

財団法人 J K A

平成21年度デジタルコンテンツの保護・活用に関する調査研究等補助事業

デジタル技術を駆使した 映像制作・表示に関する調査研究

報 告 書

平成22年3月

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。

URL : <http://ringring-keirin.jp/>

目 次

第1章	はじめに	1
1.1	調査研究の目的	1
1.2	本年度の活動	2
1.3	調査研究の実施体制	4
第2章	立体映像	6
2.1	立体映像とは	6
2.2	視覚特性	9
2.2.1	立体視機能特性	9
2.2.2	立体視検査法	12
2.2.3	立体映像と生体反応	14
2.2.4	まとめ	18
2.3	撮影・観察条件 内容：ひずみの要因と対応	19
2.3.1	ステレオ立体映像システムによって再現された3次元空間の不自然さ	19
2.3.2	ステレオ立体映像システムによって提示された立体映像の見づらさ	21
2.4	立体CG	23
2.4.1	CGを用いた映像の生成	23
2.4.2	CGによる視差映像の生成	24
2.4.3	視差映像の表示手順	25
2.4.4	リアルタイムレンダリングを用いた立体映像シミュレーション	26
2.4.5	まとめ	26
2.5	3D体映像実写の課題	27
2.5.1	ハリウッドから大きな波がやってきた	27
2.5.2	3D実写システム	27
2.5.3	3D実写撮影	30
2.5.4	3D実写撮影システム その2	31
2.5.5	カメラ1台で撮る3D立体実写システム	34
2.5.6	結論に変えて	35
2.6	2D・3D変換の課題	36
2.6.1	2D・3D変換の基本原理	36
2.6.2	2D・3D変換の効用	36
2.6.3	2D・3D変換の応用事例	37
2.6.4	まとめ	39
2.7	立体映像の課題	40
2.7.1	3D酔い	40
2.7.2	立体盲	40
2.7.3	眼精疲労	41
2.7.4	劇場による違い	41
2.7.5	ハードとコンテンツの供給バランス	42
第3章	3Dディスプレイの評価	44
3.1	立体視の要因	44
3.1.1	両眼による手がかり	44
3.1.2	単眼による手がかり	44
3.2	裸眼3Dディスプレイの種類	45

3.2.1	視差情報呈示方式.....	45
3.2.2	奥行き情報呈示方式.....	48
3.2.3	波面情報提示方式.....	49
3.3	裸眼 3D ディスプレイの問題点と改善.....	51
3.3.1	2 視点表示における見え方の解析とヘッドトラッキングによるさらなる改善.....	51
3.3.2	多視点方式における見え方の解析と視点画像幅の最適化による改善.....	53
3.3.3	多視点ヘッドトラッキング.....	54
3.4	裸眼立体ディスプレイの評価.....	56
3.4.1	視覚疲労の要因となる項目.....	56
3.4.2	立体視領域の解析.....	56
3.4.3	クロストークとオーバーラップ.....	58
3.4.4	2 眼&多眼式 3D ディスプレイの立体視可能範囲の評価.....	59
3.5	単眼レンズ 3D カメラ.....	66
3.5.1	はじめに.....	66
3.5.2	背景.....	66
3.5.3	同時光学分離方式 240fps 単眼レンズ 3D カメラ.....	67
3.5.4	おわりに.....	69
第 4 章	標準立体映像の制作.....	71
4.1	標準立体映像の必要性.....	71
4.2	標準立体映像.....	73
4.2.1	評価項目一覧.....	74
4.2.2	映像性能検査用チャートコンテンツ.....	75
4.2.3	映像性能検査用チャートコンテンツ (融像最大距離範囲).....	79
4.2.4	映像性能検査用チャートコンテンツ(重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ).....	81
4.2.5	両眼視機能チェック用パターン.....	82
4.3	立体映像の評価結果.....	85
4.3.1	はじめに.....	85
4.3.2	微小弁別距離差.....	85
4.3.3	融像最大距離範囲.....	87
4.3.4	重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ.....	88
4.3.5	まとめ今後の展開.....	88
第 5 章	立体映像の利活用.....	90
5.1	放送での立体映像の利活用.....	90
5.1.1	日本での 3D 放送.....	90
5.1.2	諸外国での 3D 放送.....	91
5.2	教育システム.....	93
5.2.1	立体映像利用の現状.....	93
5.2.2	期待される学習効果.....	93
5.2.3	直感的インタラクションと平置き型立体ディスプレイシステム.....	93
5.2.4	今後の課題.....	94
5.3	ゲームシステム.....	96
5.3.1	はじめに.....	96
5.3.2	ディスプレイの配置方法とゲームの投影視点.....	96
5.3.3	高臨場感ゲームの製品・試作の例.....	97
5.3.4	描画方法.....	99
5.3.5	まとめおよび今後の課題.....	100

5.4	ホームシアター（パッケージ）	101
5.4.1	背景	101
5.4.2	3Dの方式	102
5.4.3	3Dホームシアターシステムの方式	103
5.4.4	3Dの今後の発展	106
5.5	立体3Dアート表現の歴史と広がり	107
5.5.1	はじめに	107
5.5.2	3D流行の記憶	107
5.5.3	「サイバーアーツジャパン」展と3Dアート表現の今後	109
第6章	CES2010の立体表示	112
6.1	CES2010における立体3D関連機器の展示	112
6.2	3DTV	113
6.3	3Dプロジェクタ	117
6.4	コンテンツ制作とデリバリー	118
第7章	まとめ	120
7.1	立体産業振興に向けて	120

第1章 はじめに

1.1 調査研究の目的

財団法人 J K A 補助事業である「デジタル技術を駆使した映像制作・表示に関する調査研究」は本年度で最終年(3 年目)になる。各年度に取り組んだ調査研究の目的について、その背景などを含めて記す。

(1) 平成 19 年(初年度)

HD(ハイビジョン)を代表とするデジタル映像の高精細化の研究会開発は急速に進展していて、業務・ビジネス用途はさらなる高精細な映像が求められている。これらの高精細な映像を各プロダクションが制作するためには共通な仕様が必要であるが、映像制作から表示に至るまでの一貫した統一的な規格がなされていないという課題がある。

そこでデジタル映像制作から表示まで一貫した技術の現状の調査と分析を実施した。また、家庭用のエンターテインメント(テレビゲーム等)から業務用(デジタルシネマ等)までの幅広い分野に利用できる共通技術すなわちクロスメディアの展開可能性についても検討を行った。

(2) 平成 20 年(2 年目)

経済産業省の「技術戦略マップ 2008 コンテンツ分野」において「デジタルサイネージ(Digital Signage)」が時代の重要な技術分野として位置づけられていて、技術の進展が将来にわたり、デジタルコンテンツ業界の重要な分野を担う可能性が期待される。このように街中を見渡せば、街角の大型ビジョンから店舗・商品案内などの小型化まで、かつトレインチャンネルのように車中までもデジタルサイネージは広がりを見せている。あらゆる業種・業態までも幅広く展開され事業拡大が著しく、技術の進展に伴う革新的な広がりを見せている「デジタルサイネージ」に焦点を当てて、その実情等の調査研究を行った。

(3) 平成 21 年(最終年)

第 3 次ブームになるのではないかとされている「立体 3D 映像」が、勢いを弱めることなく産業振興を起こすような勢いで定着しだした。デジタルシネマでは「アバター」が興行収入を塗り替え、一方家電メーカーから 3DTV の販売発表と同時に衛星放送やケーブル TV から 3D 放送の開始がアナウンスされ、「3D 元年」といわれる時代の到来となった。また経済産業省の「技術戦略マップ 2009 コンテンツ分野」において「立体 3D 映像」が取り上げられ 3D 技術は、この 5~10 年で格段に進歩し、制作にかかるコストも 2D 映画より 1 割高程度になりつつあり、映画館に観客を引き戻す有力技術と見られている。また、「大型プラズマテレビと Blu-ray Disc(BD)プレーヤによる 3D 映像視聴を可能にしたシアターシステムが開発され、画像信号をディスプレイ内部で加工することなくそのまま表示できるため、システムが簡単に構成できるメリットがある。」と記されている。そこで、「立体視機能(3D)の評価等」について調査研究を行った。

結果からいえば、初年度にデジタル映像の高精細化という観点で全般的に調査研究を行った。2 年目および最終年については、デジタル映像技術のアプリケーションとして注目された分野技術に特化して、すなわち「デジタルサイネージ」、「立体(3D)システム」について調査研究を実施した。

1.2 本年度の活動

米国の3D超大作映画「アバター」が世界のスクリーンを席卷していて、興業収入はすでに1700億円を超え快進撃を続けていくだろうと予想される。3Dスクリーン数が5000を超える米国では3D映画だけでなく、本格的な3D放送も開始される見通しである。

