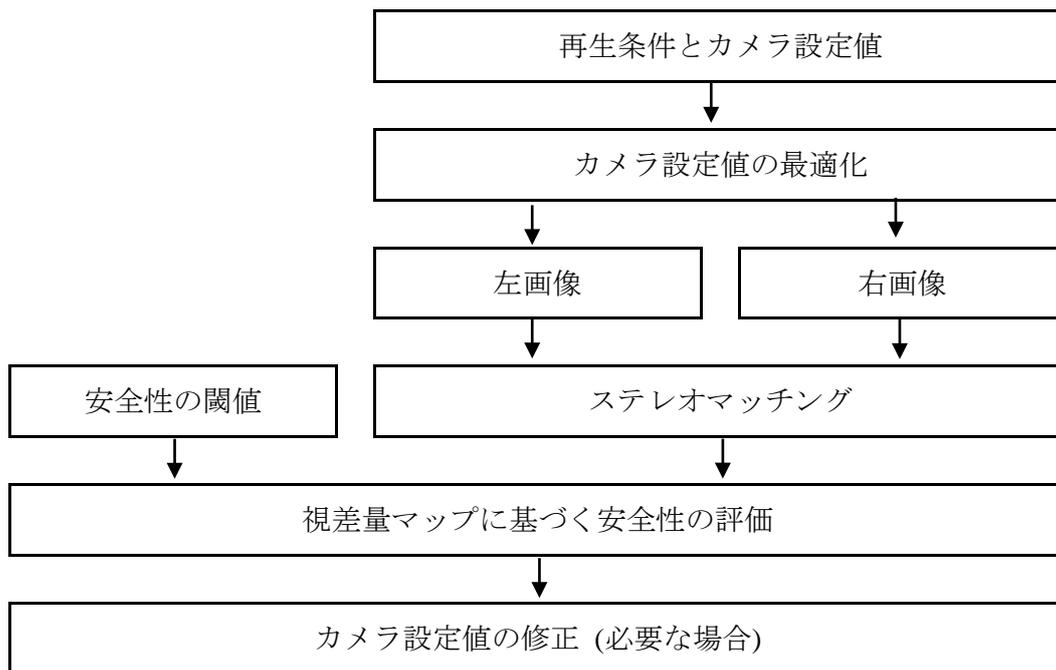


図3-2-1 視覚的な安全性を考慮したカメラの制御の流れ

(2) 手前と奥の被写体のズレ量の評価機能

撮影条件を決定する基準とするため、まずは最も手前と奥に存在する被写体のズレ量を計算する必要がある。その方法を以下に述べる。

はじめに、撮影された左右画像間で画素ごとに対応点を計算し、ズレ量マップを作成する(図3-2-3)。対応点の計算(ステレオマッチング処理)には、再帰相関演算によるブロックマッチング法[5]を使用する。次に、立体映像コンテンツの主要な被写体は主に中央部に存在するという仮定に基づき、ズレ量マップのうち、水平方向に中央部のみを抽出する。

自然画像中では被写体ごとに奥行き量がほぼ一定となることから、ズレ量マップ中の値の出現率には偏りがあると考えられる。具体的には、被写体が存在する奥行きに対応する値の出現率は高くなり、それ以外の値では低くなると考えられる。そのため、全画素数に対して一定以上の割合を占める値のうち最小値と最大値が、それぞれ最も手前と奥に存在する被写体のズレ量を表すと考えられる。

被写体が平面的で奥行き方向に対して垂直に位置する場合、1つの値の割合が高く、その前後の値の割合は低くなる。しかし、実際にはほとんどの被写体が厚みを持つため、1つの被写体が2つ以上の値にまたがって存在することが一般的である。平面的で断面積が小さい被写体が奥行き方向に対して水平に位置する場合には、値ごとの割合は低くなるため、1つの階級の割合のみに注目すると、その被写体を認識できない怖れがある。したがって実際には、1つの値の割合ではなく、連続した複数の値の割合の合計に着目する必要があると考える。そこで、直接判定の対象とするズレ量値よりも絶対値が大きい(スクリーン面から遠い)側に属する全ての値の割合が、あらかじめ設定した閾値を上回る場合に、被写体が存在するとみなすこととした(図3-2-2)。

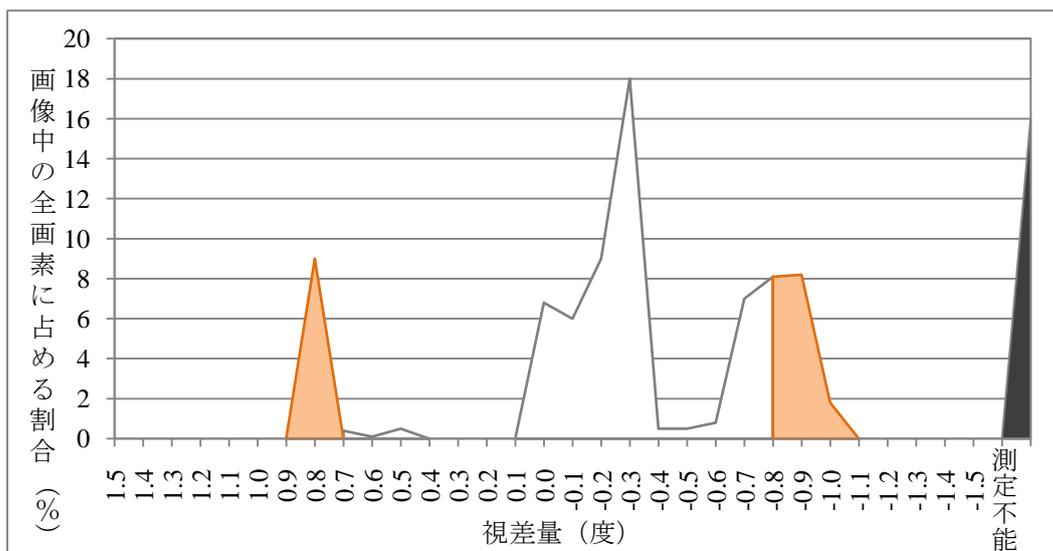


図3-2-2 視差ヒストグラムの一例、左右両端のパーセンタイル値までを薄く塗ったもの

なお、上記の方法は該当する値の数を数えてから割合に変換する方法であるが、他にも、割合の閾値がxパーセントであればズレ量マップからxパーセンタイルの値を取り出すことで、ちょうど割合が閾値を上回るズレ量値を得られる。本機能では、ズレ量値を降順に並べた場合、最も手前の被写体のズレ量は下位のパーセンタイル値を、最も奥の被写体のズレ量は上位のパーセンタイル値を、それぞれ使用した。



図3-2-3 最も手前と奥の被写体のズレ量の評価の一例

(左：元画像、右：ズレ量マップを元画像に重ねたもの)

* 明るい灰色の画素は交差方向と同側方向の最大視差量の領域を、黒い画素は対応点の探索時のエラーを、それぞれ表す。

(3) カメラ設定値の補正アルゴリズム

ステレオマッチングによりズレ量マップを作成し、その中で最も手前と奥の被写体のズレ量を、前述のアルゴリズムにより計算する。次に、指定された再生条件のもとで、安全性の閾値に対応するズレ量を計算する。交差方向では視差量1度を、同側方向では瞳孔間隔の65mmを、それぞれズレ量に変換し、ここでの閾値とした。ズレ量への変換処理はシステム内に組み込まれているため、閾値をGUI上で指定可能とすることで、撮影者が自由に許容範囲を設定しつつ撮影することも、技術的には可能である。画像全体のズレ量をこれらの閾値により定義される範囲内に保つことで、視覚的な安全性を確保することを、本機能の目的とした。

撮影条件の修正に際しては、最も奥の被写体のズレ量が同側方向の安全性の閾値を超えており交差方向には余裕がある場合(図3-2-4の左)、カメラ間隔を広げることで輻湊距離を延長する(図3-2-4の中央)。最も手前の被写体のズレ量が交差方向の安全性の閾値を超えており同側方向には余裕が

ある場合は、カメラ間隔を狭めることで輻湊距離を短縮する。

輻湊角が大きくなるほど、クロスポイントからの距離(奥行き方向)に対応するズレ量も、大きくなる。輻湊角が大き過ぎることで輻湊距離を変更するだけでは最も手前と奥の被写体のズレ量が同時に安全な範囲内に収まらない場合は、最も奥の被写体が同側方向側の閾値を、最も手前の被写体が交差方向の閾値を、わずかに下回る値に保つよう、輻湊角とカメラ間隔の両方を変更する。図2.1-5がその一例である。以下ではこのアルゴリズムの詳細を述べる。

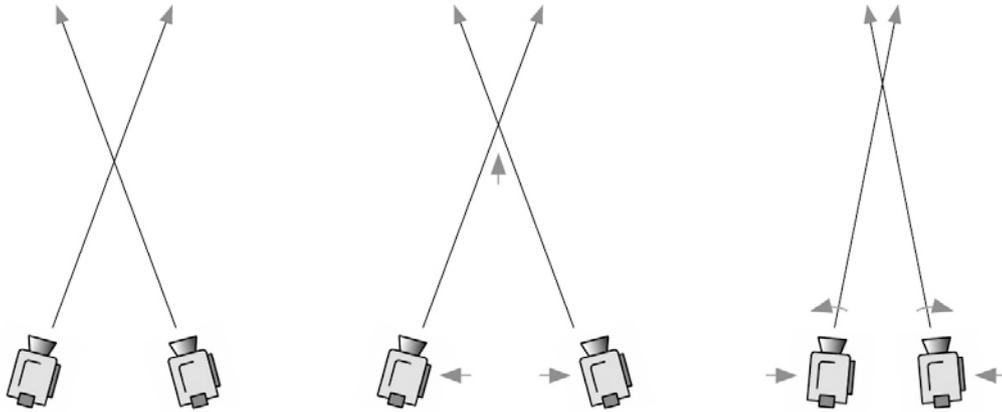


図3-2-4 撮影条件の修正の概念図

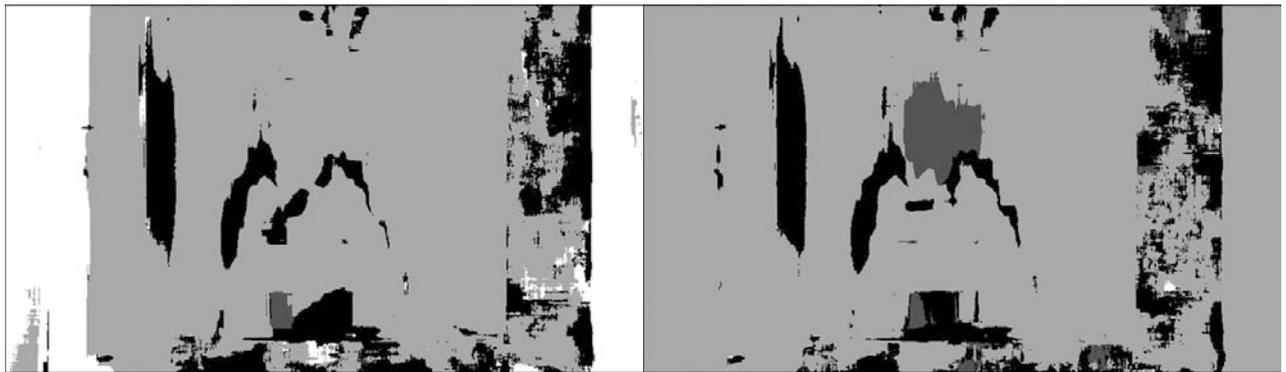


図3-2-5 撮影条件の修正の一例

(左：修正前のズレ量マップ、右：修正されたズレ量マップ)