米スポーツ専門チャンネルの「ESPN」が、2010年内にも立体放送ネットワーク「ESPN 3D」を立ち上げることが1月のCES（Consumer Electronics Show）にて発表された。また、期を同じくして米国では、Discovery Communications（以下、Discovery）、IMAX Corporation（以下、IMAX）、ソニー株式会社（以下、ソニー）の3社が、3D映像を米国にて放送する専用TVネットワークを立ち上げる合弁会社の設立を発表した（1月5日）。3社は、豊富な3Dコンテンツ、専門技術、テレビ番組放映網、運営力を結集し、2011年、米国を皮切りに、高品質な3次元映像を家庭で視聴できることを目指すという。

一方、わが国では3Dスクリーン数が一気に300を超え、3月には東京都区内で3D作品が7作品同時に公開され、まさに3D映画の時代の到来を予兆させる事態になっている。そして、放送の分野において、衛星放送では日本BS放送(株)が2007年12月より3Dによる本放送を行っており、スカパーJSAT(株)が東経124・128度CSを利用したハイビジョン放送で2010年夏から3D放送を始める旨を1月27日に発表した。また、国内ケーブルテレビ最大手の(株)ジュピターテレコム（以下、J-COM）は、2010年4月より、ビデオ・オンデマンド（VOD）サービス「J-COM オンデマンド」で、ハイビジョン画質の3Dコンテンツの配信を開始することを発表した。（2月10日）

また2010年には国内ではソニーやパナソニックから3DTVが販売される予定であり、それに続き、東芝、シャープも3DTVの発売予定を発表するなど、まさしく「3D元年」といわれる時代の到来といっても過言ではない。

そこで、具体的な活動としての調査研究は、「3D」に焦点をあててデジタル映像制作・表示技術向上およびその適用における諸問題に対する内外の情報を収集し、学術経験者や産業界の専門家により構成される研究委員会を6回開催し、調査研究を行った。

(1) 第1回委員会

日 時 平成21年7月17日(金) 15:00~19:00

場 所 (財)デジタルコンテンツ協会

主な議題

- ・ 平成21年度事業内容検討

(2) 第2回委員会

日 時 平成21年9月28日(月) 15:00~17:00

場 所 パナソニック デジタルソフトラボ

主な議題

- ・ 「立体画像標準チャートの企画, 制作, および規格化」
講演: NHK 江本 正喜 委員
- ・ 評価コンテンツについて議論

(3) 第3回委員会

日 時 平成21年10月26日(月) 15:00~17:00

場 所 早稲田大学西早稲田(理工)キャンパス

主な議題

- ・ 「立体視機能評価チャート」
講演: 北里大学 半田 知也 委員
- ・ 試作した評価コンテンツのデモ
説明: (株)ロッコン 出口 幸宏 さん

(4) 第4回委員会

日 時 平成21年12月7日(月) 15:00~17:00

場 所 (財)デジタルコンテンツ協会

主な議題

- ・ 報告書の執筆について

(5) 第5回委員会

日 時 平成22年3月1日(月) 15:30~17:30

場 所 パナソニック デジタルソフトラボ

主な議題

- ・ 「3D制作支援のための映像を体系化」
講演: ソニーPCL(株) 大場 省介 さん
- ・ 「2D3Dリアルタイム変換機」
講演: (株)ビデオテック 森 俊文 さん

(6) 第6回委員会

日 時 平成22年3月19日(月) 16:00~20:00

場 所 (財)デジタルコンテンツ協会

主な議題

- ・ 報告書の内容レビュー

1.3 調査研究の実施体制

本研究委員会は、(財)デジタルコンテンツ協会(DCAj)における事業開発事業として推進体制を組んでいる。

委員会メンバは以下の通りで、東京眼鏡専門学校 校長 畑田委員長の下で推進する体制とした。

事務局はDCAj 事業開発本部先導的的事业推進部がこれを担当する。

平成 21 年度 デジタル技術を駆使した映像制作・表示に関する調査研究委員会 名簿

役割	氏名	会社	所属	役職
委員長	畑田 豊彦	東京眼鏡専門学校		校長
委員	河合 隆史	早稲田大学	大学院国際情報通信研究科	教授
委員	半田 知也	北里大学	医療衛生学部 視覚機能療法学	専任講師
委員	江本 正喜	NHK 放送技術研究所	人間・情報科学	主任研究員
委員	小山 一彦	(株)ビジュアルコミュニケーションズ		社長
委員	濱岸 五郎	セイコーエプソン(株)	技術開発本部	主管部長
委員	堀越 力	(株)NTT ドコモ	先進技術研究所	主幹研究員

役割	氏名	会社	所属	役職
オブザーバ	泉 邦昭	3D コンソーシアム		事務局長
オブザーバ	安本 吉雄	パナソニック(株)	本社 R&D 部門	理事
オブザーバ	小黒 久史	凸版印刷(株)	総合研究所 情報技術研究所	主席研究員
オブザーバ	甲賀 祐二	ソニー(株)	B2B ソリューション事業部 技術企画部	担当部長
オブザーバ	大場 省介	ソニーPCL(株)	クリエイティブ事業部	主管技師
オブザーバ	森 俊文	ビデオテック(株)	製作本部	制作本部長
オブザーバ	和田 宏	東芝デジタルフロンティア(株)		制作部長
オブザーバ	西口 勇	(株)オーク情報システム	社長室	担当部長
オブザーバ	磯部 なつみ	日本BS放送(株)	編成・制作局	3D 立体放送ディレクター
オブザーバ	国分 秀樹	(財)NHK エンジニアリングサービス		システム技術部長
オブザーバ	安田 芽里	大日本印刷(株)	C&I 事業部 AT 推進室	主任
オブザーバ	出口 幸宏	(株)ロッコン		代表取締役

協力メンバ（報告書 執筆）

役割	氏 名	会 社
報告書 原稿執筆	石井 源久	(株)バンダイナムコゲームズ
報告書 原稿執筆	黒木 義彦	ソニー(株)
報告書 原稿執筆	大口 孝之	映画ジャーナリスト
報告書 原稿執筆	森山 朋絵	東京都現代美術館

事務局

役割	氏 名	会 社	所 属	役 職
事務局	田中 勉	(財)デジタルコンテンツ協会		常務
事務局	増井 武夫	(財)デジタルコンテンツ協会	事業開発本部 先導的事業推進部	部長
事務局	岩下 康子	(財)デジタルコンテンツ協会	事業開発本部 先導的事業推進部	

第2章 立体映像

2.1 立体映像とは

空間知覚を引き起こす視覚情報には、図 2.1-1 のように、空間での行動体験などとあわせて得られる単眼での網膜像情報と、両眼を備えていることで生じる両眼立体視情報などの数多くの要因がある。それらの要因が、利用しようとする空間距離や環境に応じて、複合・選択的に働き、手元から遠い空間までを安定した状態で知覚認識できるようになっている。

そのうちの単眼への情報だけで奥行き空間を感じることを利用した「2D 映像」では、高精細度・大画面化された映像へと表示技術を向上させ、実在感や移動感が体験できる空間再現を実現している。これに加えて、両眼からの立体視機能への情報を提供することにより、奥行きだけでなく前後距離空間も感じさせる「3D (立体)映像」では、立体視を成立させる多くの要因を再現表示する方式(図 2.1-2)の開発で、2D 映像では体験できない 3D 空間を再現する映像を提供する努力が続けられている。

このうち、人間が左右眼で観察するとき生じる視覚情報の差(厳密には両眼網膜像差と言い、通常は両眼視差と呼ばれ、観察位置の違いから生じる網膜上にできる像のズレ)をそれぞれの眼に提示する「2 眼式立体映像」が、次世代映像として期待され、その実用化に向けてのハード・ソフト面からの改善が進められる段階に到達した。しかし、この 2 眼式立体映像では、図 2.1-1 に示した数多くの空間知覚要因の一部(両眼視差)しか再現できない点と、立体空間効果を強調し過ぎた映像内容が多用されたため、「不自然さ」や「違和感」、「眼への負荷(眼精疲労)」というマイナス面ばかりが目立ち、日常生活レベルでの映像提供手段として安定した地位を築くまでには至らなかった。

このような 2 眼式に内在する問題点には、次に示すような項目が挙げられる。それらを改善することによって、より自然な立体空間の再現を目指した映像技術の開発・制作が近年急に進められ、その改善策を含めた 2 眼式立体映像のこれからを整理する。

(1) 箱庭効果 (見かけの大きさが矮小化して見え、箱庭状態や人形劇のように感じる)

広角レンズによる撮影や人間の瞳孔間距離より広いカメラ間距離での撮影時に発生し、人物や建物などの大きさが極端に小さく感じ、全体的な空間バランスが不自然に見える。この効果は、撮影/観察条件の整合化により、見かけの空間歪みを少なくし、映像効果(拡大表示など)である程度は修正できる。

(2) 書き割り効果 (再現空間内の特定部分にある物体の立体感が扁平化して見え、舞台装置の書き割りのように見える)

望遠レンズや瞳孔間距離より狭いカメラ間距離での撮影時に、前後配置の一部が扁平化して見える。この効果も撮影/観察条件の整合化で奥行き空間の歪みを少なくすることができるが、極端に奥行き差のある物体間の影響や微妙な奥行き再現状態の低下も関係する。2 眼式における撮影条件でも発生を抑えることが可能であるが、高精細映像で多方向情報(運動視差)が提示できる高密度表示型多眼方式による改善が期待される。

(3) 回り込み効果の欠落 (対象物を移動しながら観察する時、実際空間では移動方向に応じた部分が見えるが、2 眼式立体映像では特定位置からの映像しか再現できないため、観察者の移動方向とは逆向きの動きや不自然な揺れを感じる)

映画のように観察位置が半固定化されている場合はそれ程気にならないが、自由観察状況では非常に不自然な見えになるため、正常な立体観察が可能な領域を拡張する多方向情報を提示して運動視差を満足させる方式が要求され、観察位置追従型か多眼式方式で改善される。

- (4) 張り付き効果 (額縁効果とも言われ、立体再現される対象が画枠などで見切られると、左右眼への映像部分に違いが生じ、不安定な見えになる視野闘争や、対象が画枠に張り付いて立体感が抑えられ、変形したように見える)

画枠と立体再現空間を分離した状態や表示面を感じない状態にするために、仮想画枠(表示面と画面制限枠を異なった位置に見える状態)の設定、画面サイズの拡張(枠の存在を弱め、表示面位置を不確定な状態にする)、空中像(表示像を空中に結像した状態で観察すると、表示面の存在位置が不確定になり、再現空間が表示面に固定されず自然な見えになる)・空間像方式などによって改善が期待される。

- (5) 調節-輻輳矛盾 (両眼視差量を大きくして、表示面位置より極端に離れた奥行き位置に立体像を表示すると、一時的な輻輳とそれに誘発されたピント調節の位置が表示面位置よりずれ、しばらくすると、ピント調節位置は表示像の焦点深度内で安定する。実際の空間を観察する場合の輻輳-調節位置はほぼ同じ位置で常時安定しているのと比べると、両機能のバランスが不安定で、長時間の観察では眼への負荷が生じる)

ピント調節と輻輳の許容範囲内に立体像を表示するように、視差量の調整や映像の部分的なボケなどの映像処理システムの開発、空中・空間像方式によって両機能の許容領域を拡張することなどで改善が期待される。

- (6) クロストーク+大面積/部分視野闘争 (両眼情報の分離性能の低下、両眼への提示情報に反射などによりコントラストなどに違いがある部分や両眼視差領域などの両眼不对応部分が不安定な見え方になり、不自然な立体感になる)

両眼への映像分離方式(偏光、色、継時、光束制御)の分離精度や両眼情報の重畳状態から、立体再現を妨げる度合い、前後物体の遮蔽部に見られる両眼情報差による部分的な視野闘争がもたらす不安定な見え方を改善する必要がある。ただ、画質の低下を感じない範囲での画像処理効果や二重像などが目立たない許容値内への修正条件を明確にして、安定した立体映像を再現する。

以上のように、2眼式立体映像の見えの問題点を改善する方策として、様々な工夫が検討されているが、問題点の(3)から(5)を解決するためには、微妙な観察位置や眼のピント調節にも対応できる多眼・超多眼情報を提供する方式(図 2.1-2)が期待されている。ただ、これらの方式に要求される情報量の多さ、大容量高速処理の伝達手段、空間再現状態の質を確保するためには、超高密度な映像情報の提供システムの開発が要求され、現行の映像技術ではかなりの課題をクリアする必要が残されている。

これらの3D映像方式に比べて、これまでの2D映像による空間再現効果(高精細・大画面による再現空間との融合感・臨場感)の質を低下させないままで、技術的にも簡便に立体空間が再現できるプラス面が2眼式立体映像には見られる。さらに、近年のデジタル映像への技術展開も加わり、先にまとめたように、2眼式の持つ問題点を改善する方策がいろいろと検討され、これまでのマイナス面がある程度軽減できる可能性も出てきて、新しい立体映像への期待が再び沸き上がってきた。

立体映像への関心を定着させるためには、理想的に近い空間が再現できる3D映像方式にも期待が寄せられているが、現行の映像提供システムを大きく変更することなく、自然な画質で魅力ある空間が生み出せる2眼式立体映像の制作・提供システムを作り出し、娯楽・教育訓練分野における活用が実現すれば、日常生活レベルでの新しい映像提供システム・ディスプレイになることが十分期待できる。

そのためにも、2眼式立体映像のプラス面をさらに展開し、見る人が感じる違和感等のマイナス面を取り除く映像作成・表示条件を明確にする事が緊急の課題である。そのプラス・マイナス面を表現する立体映像によって体験し、自然で魅力ある立体映像の制作指針となる標準映像条件を示すことで、立体映像制作者にとって、より良質な立体映像を生み出す基礎資料になることが、本報告書の大きな目標でもある。