* 白および濃灰色の画素は範囲を逸脱した画素を、黒い画素は対応点の探索時のエラーを表す。

(4) カメラと被写体の位置関係

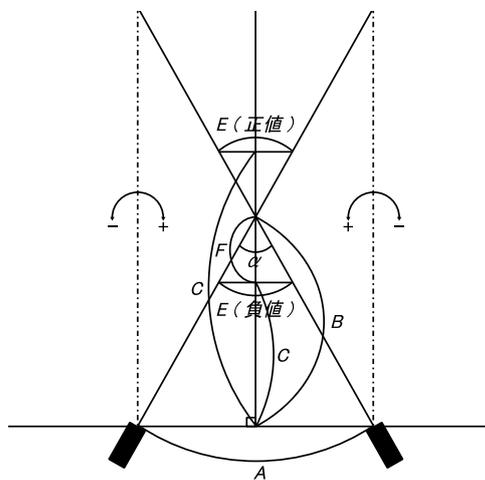


図3-2-6 カメラと被写体、輻湊位置の関係

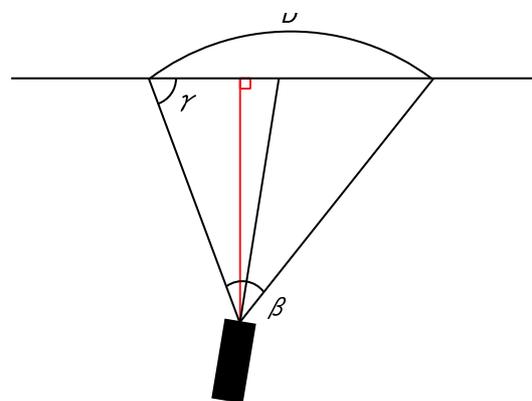


図3-2-7 画角と撮影範囲の関係 (左カメラ)

図3-2-6は2台のカメラと被写体、輻湊位置の関係を表す俯瞰図である。図3-2-7は左カメラを上から見た図であり、画角と撮影範囲の関係を表す。

(5) カメラ間隔の修正アルゴリズム

輻湊角が大き過ぎず、輻湊距離を変更すれば最も手前と奥の被写体のズレ量が同時に安全な範囲内に収まる場合には、カメラ間隔のみを変更し、輻湊角は変更しない。これにより、被写体の相対的な再生位置(奥行き方向)は変化せず、クロスポイントの位置のみが変化することになる。この仕様は、視覚的な負担は絶対的な視差量が基準となるのに対し、撮影者が意図する立体感は主に相対的な再生位置(奥行き方向)の影響下にあると仮定したためである。再生像の視差量に影響するパラメータのうちコンテンツに束縛されるものはズレ量(単位は画素数)のみであり、クロスポイントから被写体までの距離(奥行き方向のみ)に対するズレ量の関数は、ズーム(画角)および光軸の交差角(すなわち輻湊角)によってのみ変化する。そのため、カメラ間隔のみを変更した場合には、輻湊距離のみが変化(すなわちクロスポイントが奥行き方向に移動)し、クロスポイントからの距離(奥行き方向のみ)が同じ場合のズレ量は変化しない。この事実を利用し、許容される範囲の外側に被写体が存在する場合には、カメラ間隔のみを変更することで輻湊距離を変更し、相対的な再生位置は保ったままで安全な範囲内に全体が収まるよう修正することが、本アルゴリズムの目的である。

現在の輻湊角のもとでは奥行き方向の許容範囲が狭すぎ、最も手前および奥の被写体が同時に安全な範囲内に収まらない場合には、この方法では修正しきれない。カメラの輻湊角を変更せず、カメラ間隔(輻湊距離)を変更するのみで安全な範囲内に収まるのは、以下の論理式が真になる場合のみである。これは、交差方向と同側方向の一方しか閾値を超えておらず、閾値を超えている側を超える直前に移動しても反対側がはみ出さないことを意味する。なお、比較演算子の左辺は、最も手前の被写体から最も奥の被写体までの距離(奥行き方向のみ)で、右辺は現在の輻湊角のもとで許容される最大値である(ともに常に正值になる。最も奥の被写体が最も手前の被写体よりも手前になることはないため)。

(6) 輻湊距離とカメラ間隔の再設定アルゴリズム

再生条件に対して光軸の交差角が大き過ぎる場合には、カメラ間隔の変更のみでは交差方向と同側方向の両方を同時に安全な範囲内に保つことができなくなる。この場合は、最も手前の被写体の視差量が交差方向の閾値に、最も奥の被写体の視差量が同側方向の閾値に一致するように、撮影条件を設定する。この修正後には常に、最も手前の被写体は交差方向に、最も奥の被写体は同側方向に存在する。

以下は最も手前の被写体から修正後のクロスポイントまでの距離(奥行き方向)である。なお、括弧で括られた部分(分数部以外)は最も手前の被写体から最も奥の被写体までの距離(奥行き方向)を表し、分数部はその中で最も手前の被写体(常に交差方向)から修正後のクロスポイントまでの距離(奥行き方向)が占める割合を表す。

$$F' = \frac{-E_{n1}}{E_{f1} - E_{n1}} (C_f - C_n)$$

以下は修正後の、輻湊距離である。

$$B' = C_n + F'$$

以下は修正後のカメラ間隔である。

$$A' = \frac{B' \text{abs}(E_{n1})}{\text{abs}(F')}$$

以下は修正後の輻湊角である。

$$\alpha' = \pi - 2\text{atan}\left(\frac{2B'}{A'}\right)$$

(9) カメラ設定値の補正機能の効果

撮影条件の自動設定機能を使用して撮影することで、以下のような結果が得られる。



(左上)：元画像

(右上)：視差ヒストグラム



(左下)：ズレ量マップ



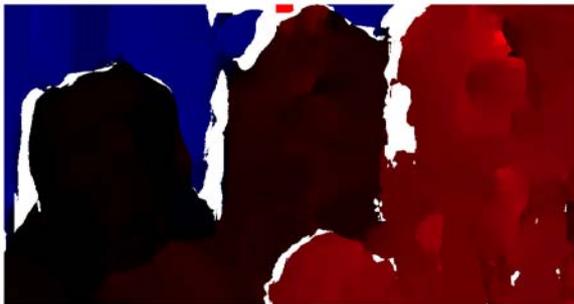
(右下)：基準値以上の視差(赤と青が危険)

図3-2-8 中距離から撮影した例



(左上)：元画像

(右上)：視差ヒストグラム



(左下)：ズレ量マップ



(右下)：基準値以上の視差(赤と青が危険)

図3-2-9 近距離から撮影した例

図3-2-8~9の左下(ズレ量マップ)は、撮影した画像のズレ量を表している。赤く塗られた部分は、スクリーン面よりも手前、つまり交差方向に飛び出していることを表す。青く塗られた部分は逆に、スクリーン面よりも奥、つまり同側方向に奥まっていることを表す。黒は視差量が小さい、すなわちスクリーン面に近い部分を表す。白はズレ量を測定できなかった部分である。

図3-2-9では、最も手前の被写体である右端の女性は全体的に赤く、最も奥の被写体である背景は同程度に青くなっており、クロスポイントが両者の中間にあることがうかがえる。図3-2-9は、輻湊距離とカメラ間隔の両方を再設定するアルゴリズムによって撮影条件を設定したものである。そのため手前の被写体は赤く、奥の被写体は青く表示されており、再生映像中の手前にも奥にも被写体が配置されている結果となった。

図3-2-8では、最も手前の被写体であるダンサーは黒に近い色で表示されており、再生映像中のゼロポイントに近いことを表している。また、背景は青で表示されており、奥まっていることが分かる。これは図3-2-8の撮影時に、カメラ間隔(輻湊距離)のみを修正するアルゴリズムで撮影条件を設定したためである。輻湊距離の手前側への移動のみで映像全体が安全な範囲に収まる状態であり、逸脱する方向は同側方向であった。そのため、撮影条件を修正した後の映像も、全体的に同側方向に寄っていると考えられる。これは、主要な被写体であり再生中の注視が予想されるダンサーの視差量を減らすことで視覚的な負担を減らし、立体感他他の部分に視差量を付けることで実現する、という撮影者の意図を反映している。本システムでは可能な限り撮影者の意図に逆らわない修正を目的とするため、この挙動は妥当であると考えられる。

また、図3-2-8~9の右下(基準値以上の視差)は、安全性の閾値を超えた部分を塗ったものであり、赤は交差方向への逸脱を、青は同側方向への逸脱を表す。図3-2-9では、青い画素はほぼ存在せず、交差方向への逸脱は問題無いと考えられる。また、赤い部分も狭く、この程度であれば問題無いと考えられる。どの程度の広さまで問題無いとみなすかは撮影者自身が指定可能となっているため、画像の用途に合わせてより安全性を追究することも可能である。この画像を、あらかじめ指定した観察条件のもとで再生すると、適正な奥行き感が得られている。

図3-2-8~9の右上(視差ヒストグラム)は画素ごとの視差量をヒストグラムにしたものである。右端の1ヶ所だけ高くなっている部分是对応点を測定不能であった画素の割合を表す。横軸は視差量なので、左右両端に近い部分が高くなっていれば、視差量が大き過ぎる領域が存在することを意味する。また、山全体が左右いずれかに寄っていれば、画像全体が同側方向または交差方向に寄っていることを意味する。実際には2つの画像とも左右方向では中央部にまとまっていることから、飛び出しと奥まりを併用することで奥行き感を保ちながら視差量は抑えた画像となっていると考えられる。

図3-2-9の視差ヒストグラムでは「測定不能」の個所を除くと、3つの山がはっきり分かれた形で存在している。これは異なる距離に3人のダンサーが存在することに対応しており、1つの山が1人のダンサーに対応する。また、図3-2-8の視差ヒストグラムでは横幅が広い1つの山にまとまっているが、これはダンサーの背中の羽飾りに奥行きがあることや、屋内であることから左右両端の壁面があらゆる深さに含まれることを反映していると考えられる。

撮影した映像のいずれも、あらかじめ指定した再生条件のもとでは視差ヒストグラムの左右両端が安全性の閾値を超えることはなかった。そのため、カメラ設定値の自動設定機能の検証という観点からは、視差量の抑制が適切になされており、本機能が有効であると考えられた。

また、ステレオマッチングでは輝度をもとに計算しているため、照明の当て方を変えることで精度に劇的な変化が起こる。あえて照明条件が悪い映像を撮影する場合には精度が低下するという問題も生じた。この場合、先に十分な照明を当てた状態であらかじめ撮影条件を設定しておき、その後で本来の照明に変更してから撮影する、という手順で対応可能であった。

[参考文献]

- [1] 井上哲理, 野呂影勇, 岩崎常人, 大頭仁: “視覚機能から見た立体映像の呈示条件”, テレビジョン学会誌, 48 (10), pp.1301-1305 (1994)
- [2] 岩崎常人, 田原昭彦, “立体像注視時の眼焦点調節応答特性からみた両眼視差の許容量”, 人間工学, 41 (1), 24-29 (2005)
- [3] Takashi Kawai, Shinsuke Kishi, Takashi Yamazoe, Takashi Shibata, Tetsuri Inoue, Yusuke Sakaguchi, Kazushige Okabe, Yasuhiro Kuno, Tetsuya Kawamoto: “Ergonomic evaluation system for stereoscopic video production”, SPIE, 6055, 60551B-1-8 (2006)
- [4] Lachlan D. Pockett, Marja P. Salmimaa: “Methods for improving the quality of user-created stereoscopic content”, Proceedings of the SPIE, 6803, 680306-680306-11 (2008)
- [5] 岡田慧, 加賀美聡, 稲葉雅幸, 井上博允: “二次元再帰相関演算を用いた実時間オプティカルフロー生成システム - ロボット用実時間三次元視覚による運動空間再構成の研究 (その2) -”, 第17回日本ロボット学会学術講演会 (1999)
- [6] Shinsuke Kishi, Sanghyun Kim, Takashi Shibata, Takashi Kawai, Jukka Häkkinen, Jari Takatalo, Göte Nyman: “Scalable 3D image conversion and ergonomic evaluation”, Proceedings of the SPIE, 6803, 68030F-68030F-9 (2008)

3-2.2 メタデータ活用による変換機能の検証

本機能の目的は、映像データ以外の撮影条件に関わる情報を、メタデータとして記録しておくことである。記録はテキストファイルに蓄積され、撮影時における全てのカメラパラメータが含まれる。記録されたメタデータは、撮影後の修正の手がかりとして使用することで、従来よりも補正や変換が容易になると考えられる他、手作業で簡単な編集を行うことにより、メタデータどおりの動作を行いながら撮影することが可能になる。メタデータの編集は、手動での操作により生じる意図しない動きを取り除く、あるいは視環境に応じて3Dカメラの動作を変更する場合などで用いられる。