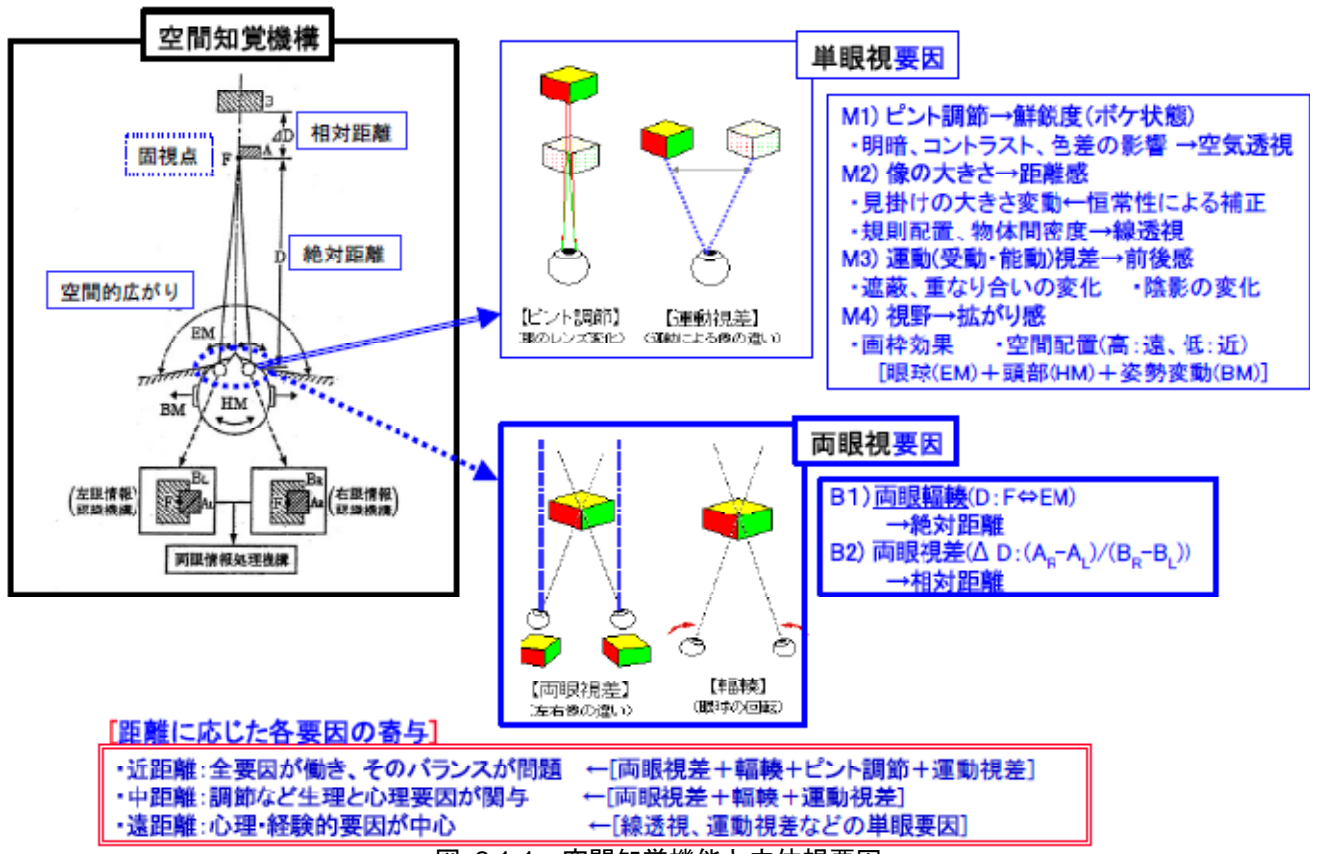


図 2.1-1 空間知覚機能と立体視要因

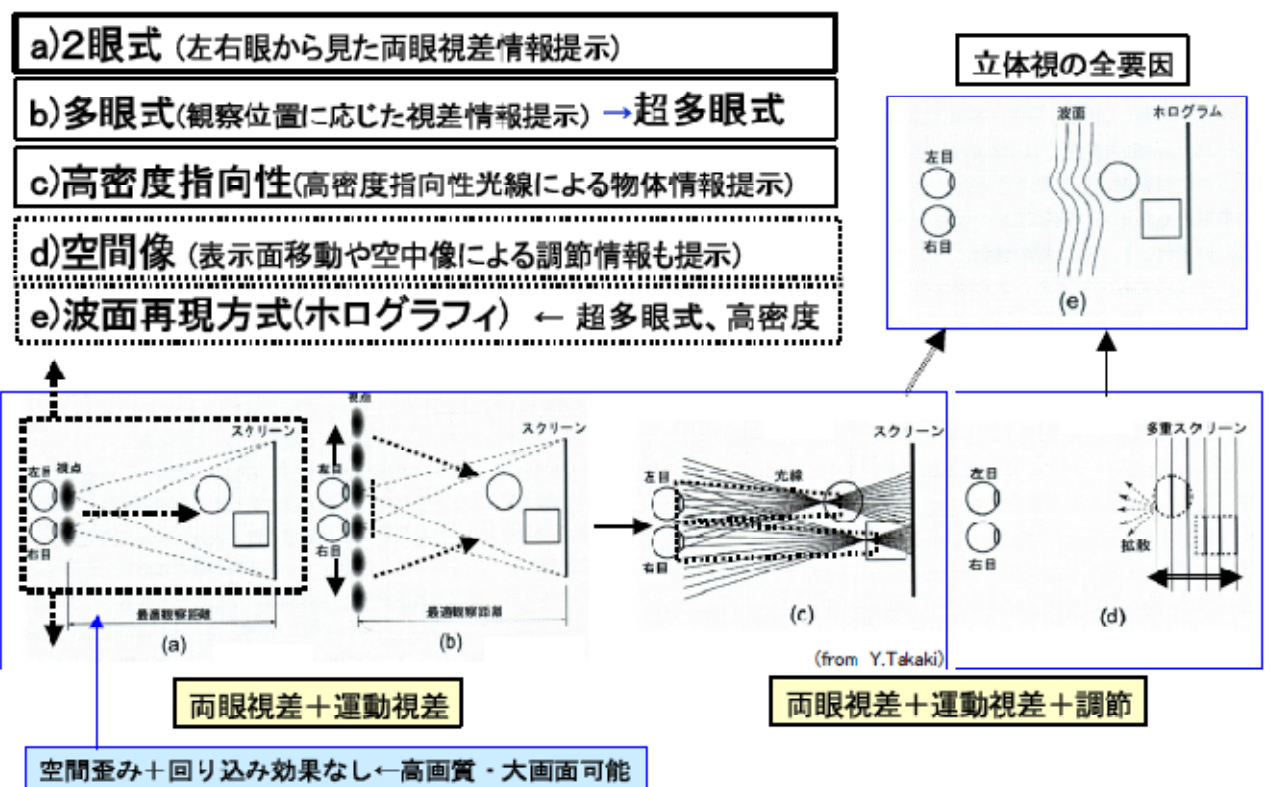


図 2.1-2 空間ディスプレイの各種方式

2.2 視覚特性

2.2.1 立体視機能特性

(1) 立体視機能の定義

立体視機能を獲得する上で基本となる両眼視は右眼の視覚と左眼の視覚が脳の視覚中枢で同時に認識される感覚と定義される^[1]。両眼視機能が正常の場合には左右眼の視覚はそれぞれ個々に同時に認識され、それらの像を感覚的に統合し、両眼融像(両眼単一視)が行われる。両眼融像した結果として得られる高次の両眼視機能が立体視機能である。広義の両眼視は外界の視物を同時に両眼で見ている状態を意味し、必ずしも各眼や相互の関係が正常であるとは規定していない。しかし、正常立体視機能という場合は両眼単一視または両眼融像を意味し、両眼でなければ得られない高度の立体視を含めて意味する。立体視機能を有することは正常な両眼視機能を有するということを意味する。正常者でも常に立体視機能を獲得できるとは限らない。特に左右眼の網膜像差が大きい場合は両眼融像が困難であり、一眼の像が抑制され他眼の像が認識されて、交代視、混乱視、両眼視野闘争などが生じ立体視機能が低下する場合がある。

(2) 発達

正常な新生児は出生時に約 0.02 の視力を有していると考えられるが、両眼視はまだ存在していない。生後、外界の視物が各眼網膜に投影され、正常な視的環境にある乳幼児では鮮明に結像された網膜像が刺激となり、視力が発達すると同時に、調節や輻湊などの発達に伴い、後頭葉視覚領野の両眼視細胞の発達により、生後 3~6 カ月頃から大まかな立体視が獲得されるようになる。その後、視力・調節・輻湊機能の発達に伴い、両眼視機能は 6~8 歳頃までに完成するといわれている(図 2.2-1)^[2]。8 歳頃までの視覚感受期の間に両眼視の発達を妨げる眼疾患が生じた場合は正常立体視獲得を阻害し、特に生後 6 カ月以内に眼科的疾患を発症した場合は正常な立体視を有することは非常に困難となる。両眼視が成立するための必要条件として第 1 に左右差のない良好な視力、第 2 に不等像視左右眼の網膜像の大きさの差が一定の限界(5~7%未満)にあり不等像がないこと、第 3 に斜視がなく、外界の対象物が同時に其々の眼の中心窩に映っていること、第 4 にそれぞれの眼の中心窩と中心窩が同じ空間的局在(正常網膜対応)をもっていること、第 5 に後頭葉視覚中枢において両眼視細胞が存在していること。このような 5 つの条件が満たされていれば正常立体視の発達を阻害されることなく、正常に立体視機能が発達および獲得することができる。立体視は両眼視差像が融像されることによる感覚である。立体視は生後 3 カ月位から 1 歳半位の間には大概発達し、その期間を立体視の感受性期間といわれる^[3]。視覚の感受性期間とは視覚の発達機に視的環境の影響を受ける未熟な期間を意味する。例えばその期間に一眼を眼帯などで一定期間閉じてしまうと閉じられた眼は弱視になり、立体視機能は著しく低下する。ヒトの視覚の感受性は正直後では低いが、生後 3 カ月位から 1 歳半位までが最も強い時期である。それ以後感受性は徐々に減衰していき 8 歳位まで続くと考えられる。感受性期間内に受けた刺激は視覚の発達に影響を与えることが予測される。立体映像を作成する場合には両眼視機能の発達には感受性期間があることを理解し、小児の立体視機能の発達を妨げないような映像であることが望ましい。

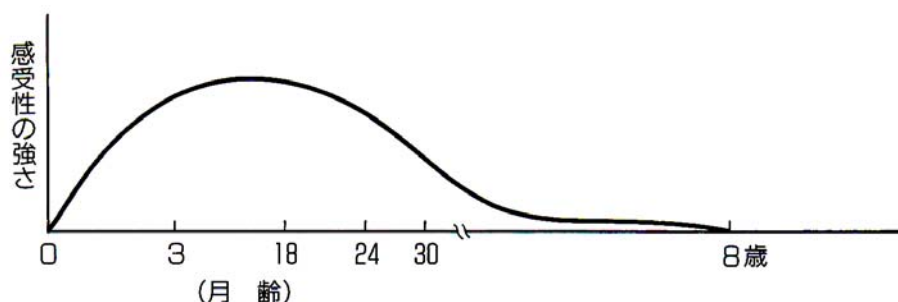


図 2.2-1 ヒトの視覚の感受性期間(栗屋 忍(1994) : 視能矯正学より転載)

(3) 立体視の成立機序

(a) 視覚伝導路

網膜上に光学的に結ばれた像は、電氣的興奮として視細胞から網膜神経節細胞の神経軸索である視神経を通り、視交叉で半交差して外側膝状体で中継されて大脳皮質第一次視覚野に伝えられる(図 2.2-2)。このような経路で伝えられた両眼網膜の対応点からくる像が大脳皮質第一次視覚野の両眼視細胞によって融合されることにより両眼視が成立する。視覚情報科学的側面から考えると立体視には 2 つのある程度独立した処理経路を持つといわれる^[4]。精密な立体視を司る P 系経路は網膜の中心部に分布の多い神経節細胞(X-cell 系)が外側膝状体の P 細胞層に入り、腹側経路として視覚領野に至り、さらに後頭・側頭領に至る。一方、粗い立体視を司る M 経路は網膜の傍中心窩から周辺網膜におおい神経節細胞(Y-cell 系)から外側膝状体の M 細胞層に入り、背側経路として視覚領野に至り、さらに後頭・頭頂領に至る。両経路は網膜から高次中枢に至るまで異なった経路を通るため生後の発達に少しずつがある。しかしながら、いずれも立体視は生後 3 カ月位から 1 歳半位の感受性期間に大概ね発達する。

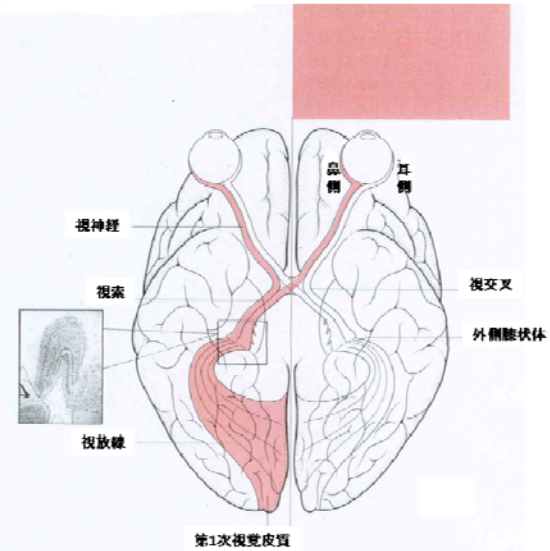


図 2.2-2 視覚伝導路(河内十郎 訳(1995) : 脳のヴィジョンより転載、一部改変)

(b) 網膜の視方向と網膜対応

網膜は視覚伝導路の先端の受容器の集まりであり、中心窩を中心として無数の網膜点が無数の網膜点が二次元に集合して構成されていると考えられる。これらの各網膜点は視物を主観的な視空間に定位するその点特有の局在すなわち視方向を有している。中心窩は物体を常に正面に定位する視方向を有しているため、中心窩に結像された物は常に真正面にあるように自覚される。耳側網膜に結像された物は鼻側に存在すると感覚され、また鼻側網膜に結像された物は耳側に存在すると感覚される。このように外界の視物はそれが存在する客観的物理空間とは無関係に、それが投影された網膜部位のもつ局在によって自覚的視空間に定位される。この主観的にみた物体の方向を視方向という。右眼の中心窩も左眼の中心窩もいずれも真正面という共通の視方向をもっている関係を網膜正常対応と呼び、各眼それぞれに共通の視方向をもっている各眼一对の点を網膜対応点と呼ぶ。すなわち両眼の網膜対応点は重なっており、実際には両眼で見ているが、視覚領野において眼はあたかも一つしかない状態である。斜視が小児期に発症した場合には両眼の中心窩が共通の視方向を有することができなくなることがあり、この状態を網膜対応異常という。

(c) ホロプターと Panum の融像感覚圏 (図 2.2-3)

両眼で一点を固視しているとき、両眼網膜の各一对の対応点を結ぶ軌跡をホロプター(horopter)と呼ぶ。この網膜対応点に結像するような外界の点の軌跡を描くと理論的には固視点を通る円となる。この円を Vieth-Müller circle と呼ぶ。従ってホロプター上にある物体はすべて単一視することができ、ホロプタ

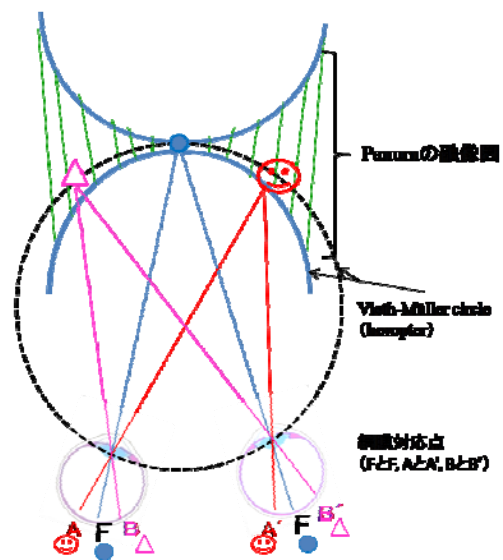


図 2.2-3 ホロプターと Panum の融像感覚圏

一上になく物体は理論的には単一視できず2つに見えることになる。実空間で1つの物体が自覚的視空間において2つに見える状態を複視というが、実際はホロプターの外にあっても近接した一定の範囲内は両眼融像可能な領域がある。この領域を Panum の融像感覚圏と呼ぶ。Panum の融像感覚圏は前後径の幅が中心窩の対応している固視点で一番狭く、周辺にいくにしたがって広がっている。Panum の融像感覚圏での融像は立体視を得るのに役に立っている。

(d) 生理的複視

正常人なら誰でも感じる複視で、両眼で眼前の物体を固視しているとき、その固視点の Panum の融像感覚圏より遠くにあるものは両鼻側網膜に結像されるため同側性複視(右眼の像が右側、左眼の像が左側)となり、逆に固視点の Panum の融像感覚圏より近くにあるものは両耳側網膜に結像されるため交叉性複視(右眼の像が左側、左眼の像が右側)となる。この複視を生理的複視というが、実際にはよほど意識しない限り自覚することはない。

(e) 同時視

同時視は左右の網膜に映った像を同時に重ねてみることができる機能である。実空間においては左右の網膜に異なる像が映ることはないが、両眼分離下においては左右の網膜に異なった映像を投影させることができる。同時視は両眼単一視するための基本的能力と考えられる。

(f) 融像

両眼の一对の対応点に映った像を単一視する機能を両眼融像と呼ぶ。両眼融像は感覚性融像と運動性融像とに大別される。両眼の網膜像を単一視する機能を感覚性融像といい、基本的機能としては同時視と同義である。単一視を維持するために行われる眼球運動を運動性融像という。臨床的には感覚性融像と運動性融像の両者を合わせて測定して融合幅(輻湊側、開散側)として表す。融像域の正常範囲は開散側 4°、輻湊側 20° とされている。正常範囲は個人差が大きく、非常に広い場合もあれば、狭い場合もある。狭くてもある程度の範囲があれば両眼視できる。

中心窩の融像を中心融像、周辺網膜の融像を周辺融像という。小さな物体を固視する場合は中心融像が、大きな物体を固視する場合は周辺融像が機能する。周辺融像の方が広い融像域を呈するが多い。

(g) 両眼視野闘争と抑制

各眼の中心窩に異なる像(異質図形)が同時に投影されると融像はできなく、それぞれの眼に投影された像が現れては消え、そしてまた現れるような素早い交代視や両図形の不規則なモザイク合成図が知覚される。これらの像は網膜上では何も変化せず、物理的に左右眼に投影されているにすぎない。しかし、我々の自覚的には一方の像が現れたり、もう一方の像が現れたりして知覚交代が生じる。このような知覚交代を両眼視野闘争と呼ぶ。一方の像が見えている場合他方の像は見えなくなっている。この視覚刺激の中枢性抑圧を抑制という。

(h) 病的複視

日常空間に存在する一つの物体の各眼の像が一つに融像されずことなつた場所に2つに見える状態を複視という。多くの場合複視は斜視により一眼に抑制が存在していない場合に生じる。斜視の無い正常人では一つの物体をみたとき、その物体は各眼の中心窩に投影され、正常網対応であるので両中心窩は同一の局在を持っているため物体は正面に一つにみられる。しかし斜視のある人では一つの物体が、一

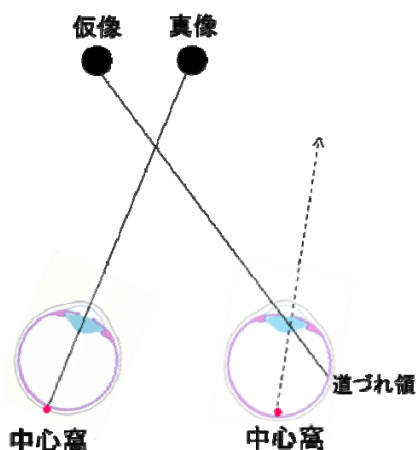


図 2.2-4 外斜視に起因する交叉性複視

眼には中心窩に投影され、他眼には中心窩外(道づれ領)に投影されるので、正面に見える像とは別にもう一つ像がみえる。複視の2つに見える像のうち、固視眼に見える像を真像、斜視眼にみえる像を仮像という。固視眼を遮閉したときに消える像が真像で、斜視眼を遮閉したときに消える像が仮の像である。正常網膜対応を有する場合、仮の像は眼球偏位と反対方向に現れる。一眼が内方に偏位する内斜視の場合は同側性複視、一眼が外方に偏位する外斜視の場合は交叉性複視を生じる(図 2.2-4)。このような複視は通常両眼性であるが、まれに単眼性にも存在し、単眼複視と呼ばれる。単眼複視は両眼視の異常ではなく、水晶体の亜脱臼、屈折異常など主に眼球自体に原因がある場合に起こる。

(i) 輻湊の発達

輻湊は眼前の視物に視線を向け、両眼の網膜像を中心窩に合わせて両眼単一視させる高度な機能である。正常な両眼視機能があれば物体が近くに来た場合に輻湊が生じ、物体が遠ざかると開散が生じる。通常、輻湊運動は、両眼に視差のある視標が投影された場合に誘起され、これを融像性輻湊という。また網膜像のボケが誘因となり調節が誘起され、これによって起こる輻湊を調節性輻湊という。視覚中枢において輻湊系と調節系は相互作用して、眼位(輻湊)および調節がとコントロールされている。融像性輻湊の潜時が約 200ms であるのに対して、調節性輻湊は約 200ms と遅い。両眼視差のある立体映像を注視した場合など、融像性輻湊が先に生じその後調節性輻湊が誘起される。輻湊機能は中心窩が発達した生後 3 カ月位に獲得されるが、調節と連動した形で輻湊できるようになるのは生後 6 カ月位からである。輻湊の緊張性輻湊、調節性輻湊、近接性輻湊、融像性輻湊の 4 つの要素から構成され、日常視においてこれらが総合的に働いて、両眼視ができる状態に両眼の視線をコントロールされている(図 2.2-5)。