特定の視環境を想定して撮影した3Dコンテンツは、他の視環境下では視差角を補正する必要がある。なぜならば、視環境が異なると、画面上の左右像のズレが同じであっても、視差角分布が変化するためである。本機能は、「スケーラブル3D変換」と呼称される補正を、撮影時に実施することを支援するものである。

保存されるカメラパラメータは、具体的には以下の8項目である。

- ・ フォーカス
- ・ インターアクシャル
- ・ シャッタースピード
- ・ ゲイン
- ・ コンバージェンス
- ・ アイリス
- ・ ズーム倍率
- ・ 架台角度

保存の際には、GUI上のボタンをクリックした瞬間のパラメータを記録可能な他、ボタンのクリックにより開始と終了を指示し、その間のパラメータを毎秒記録することも可能となった。また、プログラムの簡単な修正により、30fpsなど任意の間隔で記録することも可能となる。

加えて、メタデータをテキストファイル形式で行単位に時刻とカメラパラメータを記述しておき、

それを読み込ませることで、時刻ごとに指定したパラメータにセットされるようにする、再生機能も追加した。読み込ませるテキストファイルのフォーマットは時刻の列を除き、先に述べた書き出されるファイルと同様である。そのため、カメラパラメータを変更しながらそれらを時系列的に記録・再生することで、撮影時の左右のカメラの動作を再現することも可能となる。本機能の使用により、撮影開始前に、あらかじめ撮影の流れと被写体の位置などから時刻ごとのパラメータを決めておき、そのとおりに動作させながら撮影する、またそのパラメータを視環境に対応するよう補正を加えた上で撮影する、というアプローチが可能となった。

図3-2-10は、記録されたメタデータの一例として「架台角度」をグラフ化したものである。撮影者が手動で操作しながら記録したものが「記録時」で、それを再生用に平滑化したものが「再生時」のメタデータである。このグラフでは、25秒後から33秒後にかけて正方向に動き、50秒後から55秒後にかけて負方向に動いている。編集済みのメタデータを再生したところ、実際に指定したとおりに再生されていることが確認された。

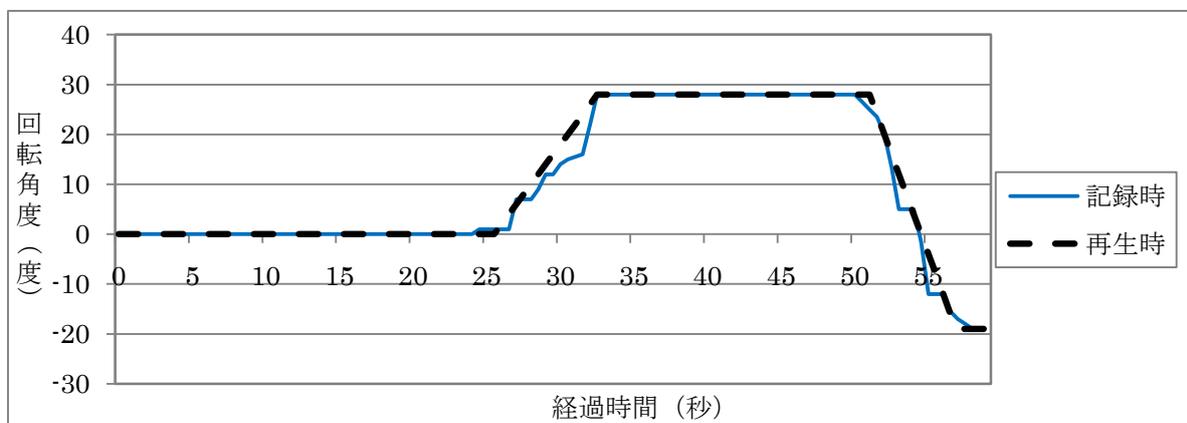


図3-2-10 架台回転角度のメタデータの記録・補正例

[参考文献]

[1] S. Kishi, S. H. Kim, T. Shibata, T. Kawai, J. Hakkinen, J. Takatalo, G. Nyman: Scalable 3D image conversion and ergonomic evaluation, SPIE, 6803, 68030F-1-9, (2008)

3-3 ユーザビリティテスト／モニタテスト

高度化および新機能が検討・実装されたカメラシステムを用いて、3Dコンテンツの撮影および諸機能に関する評価を行った。

評価の内容としては、以下の3点であった。

- ・ 撮影現場で本システムを使用した際のユーザビリティテスト
- ・ パラメータロックに関する機能テスト
- ・ 焦点調節機能からみた3Dコンテンツの視差角の許容範囲に関する実験データ(参考)

3-3.1 ユーザビリティテスト

新型カメラを実際の撮影現場で利用し、今年度3Dカメラシステムの高度化とコンテンツ評価機能の統合を行う以前と以降の撮影結果を比較評価してみた。

(1) 3Dカメラシステムの高度化前の撮影

本カメラシステムを利用して商用撮影を行った。

- ① 撮影日時：2010年6月1日
- ② 撮影内容：Jcom CATVショー プレゼン 3D映像
- ③ 撮影場所：Jcom 本社内ショールーム

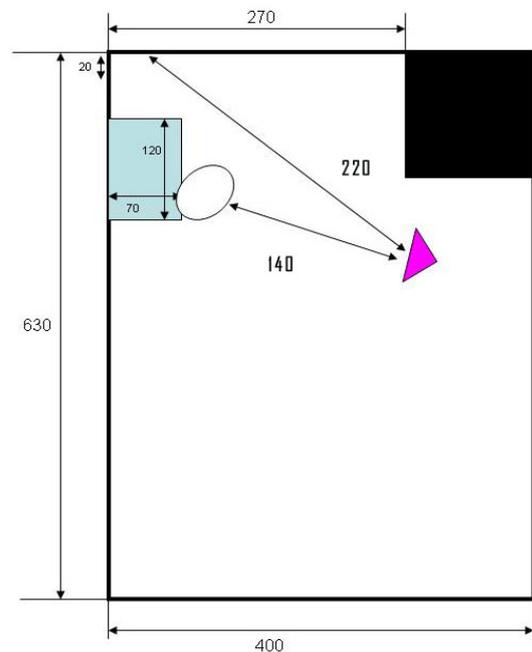
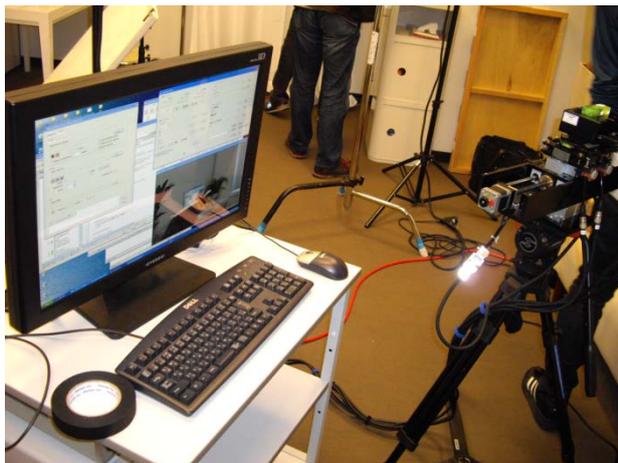


図3-3-1 2010年6月に商用撮影したときの様子

(左上)：制御PCの横にしか置けないカメラ、(左下)：カメラ同期用機材 (手前の2台)と、フルHD3D収録機材 (奥)、(右)：撮影時の位置関係 (後方発散を防ぐため、全て壁際で処理している)

(2) 3Dカメラシステムの高度化後の撮影

本カメラシステムをサブカメラとして撮影を行った。

- ① 撮影日時：2011年2月28日
- ② 撮影内容：3D映像弦楽四重奏(3D 1080/60p 評価映像)
- ③ 撮影場所：湘南セントラファエロ大聖堂(神奈川県藤沢市)

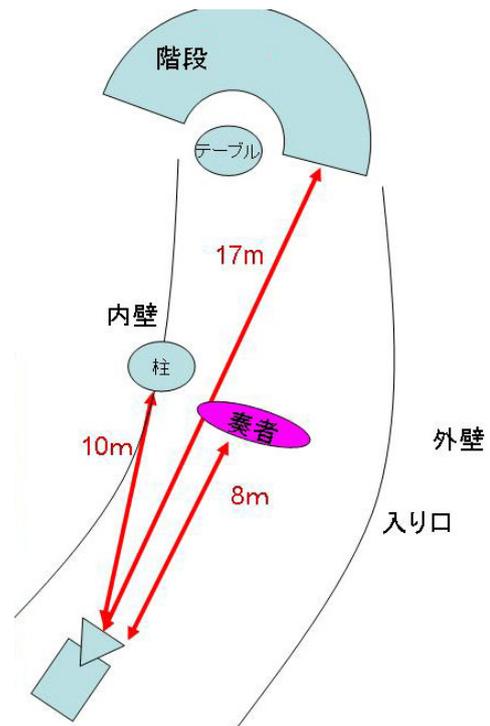


図3-3-2 2011年2月に撮影したときの様子

- (上)：ボックス内の2台のカメラで3D撮影を行う(左のリフトされたのがメインカメラ)。
(中左)：3Dコンバータ、PCなどがアルミボックスに収納されモニタ・キーボード台になっている。
(下左)：弦楽四重奏を撮影中の3Dカメラシステム
(下右)：撮影時の位置関係(安全性の確保のためには、ステレオベース50mm程度にしたい位置関係。計算上この状態では、視差量が3.2%程度になってしまう)

(3) カメラ詳細比較

2011年2月の撮影で利用するカメラは、特に下記のバージョンアップが施されたカメラシステムを利用し、2010年6月のカメラシステムとの使用感の比較を行う。

- ① 左右カメラでの同期をとれるようにした(ソニー製カメラの外付け基板で対応)。
- ② 屋外撮影も可能なように、バッテリー駆動が可能
- ③ ケーブルでカメラが固定化されないような不具合を対処
- ④ 装置移動しても結線が容易で準備の時間を短縮
- ⑤ ケースに梱包し、モバイル性を考慮

厳密なゲンロック信号がエンベデッドされていない可能性がある。このため、UDR-D100ではカメラシステム直結による収録は不可能であった。前回は、P2モバイルを2台用いて同期を図ったが、位相の反転があった反省をもとに、今回は、パナソニック製3D対応スイッチャー：AG-HMX100をD100の間に入れた。スイッチャーに内蔵されたフレームシンクロナイザー機能を利用して同期を掛けることで、UDR-D100での収録に成功した。コンテンツ制作に利用する場合、サイドバイサイドしか記録できない以上、外部ゲンロック機能が必要と考えられる。

サイドバイサイドによるPCでの収録は変わらなかったが、制御PCがパッケージ化されたため、カメラアウトのSDIを取り出すのに、3D対応のキャプチャカード BlackMagicDesign製DeckLink HD Extreme 3D等を搭載し、フルHD3Dで収録しておけば変換作業などのプロセスを経ることなくそのまま編集素材に利用できる。

外部バッテリーを用いての駆動は可能だが、このバッテリーのシステムには疑問が残る。ACに変換しているので厳密にはバッテリー駆動ではないような気がする。サイズと重量を考えると、別途小型の発電機を利用した方が可搬性は良い。(消音型とはいえ発電機が利用できる場所であればという条件付ではあるが) バッテリー部分の構造も改善の余地が多分にある。充電時は良いとして駆動時にインバータが乗った蓋を横に外してケーブルを接続する構造は実用面では厳しい評価にならない。カメラシステムを起動した状態で移動しようとするとはバッテリーを移動させるのに、バッテリー本体とインバータの乗った蓋と二人の人手が必要になる。バッテリー駆動で撮影中に急な雨が降ろうものなら、ターミナルむき出しのバッテリーは危険である。改善方法だが、例えば、バッテリーケースの内側側面にインバータを取り付ける。換気が必要なら側面に開閉式のスライド扉とファンを取り付けて、風通しを確保。コンセント部分も側面に扉を付けてそこにケーブルを挿す構造にし、天面は充電時のみ取り外す。もしくは、放送機器用の小型のバッテリーを複数接続してインバータでACに変換するという事は、撮影時によく行われるので、それを流用することも可能だろう。

バージョンアップ前では制御PCの横にカメラを置く必要があり、しかも三脚をいっぱいまで上げることすらかなわなかったことからすれば、非常に大きな改善である。新型機の最大の改良点とあって良いだろう。だが、この効果により今まで気にならなかった問題が表面化した。まず、カメラマン側で映像が見られない。別途モニターが必要になってくるので、カメラの上に小型のモニターが設置できるよう、マイクシューが増設されると良い。むろん、専用のファインダーなどがあるということはないのだが、撮影環境によっては9インチ程度の液晶モニターをカメラ上に増設できると利便性が向上する。同様なことにズーム、フォーカスなどの本来カメラマンが、操作すべきことが遠くはなれた制御PCからしか操作できない。カメラマンがフレーミングをするのに一々、制御PCのオペレーターに指示するかカメラマン自らが、制御PCに戻る必要があるのは、効率が悪い。アイリスは通常ビデオエンジニアが操作するが、カメラ側でも操作できる方が効率良いので、ズーム、フォーカス、アイリスのカメラの基本的なオペレーションだけで良いので、カメラ側で操作できるように改善されることが望ましい。例えば、9インチモニターとゲームコントローラーパッドのようなものを、照明機材用の小型のスタンドにセットにして、カメラ横に置けると非常に便利になる。

バージョンアップ前では1本ずつ分かれていて、カメラとPCを接続するだけでも、かなりの時間が掛かったが、新型はカメラケーブルが一まとめになっており、カメラの準備が非常に容易になった。しかし、ケーブルが長くなり一まとめになったことで、コネクタ部分に掛かる重量が心配になる。カメラから30cmくらいのところにケーブルで輪をつくりインシュロックで括り、そのインシュロックにフックをつけカメラのベース部分か三脚のパン棒などに引っ掛けておくと良いだろう。

バージョンアップ前は段ボール箱に入っているPCや機材を取り出し、パソコンラックにセッティングするという非常に時間の掛かる状態だった。それがジュラルミンのケース単位でパッケージされ、かなり使い勝手がよくなった。現状でも良くなったのだが、実際の運用を考えるとさらなる改善が必要である。もう一工夫するとすれば、制御PCのケースを5cm程背の高い物に交換し、その増えた部分に引き出しをつけ、そこにキーボード&マウスを設置し、引き出しの裏側からUSBを接続しておく。引き出しを出せば使える状態にしておけば、キーボード&マウスの取り付け取り外しが不要になり、USBの接続の手間も省け、ケーブルの断線やUSBコネクタの損耗も防げるだろう。引き出しに入れてしまう場合は、トラックパッドやトラックボールの方が良いかもしれない。電源スイッチのついたパネルにBNCコネクタを伸ばしておくとともに使い勝手が向上する。もう1つ付け加えるならば、制御PCの前後の蓋である。前後どちらかだけ留め金の主従を逆にしておくと、外した蓋同士をつなげておけるので、留め金の破損が防止でき、内側のポケットにしまっていた物の紛失も防げるし、台の代わりに利用することもできる。モニタのケースも制御PCと同様に中央部分に固定し前後から挟むスタイルにしておくと、利用中のモニタの保護になる。バッテリーのケースは前述のとおり。

その他、撮影現場で利用してみたの、レビューを記述する。

① カメラについて

一般的に成人男性の両眼の幅65mm（出典：3Dコンソーシアムの3DC安全ガイドライン2010年4月20日改訂版 <GL-9>快適視差範囲(その2)より）を通常、3D映像作成時の基準としており、子供が視聴する可能性がある場合はさらに狭いステレオベースで撮影することが多い。しかし新型カメラシステムでは、ステレオベースを67mm以下に狭めることができない。これはカメラそのものの問題もあるだろうが、改善を望みたい。カメラが物理的に後ろに下がりズームでサイズをつめることで対応は可能なものの、立体歪がでる場合があるため、可能なら改善を望みたい。

② ホワイトバランスのプリセットが必要

左右のカメラでホワイトバランスをとると、グレーチャート(ホワイトバランスをとるためのチャート)への、明かりのあたり方を均一にすることが難しく、結果、左右で色が微妙に異なることが多々ある。これは照明を当てているときも、太陽光のもとでも同じことがいえる。日ごろの撮影でも、編集時に色を修正する前提で、ホワイトバランスはとらずに、プリセットを用いることがある。結果的には、プリセットの方が左右の色の差をなくすことが容易で、撮影がスムーズに行える。

③ 制御PCの画面のパラメータの表示

一般の3Dカメラと異なりPC制御であるために撮影時の各種パラメータの記録ができるのは、非常に大きなメリットである。編集作業時に視差を調整する際、各種パラメータがおおいに参考になるためである。なので、Zoomの表示はmm数表示が必須と考えられる。当座は、例えば、「制御PC上のズームの数値が20ならば、35mmレンズ換算で〇〇mm」というような、対応表があると撮影ししやすい。他にもパラメータの表示を通常のカメラに合わせておくと、撮影時、スタッフ間の意思疎通が行いやすい。フォーカスはフィートorメートル表示。コンバージョンも距離がm単位でも表示できると良い（これは距離計測機を搭載する必要があるため、困難

であるのは承知の上で)。アイリスも通常レンズのf値の表示が必要である。折角のシステムなので、視差量のリアルタイム監視も欲しい。できれば、%表示とピクセル表示、度数表示を切り替えが望ましい。また、デジタルズームのoff機能が必要である。ズームが不足していれば、近づくかテレコンバーターを装着することで対処し、画質が荒れるデジタルズームの利用は避けておきたい。制御PCのレスポンス向上と、テンキーからの数値入力ができること、さらに操作性が向上するのは間違いない。

④ カメラ本体の構造について

今回の撮影時、移動中の振動で、カメラの方向が変わってしまうトラブルがあり、調整のためカメラ前面から、無理やりカメラの方向を調整した。このようなトラブルでは、運用時に起きる可能性は多々あり、再調整用の機構を搭載する必要がある。無理やり調整すると、輻湊角やステレオベースのパラメータがPC上で何処まで正確に記録されるのか疑問である。

⑤ 撮影結果-映像のクオリティ-

撮影した映像を編集するにあたり、画質を主観的に評価する。カメラそのもののスペックが根本的に異なるのは承知の上で、単純に比較を行う。まず、映像全体にキレも悪く解像感もない。これはレンズの光学的な問題とセンサーの性能の問題であろう。2/3インチ3CCDの映像と直結で編集するとその差は歴然である。この画質の差は今回のような高画質での実験や、デモ映像、映画などでは、混在は厳しいものがある。オンエアやVODの様に帯域制限による高圧縮な利用であれば、通常のHD映像と混在も可能かもしれないがブルーレイなどの高ビットレートの用途では利用できない可能性が高い。また、イメージサークルが小さいために、ボケ脚も悪い。フォーカスが合わせづらいうちに、被写体の後方が狙いどおりにぼかすことができなかった。なだらかにボケて欲しいものである。

(4) さらに次世代に向けて

システムのコンパクト化を考えた場合、制御PCはノートPCを利用し、HD映像の記録にはAJA VideoSystems製のKiPROで代用するのはいかがだろうか(図3-3-3)。ともにバッテリー駆動できる上、デスクトップPCが不要になり、カメラ制御部分と3Dコンバータのみ従来どおりでもかなりの小型化が可能と考えられる。そうすればカメラシステム用のバッテリーも小型の物に変更できるので、システム全体でのコンパクト化が可能になり、運用面でもメリットがある。無茶なアイデアかもしれないが、例えば任天堂DSのような複数ボタンを持った携帯ゲーム機を無線LANで利用してズーム、フォーカス、アイリスがノートPCの無線LANを経由してカメラ横にしながら操作できると、さらに便利だ。無線LANを使用すれば、携帯ゲーム機の画面に映像を写すことも可能ではないだろうか。



図3-3-3 KiPRO(2006年6月撮影時、仮編集用の1080/60i : サイドバイサイド収録に利用した)

操作ボタンなどのインターフェースの上に2.5インチの専用HDDがセットされており、取替え可能。専用HDD自体にはIEEE1394などのインターフェースがあり、本体から取り外しそのままPCに接続し、編集が行える。

(5) まとめ

撮影現場で本システムを使用した際のユーザビリティテストにおいては、平成22年度の改良前と後で比較を行うことで、その効果を明らかとした。具体的には、平成21年度の段階よりも運用上の問題点が改善され、利便性の向上が示唆された。しかしながら、F/Sの範囲を超えた、真の「実用」という意味では、多くの課題が残されていることが分かると同時に、有益な指摘や提案をいただくことができた。

3-3.2 パラメータロック機能テスト

フォーカス、コンバージェンス、インターアクシャルを、それぞれ特定の値に設定した条件を標準として、いずれかのパラメータをロックしながら、他の2つのパラメータを連動させて遠方化していくことで、比較条件を作り出すという方法により実施した。本来は、多様なロケーションとパラメータの組み合わせを検証することが望ましいといえるが、本機能の基本動作が設計に従ったものであることは確認することができた。

(1) パラメータロック

一般に3D撮影では、多様なパラメータを独立して操作することが可能だが、コンテンツ制作の現場においては、そうした操作によって生じる立体情報の変化を、意図的に利用することは困難なのが現状である。その主な原因として、以下の2点があげられる。

- ① パラメータの操作方法が確立されていないこと
- ② それに伴う観察者の体験との関連が不明確であること

そこで本システムでは、コンテンツの立体情報に影響を及ぼす特定のパラメータを固定し、他のパラメータを連動して操作するという概念を提案し、機能として実装した。具体的には、左右のカメラのフォーカス、コンバージェンス、インターアクシャルのうち、1つのパラメータを固定（ロック）し、他の2つのパラメータを連動して変化させる機能により、立体感の誇張や抑制などの特徴的な効果を表現し得るかという、実験的な検討を可能とした。各パラメータのロック時の動作と機能テストの概要を紹介する。

(2) フォーカスロック

フォーカスロック時には、フォーカスのパラメータは固定され、コンバージェンスとインターアクシャルのパラメータが比例する形で連動して変化する。ヒトの視覚系でいえば、調節距離は固定されているが、瞳孔間隔と輻湊角が一定の比率を保ちながら変化する状態を模することを想定している。図3-3-4にフォーカスロック時の動作概念を、図3-3-5~7に機能テスト時の収録画像の例を、表3-3-1に機能テスト時の各カメラパラメータを示した。なお、撮影場所は大学構内であり、被写体として本システムの前方2m、4mの位置に三脚を設置した。各図では、左側に右カメラで、右側に左カメラで収録した画像を、それぞれ配置した。

表3-3-1 フォーカスロック機能テスト時の各パラメータ

| フォーカス距離 | コンバージェンス距離 | コンバージェンス角度 | インターアクシャル |
|---------|------------|------------|-----------|
| 約2m | 約2m | 約0.9° | 67mm |
| 約2m | 約2.8m | 約0.9° | 約90mm |
| 約2m | 約3.6m | 約0.9° | 約120mm |