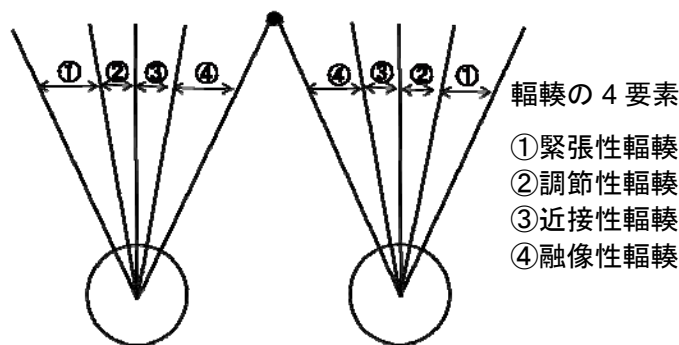


図 2.2-5 輻湊の 4 要素

(j) 斜視と斜位

斜視は眼位の異常である。眼位置の異常は眼位ズレといわれ、両眼の視線が目標に向かって交叉せず、一眼の視線が目標とは別の方向へ向かっている状態である。眼位には安静位、融像除去眼位および日常の両眼視眼位がある。安静位は睡眠中のように緊張から解放されたときの眼位置である。安静位に融像性輻湊を除いた眼位を融像除去眼位という。臨床的には融像除去眼位置をもって眼位を決定する。日常の両眼視眼位から融像性輻湊を除去したときに初めておこる眼位ズレを斜位あるいは潜伏斜視といい、融像では食い止められない顕性の眼位ズレが斜視である。斜視があると両眼視できず、視覚の発達過程にある乳幼児では両眼視異常や弱視を引き起こす。斜位は両眼視の異常や弱視を伴わない。

2.2.2 立体視検査法

(1) 評価項目

立体視は両眼視機能のうち最も高度な機能である。立体視検査には両眼分離することなく日常視に近い実用立体視検査、静的立体視検査および動的立体視検査が含まれる。これらは両眼視差情報を手がかりにして物体の遠近感の有無を定量評価するものである。定量に使われる立体視の単位は両眼視差(左右眼像のずれ)で、 360° を単位とする弧の角度(second of arc)で表す。両眼視差 1 度は 3600 秒(1 度は 60 分, 1 分は 60 秒)として表す。眼科臨床的な立体視検査は立体視知覚能力評価というよりも、斜視や弱視など両眼視異常を発見するためのスクリーニング検査、治療結果の評価にも用いられている。それ故、両眼視差検出能のみを評価しており、眼幅(瞳孔間距離)および融像位置は考慮されていない。一般的に両眼視差 100 秒以下を知覚することができる場合を正常立体視と評価する。眼科臨床的な立体視検査法として大掛りな装置

が必要でなく、様々な種類のもものが市販されている。それぞれの代表的な検査方法について述べる。

(2) 眼科臨床検査法

(a) 実用立体視検査

- ① Two pencil 法：2本の鉛筆をもたせて、その先をくっつけさせる検査であり、極めて簡単に検査を行うことができる。具体的には近見距離で検者のもっている鉛筆の先に、被験者のもっている鉛筆の先を当てさせる。鉛筆でなくとも先であれば何でも可能。低年齢におこなう実用的な立体視検査。鉛筆の先でおこなうのが難しい場合は鉛筆の尻を使うと難易度が下がる。
- ② 輪とおし法：指や針金などで、直径2~3cmの輪をつくり、検者がもった上で、被験者に指や鍵型に曲げた針金を通させる検査である。Two-pencil法に比べ単眼性の手がかかり(Monocular cue)に乏しく、やや難易度が高い。

(b) 静的立体視検査(近見立体視検査)

- ① Titmus stereo tests (STEREO OPTICAL 社):近見立体視検査で最も一般的使用されているものである(図 2.2-6)。偏光眼鏡で両眼分離する。視標は実質図形パターンである。両眼視差：Flyは3000秒、羽根を横から掴ませ、画面より3~5cm浮いていれば立体視(+)。画面を触った場合は(-)であるが、年齢や理解を考慮する。立体視(-)(±)の場合には抑制検査として下方のR・Lの文字が同時に見えるかを聞く(文字の濃さに違いがないか確認する)・検査中は常に眼位を観察する。両眼視差は3000秒から40秒まで用意され、100秒以下を知覚できる場合を立体視機能正常とする。検査距離は40cmで近見立体視検査である。



図 2.2-6 Titmus stereo tests

- ② TNO stereo test (Clement Clarke 社)：視標はランダムドットパターンであり、片眼性の手がかかりが皆無であるため、偽陽性が出にくい立体視検査である(図 2.2-7)。Titmus stereo tests より小さな視差まで評価でき、単眼視差情報も少ないため、より正確に立体視を評価できる。プレート1~3はスクリーニング用。プレート4で抑制検査用。プレート5~7は定量用。扇型の切れ目を持った円の方向を答えさせる。両眼視差は3000秒から40秒まで用意され、120秒以下を知覚できる場合を立体視機能正常とする。赤緑眼鏡で両眼分離する。検査距離は40cmで近見立体視検査である。

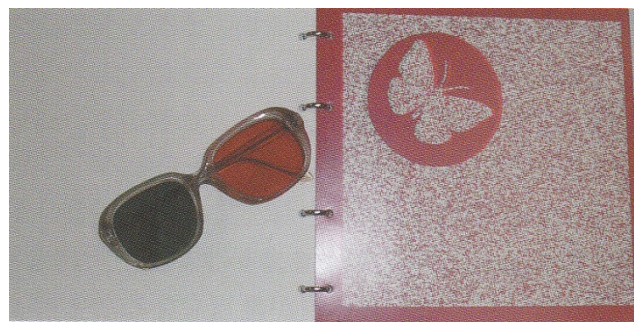


図 2.2-7 TNO stereo test

- ③ Lang stereo test：シート上にかまぼこ型の回折格子が埋め込んであり、眼鏡を掛けずに両眼分離可能である(図 2.2-8)。眼鏡を用いないため、2~3歳の比較的

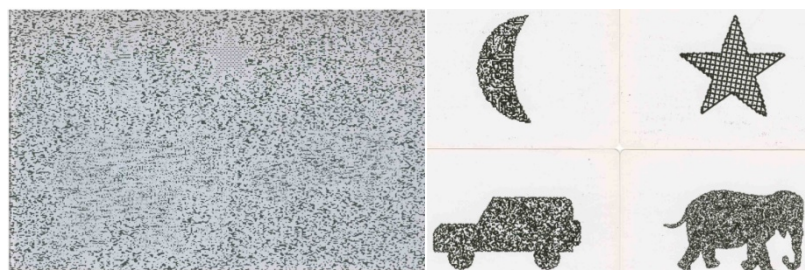


図 2.2-8 Lang stereo test

低年齢からの検査が可能である。図形はランダムドットパターンで両眼視差のついた星、車、三日月、象が隠されている。両眼視差は星・月は 200 秒、車は 400 秒、象は 600 秒である。検査距離は 40cm で近見立体視検査である。視標はランダムドットパターンである。やや定量性にかける。

(c) 動的立体視検査

三杆法：日常両眼視としての遠近感の有無を知る。第二種営業用および大型車の運転免許取得の際に深視力として検査が行われる。2本の棒の間に前後に動く1本の棒があり、横に並んだときに止めさせるという検査で動的な実用立体視検査である。3本が同一平面と答えた点の中心からの距離 20mm 以内のズレであれば両眼視差 20 秒以内で遠近感があり正常と判定する。練習効果があり、また心理的な要素が介入しやすい。

2.2.3 立体映像と生体反応

(1) 調節・輻湊・瞳孔反応の特性

視標の接近に伴い、ピントボケ、両眼視差、像の拡大が生じる。これら視覚情報がトリガーとなり近見反応が生じる。ピントボケは調節反応(毛様体筋の収縮と水晶体の弾性により眼球光学系の屈折力を増加させ、近方の物体を網膜面上に結像させる機能)により補正され、両眼視差は輻湊反応により補正され両眼視を保持される。瞳孔反応(縮瞳)は輻湊・調節に連動して生じ、近方を見るときには縮瞳し、被写体深度を深めボケを減少させる。このように近方視時の調節・輻湊・縮瞳を合わせて近見反応と呼ぶ。近見反応では最初に輻湊反応が生じ、次に調節反応が生じる。縮瞳の発現は調節・輻湊に比べて遅れておこり、縮瞳は焦点深度を深くすることにより、調節努力を少なくして済むように近見反応の補助的な役割を持つ。近見反応における調節反応・輻湊反応・瞳孔反応は個人差が大きく、特に調節と瞳孔においては年齢による影響を強く受ける。加齢にともない水晶体の弾性が減退し調節力が低下する(図 2.2-9)。この低下が著しくなり近方明視が困難になる状態を老視という。調節力は 10~20 代の若年者で大きく 10D 以上、40 代で日常生活に必要な調節力 3D (33cm 明視時)~4D (25cm 明視時)の限界となり、50 以降は裸眼では近方明視が困難となるため老眼鏡などで補正する。