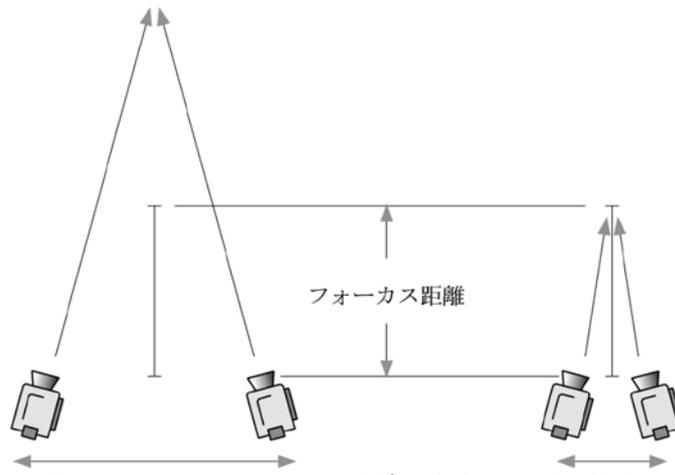


図3-3-4 フォーカスロック時の左右のカメラ動作

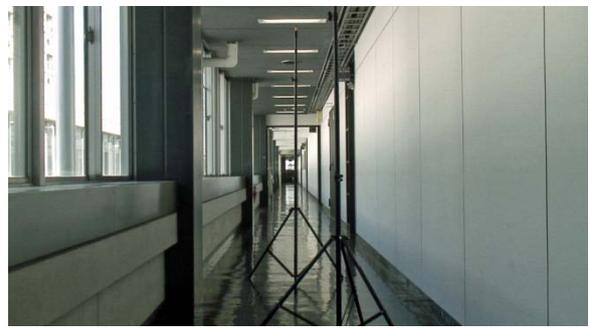


図3-3-5 フォーカスロック機能テストでの収録画像例
 (フォーカス距離：約2m, コンバージェンス距離：約2m, インターアクシャル：67mm)

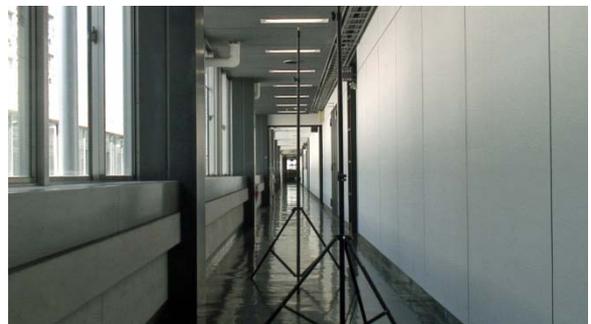


図3-3-6 フォーカスロック機能テストでの収録画像例
 (フォーカス距離：約2m, コンバージェンス距離：約2.8m, インターアクシャル：90mm)

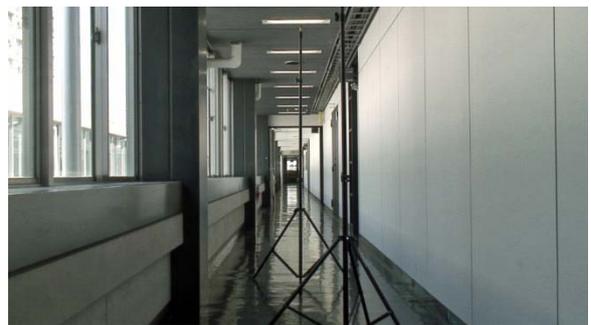


図3-3-7 フォーカスロック機能テストでの収録画像例
 (フォーカス距離：約2m, コンバージェンス距離：約3.6m, インターアクシャル：約120mm)

(3) コンバージェンスロック

コンバージェンスロック時には、左右のカメラの光軸が交差するまでの距離が固定され、フォーカスとインターアクシャルのパラメータが比例する形で連動して変化する。ヒトの視覚系でいえば、輻湊距離は固定されているが、瞳孔間隔と調節距離が一定の比率を保ちながら変化する状態を模することを想定している。図3-3-8にコンバージェンスロック時の動作概念を、図3-3-9~11に機能テスト時の収録画像の例を、表3-3-2に機能テスト時の各カメラパラメータを示した。

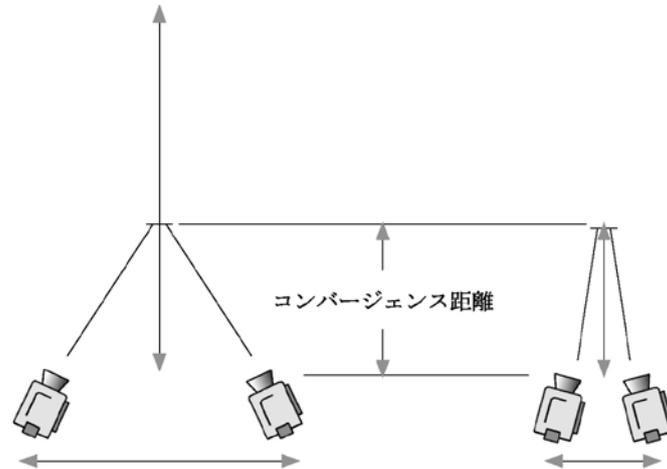


図3-3-8 コンバージェンスロック時の左右のカメラ動作

表3-3-2 コンバージェンスロック機能テスト時の各パラメータ

| フォーカス距離 | コンバージェンス距離 | コンバージェンス角度 | インターアクシャル |
|---------|------------|------------|-----------|
| 約2m | 約2m | 約0.9° | 67mm |
| 約2.8m | 約2m | 約1.1° | 約90mm |
| 約3.6m | 約2m | 約2.2° | 約120mm |



図3-3-9 コンバージェンスロック機能テストでの収録画像例

(フォーカス距離：約2m, コンバージェンス距離：約2m, インターアクシャル：67mm)

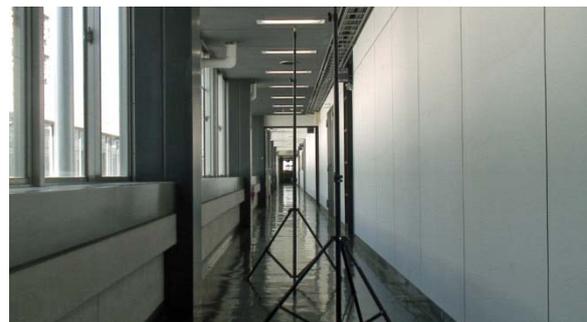


図3-3-10 コンバージェンスロック機能テストでの収録画像例

(フォーカス距離：約2.8m, コンバージェンス距離：約2m, インターアクシャル：約90mm)



図3-3-11 コンバージェンスロック機能テストでの収録画像例

(フォーカス距離：約3.6m, コンバージェンス距離：約2m, インターアクシャル：約120mm)

(4) インターアクシャルロック

インターアクシャルロック時には、左右のカメラ間距離が固定され、左右のカメラのフォーカスと光軸の交差する点までの距離が等しくなるよう変化する。ヒトの視覚系でいえば、瞳孔間隔は不変で、調節と輻湊の距離が等しくなるよう変化する。

フォーカスロックとコンバージェンスロック時では、日常的には体験されない両眼の立体情報の変化による効果などを検証することが期待される。一方で、インターアクシャルロック時の動作は、注視点までの距離が固定されるという点を除けば、自然視における網膜像の変化に近い撮影条件と考えられる。図3-3-12にコンバージェンスロック時の動作概念を、図3-3-13～15に機能テスト時の収録画像の例を、表3-3-3に機能テスト時の各カメラパラメータを示した。

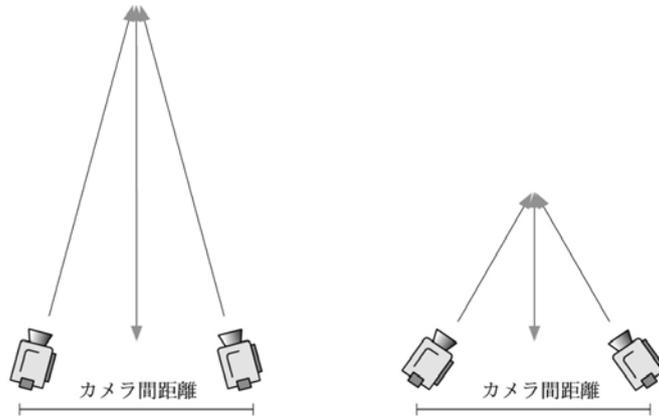


図3-3-12 インターアクシャルロック時の左右のカメラの動作概念

表3-3-3 インターアクシャルロック機能テスト時の各パラメータ

| フォーカス距離 | コンバージェンス距離 | コンバージェンス角度 | インターアクシャル |
|---------|------------|------------|-----------|
| 約2m | 約2m | 約0.9° | 67mm |
| 約4m | 約4m | 約0.5° | 67mm |
| 約6m | 約6m | 約0.3° | 67mm |



図3-3-13 インターアクシャルロック機能テストでの収録画像例
(フォーカス距離：約2m, コンバージェンス距離：約2m, インターアクシャル：67mm)



図3-3-14 インターアクシャルロック機能テストでの収録画像例
(フォーカス距離：約4m, コンバージェンス距離：約4m, インターアクシャル：67mm)

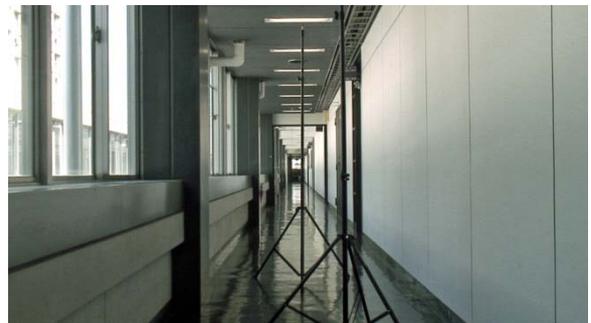


図3-3-15 インターアクシャルロック機能テストでの収録画像例
(フォーカス距離：約6m, コンバージェンス距離：約6m, インターアクシャル：67mm)

(5) パラメータロック機能テストのまとめ

パラメータロック時の動作概念と、機能テストの概要について述べた。本来は、多様なロケーションとパラメータを用いて行うことが望ましいといえるが、本機能の基本動作が設計に従ったものであることを確認することができた。

機能テストの方法としては、フォーカスとコンバージェンスを2m前方に、インターアクシャルを67mmに、それぞれ設定した条件を標準として、いずれかのパラメータをロックしながら、他の2つのパラメータを連動させて遠方化していくことで、比較条件を作り出した。

フォーカスロックにおいては、カメラのフォーカス距離とコンバージェンス角度は維持された状態での、コンバージェンス距離の遠方化とインターアクシャルの拡大による視差角分布の変化が確認された。また、コンバージェンスロックでは、左右のカメラの光軸が交差する距離が維持された状態で、フォーカス距離の遠方化とインターアクシャルの拡大を、それぞれ比例関係を維持するよう行った。コンバージェンス距離の2m前方には被写体用の三脚が配置されており、三脚そのものの画面上でのズレが最小化され、その周囲での視差角分布の変化が確認された。さらに、インター

アクシャルロックにおいては、左右のカメラ間距離を固定した状態での、フォーカスとコンバージェンスの遠方化により、被写体の視差角の交差方向への変化などが確認された。

3-3.3 焦点調節機能から見た立体視コンテンツの両眼視差許容範囲について<参考>

人為的に視差を誘起して立体像を知覚させた場合、視機能動態では調節と輻湊との相互関係に変調を来す[1-4]。そのため二眼式表示による立体映像の鑑賞が視機能へ及ぼす影響や、眼精疲労については、古くから多くの研究がなされている。眼鏡を使用する方式では、液晶シャッター眼鏡を用いる時分割方式[5, 6]やヘッド・マウント・ディスプレイ(head mounted display; HMD) [7-9]を使用した立体映像鑑賞による視機能への影響についての報告がある。一方、二眼式表示方式のうち眼鏡を使用しないいわゆる裸眼で立体像を知覚する方式に関しては、レンチキュラー方式によって立体像を認識した場合の視機能への影響を調べた報告がある[10]。しかし、いずれの報告も、視機能に悪影響を及ぼさない視差の至適条件についてはふれられていない。

そこで、立体ディスプレイ鑑賞時の焦点調節機能を記録することで、焦点調節(以下、「調節」という。)の動的特性から、視機能に悪影響を及ぼさない視差の条件について検討した。

(1) 方法

① 対象

屈折異常以外の眼科学的疾患および今回の実験に影響を与える可能性のある既往歴がなく、赤外線オプトメータ(AA-2000、ニデック)によって検査された調節機能が良好な19歳~22歳の女子学生14例を対象とした。被験者の平均等価球面度数 \pm 標準偏差は、右眼 $-0.43 \pm 0.37D$ 、左眼 $-0.38 \pm 0.44D$ でほぼ正視眼であった(他覚的屈折計AA-1100、ニデック)。

5m視力検査では、裸眼視力値は両眼とも1.0(小数視力値)以上あり、放射状の乱視表でも両眼とも濃淡は自覚されなかった。立体視検査では、Titmus Fly Testで立体視を認めた。

(* 等価球面度数 (D)=球面度数+乱視度数/2、乱視の異常を含んだ屈折異常の程度を表す。)

② 立体像注視時の調節測定法

調節の測定には赤外線オプトメータ(上記と同一)を用い、1mの距離に遠方視標を0.5mの距離に近方視標を設定し(調節刺激量: 1D)、ハーフミラーを介して10秒間ごと交互にトリガーをかけ(図3-3-16)、それぞれ4回ずつ呈示して右眼の調節応答を測定した(図3-3-17)。この方法で測定された反応を調節ステップ応答という。測定は薄暮室で行い、遠近両視標のうちいずれか一方は消灯していたので、両視標が重複して視野内に存在することはなかった。

遠方視標は、緑色の明発光体(3cd/m²)の上に黒色のスターバーストをレトラセットで作図し用いた(視角: 1.7°)。近方視標は、10.4inchパララックス・バリアー方式三次元(3-D)ディスプレイ(THD-10PN3, SANYO)上に中央部が視角1°の円形の黒抜きとなっている視角2°の白色の円図形(3cd/m²)を呈示し、背地にはモノクロームのランダム・ドット(3cd/m²)を用いた。遠方視標呈示の際にはスターバーストの中心を、近方視標の場合には円図形の中央を固視させ、いずれの視標の切り替えに対しても、即座に明視を行いかつ明視

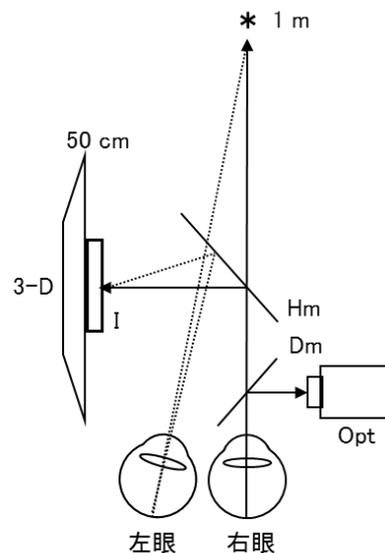


図3-3-16 調節ステップ応答の測定系

* : 遠方視標、Opt : 赤外線オプトメータ、
I : 呈示像、Dm : ダイクロミックミラー、
Hm : ハーフミラー、実線 : 右眼の視線、
点線 : 左眼の視線

状態の保持を指示した。

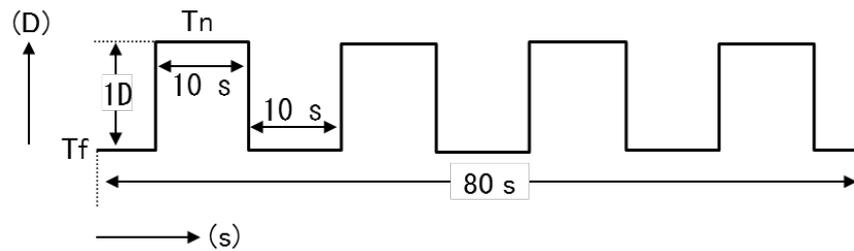


図3-3-17 ステップ刺激呈示条件

Tf : 遠方視標の呈示、Tn : 近方視標 (3-Dディスプレイ)の呈示
 それぞれ10秒ずつ呈示、1回(1つの視差条件)の必要測定時間：80秒

視線方向は、右眼の場合では遠方視標、近方視標のいずれを固視したときも視標面に対して常に直交し、赤外線オプトメータの光軸とも一致して視線移動はなかった。左眼の視線方向は、本測定の前に行った立体像の融像確認時の肉眼的観察では、立体表示をしないとき(視差 0°)の視線に比較して、交差性の場合にはより内よせ側に、逆に、同側性の場合にはより外よせ側に移動することを確認した(図3-3-19)。

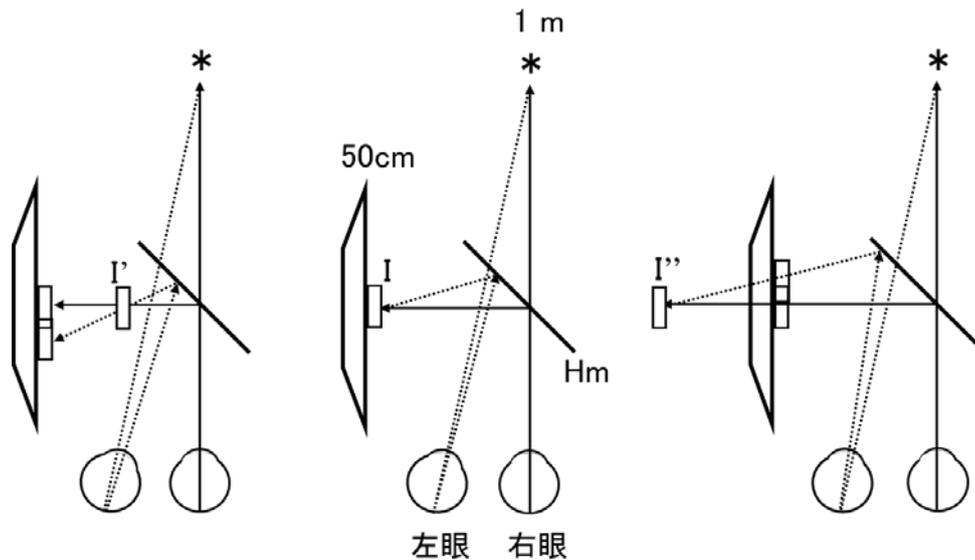


図3-3-19 視標呈示に伴う視線移動

Hm : ハーフミラー、I : 呈示像

I' : 立体として知覚される前方像、I'' : 立体として知覚される後方像

③ 両眼視差の決定法

視差の決定方法を図3-3-20に示す。通常の見方(いわゆる自然視)での輻湊角を α_1 、飛び出した前方像を知覚しているときの輻湊角を α_2 、奥まった後方像を知覚しているときの輻湊角を α_3 とする。交差性の視差($^\circ$)は、 α_2 から α_1 を引いた値とし、同側性の視差($^\circ$)は、 α_3 から α_1 を引いた値とした。交差性の視差は+となり、同側性の視差は-と表記される。

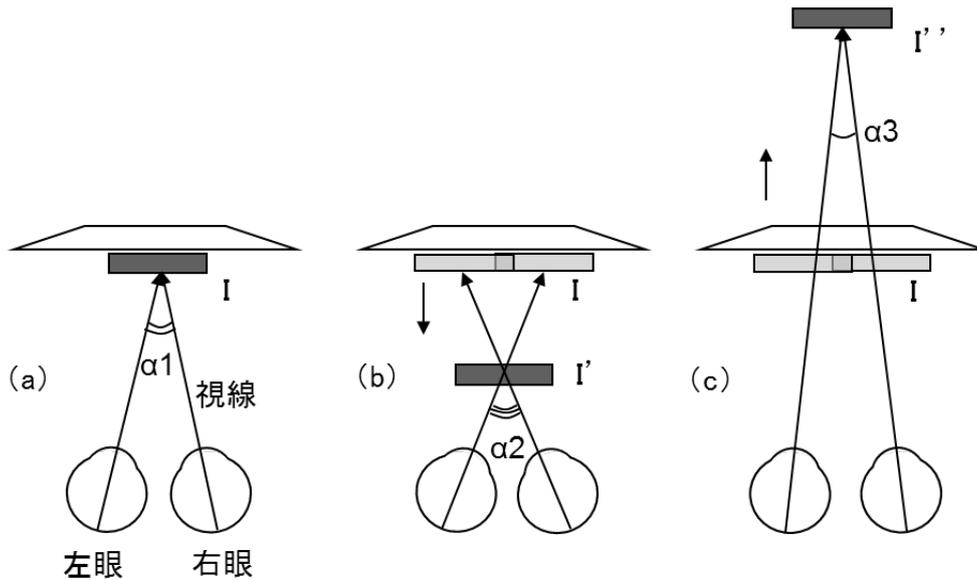


図3-3-20 両眼視差の決定法

- a) 通常の見方での輻湊角($\alpha 1$)
 - b) 視差を交差性にとり飛び出した前方像として知覚した場合での輻湊角($\alpha 2$)
 - c) 視差を同側性にとり奥まった後方像として知覚した場合での輻湊角($\alpha 3$)
- 交差性の視差= $\alpha 2 - \alpha 1$ 、同側性の視差= $\alpha 3 - \alpha 1$ 、I: 呈示像、I' I'': 知覚される立体像

④ 両眼視差条件

立体用円図形の視差条件は9通りとした。3-Dディスプレイ面から遠方に奥行きを持たせる後方像の場合には、同側性に -2.0° と -1.5° 、 -1.0° 、 -0.5° の視差をとり、近方に飛び出させる前方像の場合には、交差性に $+0.5^\circ$ と $+1.0^\circ$ 、 $+1.5^\circ$ 、 $+2.0^\circ$ の視差とした。立体表示をしないディスプレイ面上に表示する場合には、視差を 0° として平面像とした。瞳孔間距離を60 mmとしたときの理論上知覚される立体像の位置と輻湊角(MA, meter angle)は、同側性で視差 -2.0° では0.71m ; 1.41MA、視差 -1.5° では0.64m ; 1.56MA、視差 -1.0° では0.59m ; 1.69MA、視差 -0.5° では0.54m ; 1.85MAとなった。交差性は、視差 $+0.5^\circ$ では0.47m ; 2.13MA、視差 $+1.0^\circ$ では0.44m ; 2.27MA、視差 $+1.5^\circ$ では0.41m ; 2.44 MA、視差 $+2.0^\circ$ では0.39 m; 2.56 MAとなった。視差 0° は、平面像になるので像の位置は、ディスプレイと同じ0.5mで輻湊角は2.0MAであった(図3-3-21)。

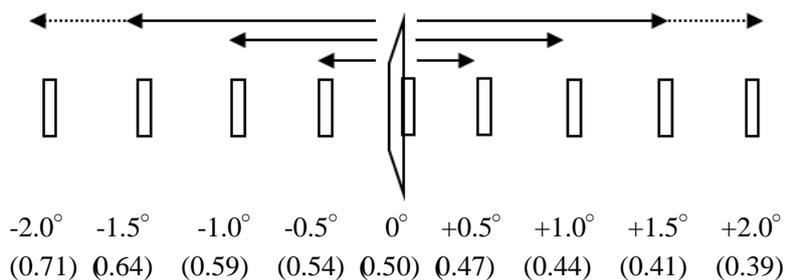


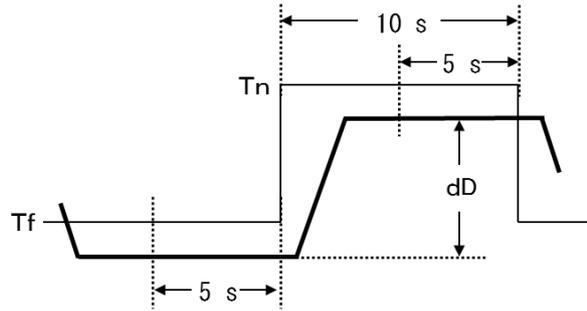
図3-3-21 両眼視差条件

同側性・交差性それぞれ4条件 視差 0° (平面)を加えて全9条件
 ()内: 被験者の瞳孔間距離を60mmとした場合の知覚される立体像の理論的位置(m)

⑤ 解析法

a) 平均調節波形

記録された調節ステップ応答の解析は、応答の全体の傾向を観察する目的で、測定された波形の平均波形を算出した。視差条件ごとに得られる平均波形は、1条件について (4波形/1例)×14例の合計56波形の平均であった。



b) 調節応答量

図3-3-21に示すように得られた調節波形(太線)から、遠方視標を注視しているときの調節応答位置と、近方視標である立体像を注視しているときの調節応答位置を調節応答量(dD ; D)とした。