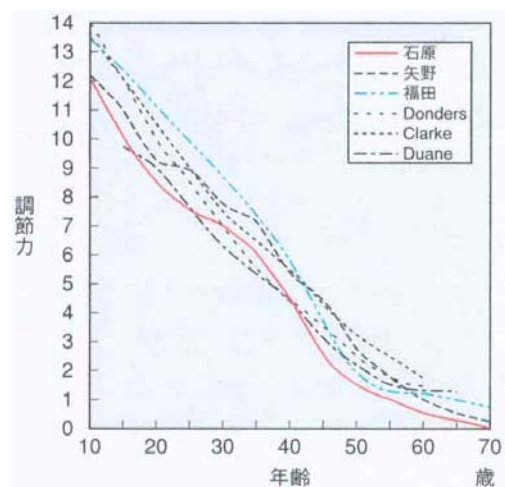


図 2.2-9 年齢調節力曲線(梶田雅義：眼科診療プラクティスより転載(2003))

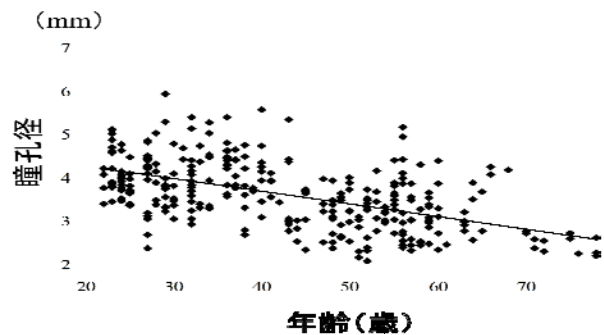


図 2.2-10 瞳孔径と年齢変化(張 冰潔ら 神経眼科 25 より転載(2008))

また瞳孔径は年齢に伴って縮小する(図 2.2-10)。調節力の減退が著しい 40 代以降の年齢では縮瞳することで焦点深度を深めて減退した調節力を補い、近方明視を補助している。瞳孔径が小さい者では 50 代以降も老眼鏡なしで日常生活における近方明視可能な場合もある。瞳孔径は片眼視時よりも両眼視時において小さい。

(2) 立体映像注視時の調節・輻湊・縮瞳

調節と輻湊は近見反応として密な関係の基に生じる。理論的には眼前 1m の注視目標を明視するために 1.0D の調節と 1メートル角の輻湊が生じ、50cm を注視した場合は 2.0D の調節、2メートル角の輻湊が生じることになる。これをグラフに描くと原点を通る 45° の直線(Donders

の輻湊線)となる。しかしながら実際には調節と輻湊が完全に一致しなくともよいある一定の範囲内がある。輻湊を一定にして単一明視できる調節の幅を相対調節、調節を一定にして単一明視できる輻湊の幅を相対輻湊という。相対輻湊、相対調節の範囲を超えると調節反応、輻湊反応が生じる。瞳孔径が小さいと焦点深度による偽調節効果により相対調節の範囲が広くなると推察される。

立体映像注視時の調節は実視標である視標提示面にあり、輻湊は立体再現位置にあると仮定される。この調節—輻湊矛盾が不自然な立体感の知覚ひいては眼疲労の原因となるとされている。現在この調節—輻湊矛盾説が定説であるが、調節が生じているとする報告もある。今後、両眼開放下で調節・輻湊・縮瞳を両目開放下で同時計測可能になればこれらの関係を正確に評価できると思われる。過去に我々は立体映像注視時の調節・輻湊・瞳孔反応を両眼開放下で調節と輻湊・瞳孔を別々に測定した実験結果を示す。

【目的】 立体映像注視時の両眼視差量変化に伴う調節・輻湊・瞳孔反応について検討する。

【対象】 軽度屈折異常以外に器質的疾患を有さない健常青年 15 名を対象とした。平均年齢は 22.5 歳である。対象者全例において両眼視差 100 秒未満の正常立体視を有することを確認した。診断・検査は眼科専門医および視能訓練士が行った。実験に際し、十分なインフォームドコンセントを行い、被験者の了解を得た上で実験を行った。

【実験環境】 立体映像提示装置として開口系 600mm のドーム型立体映像提示装置 “CyberDome” (Panasonic 電工社)を用いた。視距離は眼前 2m に設定し、被験者はスクリーンに対して中央の位置に配置し椅子に着席し、眼の高さがほぼスクリーンの中央になるよう調整した。立体映像注視時の調節(屈折)を両眼開放オートレフRACTメータ(グランド精工社)にて、輻湊運動と瞳孔反応(瞳孔径)を TriIRISC9000 (浜松ホトニクス社)にて各々測定した(図 2.2-11)。

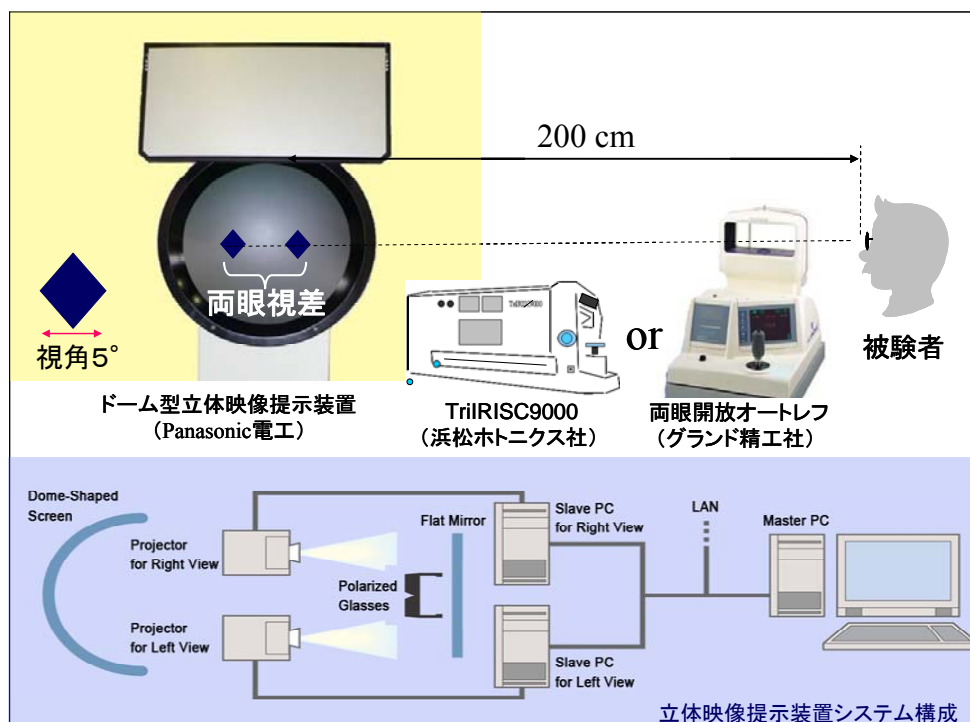


図 2.2-11 実験環境

【実験方法】 立体視標に直径 5° の菱形図形を用い、両眼視差なし(0 秒)から交差性視差 200 秒～3600 秒、その後同側性視差を 200 秒～3600 秒まで連続的に変化させ、各々の両眼視差で調節、輻湊・瞳孔反応を測定した。調節の測定時期は立体視標注視後 5 秒後から連続 5 回測定し、その平均値を調節応答量とした。輻湊運動・瞳孔反応の測定時期は立体視標注視後 5 秒

後から連続 10 秒間測定し、その平均値を輻湊運動量・瞳孔径とした。

【結果】両眼視差(交差性視差) 7200 秒以上において調節応答、輻湊運動、縮瞳が認められた(図 2.2-12、図 2.2-13、図 2.2-14)。調節応答は両眼視差なし(0 秒)の屈折値(右眼) $-0.37 \pm 0.62D$ と比較して両眼視差 36000 秒にて屈折値(右眼) $-2.07 \pm 0.90D$ に増大した($p < 0.05$)。輻湊運動は両眼視差 36000 秒にて $0.83 \pm 0.36mm$ 誘発された($p < 0.05$)。瞳孔径は両眼視差量の増大に伴いほぼ直線的に縮小することが示された。