図3-3-21 得られた調節ステップ応答波形の模式図と調節応答量

Tf : 遠方視標
 Tn : 近方視標 (3-Dディスプレイ)
 dD : 調節応答量 (D)
 細線 : 視標の位置 太線 : 調節波形

両調節応答位置は、視標の切り替えから5秒が経過し、遠近視標の切り替わりによるダイナミックな調節反応の影響がなく、かつ立体像の知覚が確実に成立したと考えられるそれぞれ後半5秒間の連続する屈折値の平均とした。各条件で4波形が得られるので、波形ごとに調節応答量を計測し4データの平均値を計算した。

⑥ 統計処理

視差条件ごとで得られた調節応答量(D)に対して、視差要因の影響を一元配置分散分析で解析した。視差要因で有意差が認められれば、その後、視差0° (平面)の条件で呈示像を注視したときの調節応答量に対して、各視差条件での調節応答量の差をDunnettの多重比較を用いて解析した。

(2) 結果

① 立体映像として知覚できた例数

立体像を知覚できた被験者の例数を表3.3-4に示す。同側性と交差性のいずれの視差でも、0.5° から1.5° の視差では、全例が複視を生じることなく、立体視を知覚できた。しかし、視差-2.0° では、立体像を知覚できたものは6例、視差+2.0° では5例であった。同側性・交差性いずれでも視差2.0° では、与えられた呈示像が単一視できずに複視を生じ立体像を知覚できなかった。したがって、同側性視差-2.0° と交差性+2.0° の条件は実験からは除外した。

表3-3-4 立体像を知覚できた例数

同側性・交差性いずれも視差0.5° から視差1.5° までは全例で立体像を知覚できた

| 視差の種類 | 視差量(°) | | | |
|-------|--------|-----|-----|-----|
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 同側性 | 14 | 14 | 14 | 6 |
| 交差性 | 14 | 14 | 14 | 5 |

② 調節ステップ応答の平均波形

図3-3-22に各視差条件での総平均波形を示す。調節応答量は、視差-1.5° から+1.5° となるに従い増大した。また、視差0° を含め、視差-1.5° から+0.5° まででは、3-Dディスプレイ面に対する理論的調節位置である+2.0D(視距離0.5mで必要とされる理論的調節量=1/0.5=2.0D)よりも、応答した調節が少ないaccommodation lag (調節lag)*が観察された。しかし、視差が+1.0° と+1.5° の場合には、+2.0Dよりも過剰な反応であるaccommodation lead (調節lead)*が観察された。

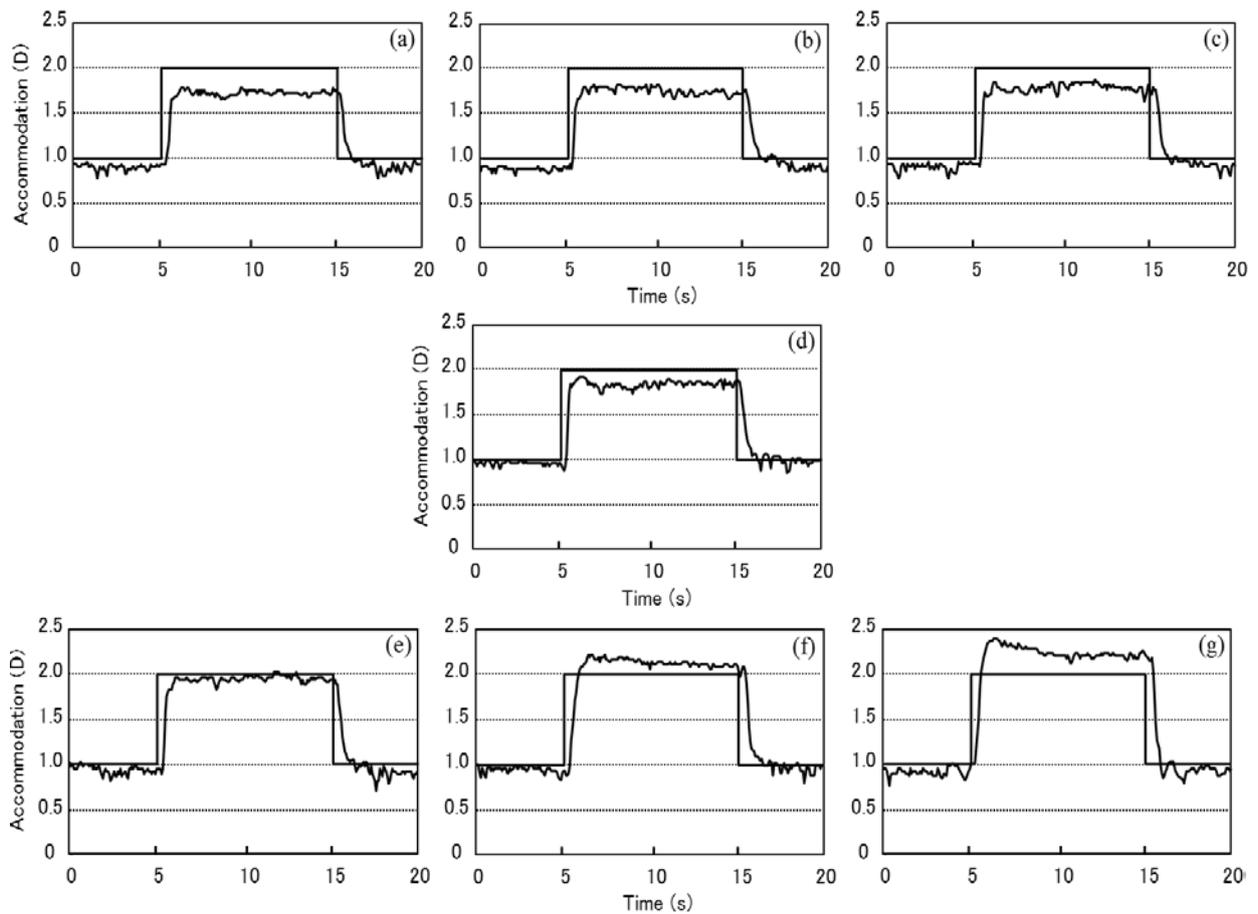


図3-3-22 全被験者の調節ステップ応答の平均波形

56波形の平均 (4波形/被験者×14例)

a)視差-1.5°、b)視差-1.0°、c)視差-0.5°、d)視差0°、e)視差+0.5°、f)視差+1.0°、g)視差+1.5°

* 調節lagと調節leadとは

調節lagとは、眼の調節が見ようとしている視対象の距離よりも少し遠くを見ている状態で、網膜上での視対象の像は、図3-3-23(上)のように網膜の少し後方に結像している(矢印)。

調節leadとは、逆に眼の調節が緊張して視対象の距離よりも少し近くを見ている状態で、網膜上での視対象の像は、図3-3-23(下)のように網膜の少し近方に結像している(矢印)。

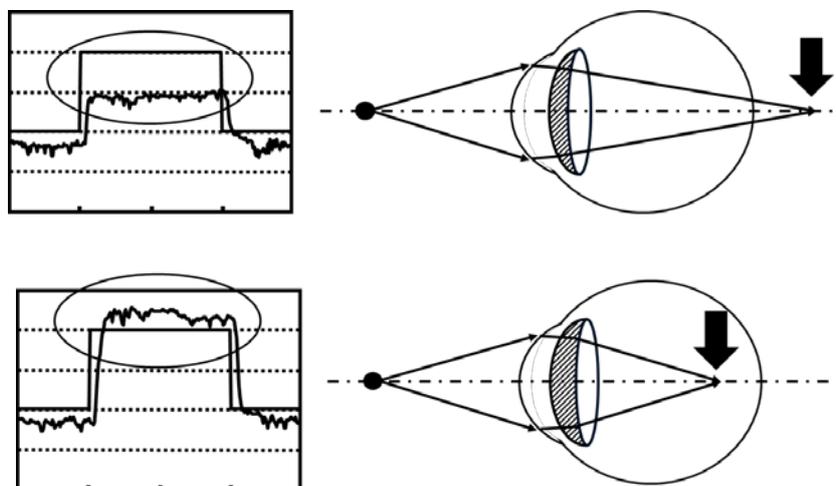


図3-3-23 (上): 調節lag、(下): 調節lead

③ 調節応答量の変化

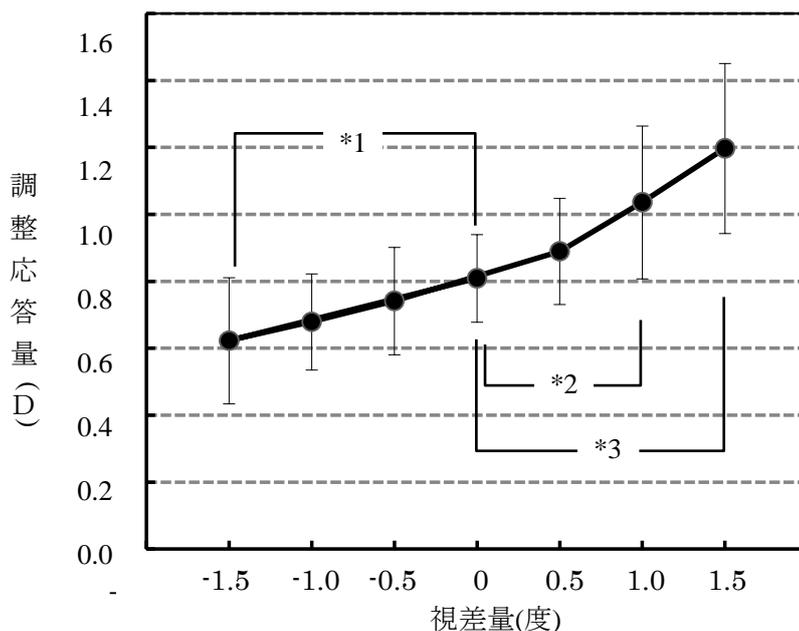


図3-3-24 調節応答量 (平均値±標準偏差)

調節応答量は視差量の違いにより差を生じる (P<0.0001、一元配置分散分析)

視差0°と比較して視差-1.5°では有意に減少 (*1P=0.0449)、視差+1.0°と+1.5°では有意に増大 (*2P=0.0089、*3P<0.0001)、Dunnnettの多重比較による

調節応答量の平均値を図3-3-24に示す。総平均波形の結果と同様に、調節応答量は、視差-1.5°から+1.5°となるに従い有意に増大した(P<0.0001、一元配置分散分析)。各視差条件での平均調節応答量は、視差-1.5°で0.62D、視差-1.0°で0.68D、視差-0.5°で0.74D、視差+0.5°で0.89D、視差+1.0°で1.04D、視差+1.5°で1.20Dであった。各視差での調節応答量を視差0°(平面)での調節応答量と比較すると、視差-1.5°では有意に減少し (P=0.0449、Dunnnettの多重比較)、視差+1.0°と視差+1.5°では有意に増大した(前者P=0.0089；後者P<0.0001、Dunnnettの多重比較)。

(3) 考察

今回の結果から、人為的な視差による立体像知覚は、明らかに調節応答量に影響していることが分かった。視差0°(平面像)と比較して、有意に調節応答量に差を生じた視差量は、同側性では-1.5°であり、交差性では+1.0°と+1.5°であった。その結果、交差性では調節は過剰に応答し調節過多となり、視差+1.0°と+1.5°では調節lead(図3-3-23(下) 参照)を生じた。視差-1.5°の同側性の場合では、調節応答は著しく過小になり調節lag(図3-3-23(上) 参照)が増大した。

調節過多は、読書やVDT作業などの近業を長時間継続すれば、容易に陥る調節異常である。調節過多を発症したときの主要な自覚症状は、朦朧視(ものがボケて見える)に始まり頭痛、眼の疲れ、遠方視から近方視への困難があげられている[11]。さらに調節leadは、臨床的には眼位の外方偏位や外斜位、外斜視ならびに偽近視を誘発するおそれがある[12, 13]。調節過多や調節leadの場合、過剰な調節が原因となって、種々の自覚症状や眼の機能的な疾患につながる可能性がある。視差を交差性に+1.0°以上にするには避けなければならない。

一方、視差を同側性にとった場合は、いずれの視差条件でも調節応答が過小となり、調節lagの状態を生じた。平面像を注視したときの調節応答も調節lagの状態を呈しているが、視差を-1.5°にすると、調節応答量は平面のときと比較すると有意に過小となり、調節lagが増大した。一般に50cmの様に近方視をしているときは、調節は、本来調節lagの状態にある(生理的lag)。したがって、

視差-1.5°での立体像注視は、一見調節の機序に合致しているように考えられる。しかし、調節lagが増大し、生理的範囲を超えてしまえば網膜上では、視対象の像はボケを生じ、眼精疲労の原因となる[14]。

また、調節lagは調節遅鈍や調節緊張症などの調節障害につながり[15]、近業でのものがボケた状態の持続は、近視の進行に関連するという報告もある[15, 16]。調節lagが、近視の進行に関与する理由としては、調節lagの状態では視対象の結像は網膜の後方にできており、この結像点に網膜を近づけようとする結果、眼軸長が進展すると説明されている[17]。さらに、近業時に調節lagが増大することから、Gwiazda [18, 19]は長時間の近業が近視の進行の原因であると報告した。したがって、調節lagが増大した同側性の視差-1.5°での長時間の立体像注視は、近視進行への危険性を捨てきれない。近視の進行については、調節lagが近視の進行には無関係であるとする報告もあり[20-22]、即座に同側性の視差-1.5°を排除する訳にはいかないが、調節lagは調節遅鈍や調節緊張症の原因にもなる。やはり、交差性の視差は+1.0°以上を、同側性には-1.5°以下の視差をつけるべきではないと考える。

(4) まとめ

立体映像表示での視機能に悪影響を与えない視差条件を探るために、3-Dディスプレイ上での立体像注視時の調節ステップ応答を測定した。

調節の測定には赤外線オプトメータを用い、遠方視標を1mの距離に近方視標を50cmの距離に設定し(調節刺激量：1D)、右眼の調節ステップ応答を測定した。遠方視標は、黒色のスターバーストを、近方視標には、パララックス・バリアー方式3-Dディスプレイに円図形を呈示した。円図形の視差条件は、同側性に-2.0°と-1.5°、-1.0°、-0.5°、交差性に+0.5°と+1.0°、+1.5°、+2.0°および視差を0°の9通りとした。調節波形の解析は、各視差条件で記録される波形の平均波形における肉眼的観察と調節応答量を計算した。

調節ステップ応答の平均波形の観察では、視差0°のときと比較して、同側性では調節応答量が減少し、交差性では増大した。特に、視差が同側性に-1.5°の場合は、平均調節応答量は0.62Dとなり、視差0°と比較して有意に減少した(P=0.0449、Dunnnettの多重比較)。視差を交差性に+1.0°と+1.5°にした場合には、調節応答量はそれぞれ1.04Dと1.20Dとなり、視差0°での調節応答量に比べて有意に増大し調節leadに転じた(前者P=0.0089；後者P<0.0001、Dunnnettの多重比較)。

両眼視差方式を用いて立体映像を作成する場合、両眼視差は、同側性には-1.5°以下、交差性には+1.0°以上をとるべきではないと考える。

[参考文献]

- [1] Tsuneto Iwasaki, Shinobu Akiya, Teturi Inoue, Kageyu Noro, “Surmised state of accommodation to stereoscopic three-dimensional images with binocular disparity”, *Ergonomics*, Vol. 39, No. 11, pp. 1268-1272, 1996.
- [2] 梶田雅義, “3D映像と屈折調節”, *神経眼科*, Vol. 16, No. 2, pp. 152-156, 1999.
- [3] Kazuhiko Ukai, Yumi Kato, “The use of video refraction to measure the dynamic properties of the near triad in observers of a 3-D display”, *Ophthalmic and Physiological Optics*, Vol. 22, No. 5, pp. 385-388, 2002.
- [4] Masaki Emoto, Takahiro Niida, Fumio Okano, “Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television”, *Journal of Display Technology*, Vol.1, No.2, pp. 328-340, 2005.
- [5] Am Cho, Tsuneto Iwasaki, Kageyu Noro, “A study on visual characteristics of binocular 3-D images”, *Ergonomics*, Vol.39, No.11, pp. 1285-1293, 1996.
- [6] 大平明彦, 落合真紀子, “両眼液晶シャッターとハイビジョンテレビを組み合わせた立体画像が

視機能に与える影響について”, 視覚の科学, Vol.17, No.4, pp. 131-134, 1997.

[7] Mark Mon-Williams, John P. Warm, Simon Rushton, “Binocular vision in a virtual world: visual deficits following the wearing of a head-mounted display”, *Ophthalmic and Physiological Optics*, Vol.13, No.10, pp. 387-391, 1993.

[8] John P. Wann, Simon Rushton, Mark Mon-Williams, “Natural problems for stereoscopic depth perception in virtual environments”, *Vision Research*, Vol.35, No.19, pp. 2731-2736, 1995.

[9] Stephen E. Morse, Bai-Chuan Jiang, “Oculomotor function after virtual reality use differentiates symptomatic from asymptomatic individuals”, *Optometry and Visual Science*, Vol.76, No.9, pp. 637-642, 1999.

[10] 玉木光子, 奥山文雄, 所 敬, 吉井正一, 池田貴司, 小山田健二, 金谷経一, “40インチ眼鏡なし立体ディスプレイが視機能に与える影響”, 視覚の科学, Vol.19, No.4, pp. 146-150, 1999.

Vol.39, No.11, pp. 1268-1272, 1996.

[11] Angel Garcia, Pilar Cacho, Francisco Lara, “Evaluating relative accommodations in general binocular dysfunctions”, *Optometry And Vision Science*, Vol.79, No.12, pp. 779-787, 2002.

[12] Judy Herrington Seaber, “Pseudomyopia in exodeviations”, *American Orthoptic Journal*, Vol.16, pp. 67-72, 1966.

[13] Manoj V. Subbaram, Mark A. Bullimore, “Visual acuity and the accuracy of the accommodative response”, *Ophthalmic & physiological optics*, Vol.22, Vol.4, pp. 312-318, 2002.

[14] Satoshi Hasebe, Fumitaka Nonaka, Hiroshi Ohtsuki, “Accuracy of accommodation in heterophoric patients: testing an interaction model in a large clinical sample”, *Ophthalmic and Physiological Optics*, Vol.25, No.6, pp. 582-591, 2005.

[15] Jeffrey S. Cooper, “Accommodative dysfunction, in: J. E Amos (Ed.)”, *Diagnosis and management in vision care*, Butterworths, Boston, pp. 431-459, 1987.

[16] Jeffrey S. Cooper, Carole R. Burns, Susan A. Cotter, Kent M. Daum, John R. Griffin, Mitchell M. Scheiman, “Optometric clinical practice guideline care of the patient with accommodation and vergence dysfunction”, *American Optometric Association*, St. Louis, 1998.

[17] Earl L. Smith, “Environmentally induced refractive errors in animals, in: Mark Rosenfield, Bernard Gilmartin (Eds.)”, *Myopia and nearwork*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 57-90, 1998.

[18] Jane Gwiazda, Wendy L. Marsh-Tootle, Leslie Hyman, Mohamed Hussein, Thomas T. Norton, the COMET Study Group, “Baseline refractive and ocular component measures of children enrolled in the correction of myopia evaluation trial (COMET)”, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol.43, No.2, pp. 314-321, 2002.

[19] Jane E. Gwiazda, Leslie Hyman, Thomas T. Norton, Mohamed E. M. Hussein, Wendy Marsh-Tootle, Ruth Manny, Ying Wang, Donald Everett, the COMET Group, “Accommodation and related risk factors associated with myopia progression and their interaction with treatment in COMET children”, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol.45, No.7, pp. 2143-2151, 2004.

[20] Trine Langaas, Patricia M. Riddell, Ellen Svarverud, Ann E. Ystenæs, Irene Langeggen, Jan Richard Bruenech, “Variability of the accommodation response in early onset myopia”, *Optometry & Vision Science*, Vol.85, No.1, pp. 37-48, 2008.

[21] Donald O. Mutti, G. Lynn Mitchell, John R. Hayes, Lisa A. Jones, Melvin L. Moeschberger, Susan A. Cotter, Robert N. Kleinstejn, Ruth E. Manny, J. Daniel Twelker, Karla Zadnik, the CLEERE Study Group, “Accommodative lag before and after the onset of myopia”, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol.47, No.3, pp. 837-846, 2006.

[22] Lan Weizhong, Yang Zhikuan, Liu Wen, Chen Xiang, Ge Jian, “A longitudinal study on the relationship between myopia development and near accommodation lag in myopic children”, *Ophthalmic & physiological optics*, Vol.28, Vol.1, pp. 57-61, 2008.

4. F/Sの今後の課題および展開

本事業、すなわち安全かつ快適で、多様な視環境での3Dコンテンツの制作・利活用を目指したシステムの高度化、各種機能の試作とユーザビリティの評価に関わる取り組みでは、3年目となる平成22年度においても、多岐にわたって所定の成果を得ることができたと考える。

平成22年は、一般に「3D元年」と呼称され、至るところで「3D」というキーワードが散見された。本事業が開始された平成20年当時は、3Dブームの黎明期にあり、三年間のフィージビリティスタディの後、3年間の実用・展開フェーズを計画していた。しかしながら、本事業推進中の3Dブームの急加速に伴い、F/Sのフェーズにも関わらず、実用・展開が望まれるという状況となった。このことは、本事業の課題設定が的確であったことを示すと同時に、「次世代」となり得る先導性や速度感が、事業期間を通して、強く求められることとなった。

本事業の今後の課題と展開として、以下の2点を挙げるができる。

(1) 次世代 3Dカメラシステムのダウンサイジング

平成22年度に取り組んだ課題の1つに、モビリティの向上がある。前述のとおり、セットアップそのものは格段に簡略化できたが、多様な面でのダウンサイジングの要望は多く、今後の展開への急務といえる。

主な課題としては、次の4つがあげられる。

- 1つは、インターアクシャル(カメラ間隔)の縮小である。現状では最小で6.7mmとなっているが、最低でもその半分程度を実現できる構成が望まれている。
- 2つは、ノート型PCをベースとしたシステム化である。現状のデスクトップ型をベースとしたシステムに比べて、本体のサイズ、重量だけでなく、電力消費を抑えることが可能となる。
- 3つは、ユーザインタフェースのワイヤレス化である。コントロールユニットからユーザインタフェースユニットを物理的に分離することで、ユーザの自由度が格段に向上すると考えられる。
- 4つは、裸眼3Dディスプレイのモニタ利用である。偏光フィルター眼鏡の掛け外しが不要になることは、ユーザの行為という点で、ダウンサイジングに位置付けることができるだろう。

(2) 次世代 3Dカメラシステムの教育応用

平成22年度に設計・試作したシステムにより、カメラのパラメータとコンテンツの視差角分布の双方を、数量的かつ視覚的に把握することが可能となった。これは、3Dコンテンツ制作に熟練していないユーザにとって、顕著な教育効果が期待されるものである。本システムの活用により、フォトグラファだけでなく、演出家や監督なども交えた実証的な検討ができるため、クリエイターの育成にとどまらず、技巧的なノウハウの蓄積につなげていく取り組みは、重要である。

平成22年度には、新たな機能としてパラメータロックなどの提案・実装を行ったが、そうした従来とは異なる、あるいは自然視とは異なる特徴的な立体情報を含んだコンテンツによって、観察者の認知や情動がどのように変化するかは、未だ明らかでない。したがって、カメラのパラメータとコンテンツの立体情報、さらには観察者の体験との関連を解明していくことで、「次世代」と呼称するにふさわしい、3Dコンテンツの制作環境の確立・体系化が展望できると考えている。

—禁無断転載—

システム開発 22-F-5

次世代立体視コンテンツ制作環境の開発に
関するフィージビリティスタディ
報 告 書 (要旨)

平成23年3月

作 成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田一丁目4番28号
TEL 03-3454-1311

委託先 財団法人デジタルコンテンツ協会
東京都千代田区一番町23番地3
TEL 03-3512-3900

22

―

F

―

5

次世代立体的コンテンツ制作環境の開発に関するフィージビリティスタディ 報告書

―

要旨

―

平成
23
年
3
月

財団法人
機械システム振興協会
委託先
財団法人デジタルコンテンツ協会