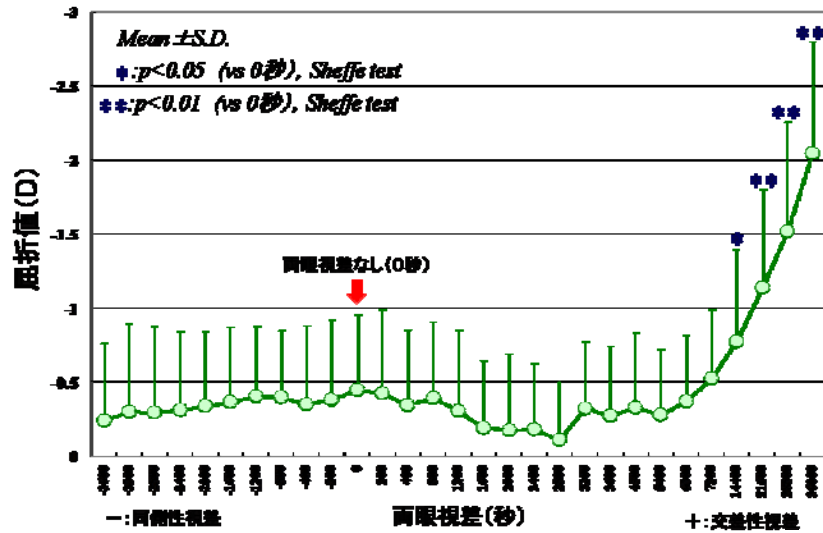


図 2.2-12 両眼視差量変化に伴う調節(屈折)変化

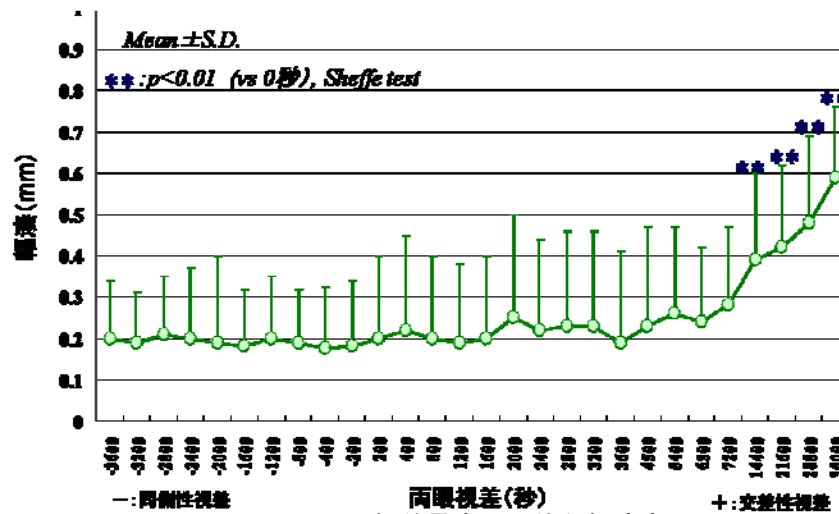


図 2.2-13 両眼視差量変化に伴う輻湊変化

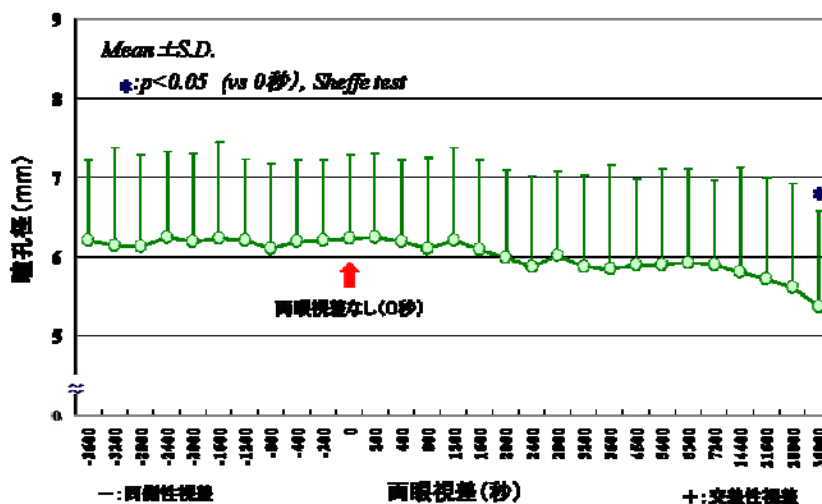


図 2.2-14 両眼視差量変化に伴う瞳孔径変化

【考案】両眼解放下で立体映像注視時の調節・輻湊・瞳孔反応を測定した結果、両眼視差量が一定以上に達した場合に調節、輻湊・縮瞳が生じることが示された。両眼視差 36000 秒(立体映像知覚換算位置 29.3cm(約 30cm))のとき生じた調節応答は $-2.07 \pm 0.90D$ であり、実物を眼前 30cm に提示して注視した場合の反応と大差ない調節応答が認められた。また測定時間は少なくとも 10 秒程度を測定しているため一過性の反応ではない。両眼視差量が少ない場合は相対調節、相対輻湊の範囲内にあるため、調節・輻湊ともに大きな反応は見られない。一方、両眼視差量が多い場合は相対調節、相対輻湊の範囲外となり、調節・輻湊ともに有意な反応が見られた。一般的に実物注視の状態では調節と輻湊は一致するが、両眼視差を利用した立体映像注視時には調節は実視標である視標提示面にあり、輻湊は立体再現位置にある調節-輻湊矛盾が起こるとされる。この調節-輻湊矛盾が視覚系への違和感や眼疲労を引き起こす主要原因の一つとされている。しかし、本検討結果はこの定説に反し、ある一定以上の両眼視差量を提示した場合には調節・輻湊ともに生じることがを示した。また両眼視差量が多い場合は縮瞳が生じ、縮瞳による焦点深度が深くなること(偽調節効果)により調節反応が少なくて済むようになることが示された。畑田^[9]は立体像が表示されると立体像を注視するために両眼輻湊が生じ、同時に調節が一過性に働くが、実物注視時の輻湊・調節とは異なり、調節は表示面に戻ることを示している。この調節の戻りは立体視注視時の縮瞳が関与していると可能性がある。これまで立体映像注視時の観察者の負担として調節・輻湊の関係のみが検討されていたが、これに瞳孔反応を含めた近見反応について検討する必要性がある。また瞳孔反応は個人差や年齢差が非常に大きいことだけでなく、室内の明るさ(暗いと散瞳、明るい縮瞳)や情動などによっても変化するため立体映像の視聴環境についても十分考慮すべきである。

(3) 立体映像注視時の眼疲労に影響する眼科的要因

(a) 斜位

日常の両眼視眼位から融像性輻湊を除去したときに初めておこる眼位ズレを斜位あるいは潜伏斜位と呼ぶ。大多数のヒトは斜位であり、全く眼位ズレのない正位は少数である。斜視と斜位の中間的病態の間欠性斜視という病態もある。融像力(融像性輻湊)は両眼分離が強くなるに伴い減退するため、両眼分離をして立体映像注視する場合には日常視下よりも斜位が強く出現する可能性がある。また加齢に伴う融像力の減少が大角度の斜位を出現される場合もある。斜位は眼精疲労(筋性)の原因としても知られている。斜視は水平方向だけでなく、上下方向にもあり、潜在的に上下斜視を有する場合は両眼分離に上下斜視が出現する。上下方向の斜位は運動性融像による補正は眼球運動の生理として不可能であり、僅か $1 \sim 2^\circ$ の上下ズレでも両眼単一視することが困難である。

(b) 不等像

1 つの物体の像の大きさあるいは形が左右で異なって感じられる場合を不等像視という。不等像視の原因は **Optical Aniseikonia** (左右眼屈折差) と **neural aniseikonia** (屈折以外の原因) の二群に大別される。臨床的には **Optical Aniseikonia** が問題となる場合が多く、左右眼の屈折異常に大きな差があり、それを眼鏡で矯正しようとするすると左右像の大きさに差が生じ、一般に 5%以上となると両眼融像が困難となり立体視の低下が生じ、また融像できたとしても眼精疲労を引き起こすといわれている。被検者が適切な屈折矯正を行っていない場合、不等像視が生じている可能性があり、その場合は立体映像による疲労を引き起こしやすい可能性がある。

2.2.4 まとめ

立体映像は言い方を変えれば立体視覚刺激であり、観察者にとって不適切な視覚刺激であれば好ましくない生体反応が生じる。3D コンテンツとして適切なものであっても、観察者の眼状態が適切に矯正されていなければ違和感のある映像となり易いし、眼疲労も生じ易くなる。立体映像注視による生体反応についてより詳細で客観的な評価が必要である。視覚特性は観察者の年齢や視機能の質によって大きく異なり、映像視聴が原因とされる好ましくない生体影響は若年者に多い。特に視覚の感受性期にある 8 歳頃までの小児においては視聴する映像に注意が必要である。現在、3D 映像は希望すれば誰もが視聴できるが、3D 映像の普及・促進のためには生体への安全性をより確実に担保する必要がある。そのため 3D にコンテンツに応じた年齢制限・視機能制限を設ける必要性も想定され、その 3D 映像視聴のガイドラインを作成する必要性を感じる。

今後、ヒトの心に感動を与える好ましい立体映像の追及と共に、ヒトの生体にとって最適な映像について眼科学・脳科学的な見地から検討する必要がある。

[参考文献]

- [1] 栗屋忍：両眼視の発達とその障害、視能矯正学改訂第 2 版 (丸尾俊夫, 栗屋忍編) 金原出版、pp190-201、1988.
- [2] 河内十郎 訳、Semir Zeki 著：脳のビジョン、医学書院、1995.
- [3] 不二門尚：両眼視機能の発達と検査、小児眼科・診療の最前線 (山本節編)、金原出版、pp37-41、2003.
- [4] Hubel DH, Livingstone MS: Segregation of form, color and stereopsis in primate area 18. J Neurosci 7:pp3378-3415,1987.
- [5] 岡真由美：立体視検査、眼科検査法ハンドブック第 4 版、医学書院、pp113-116、2005.
- [6] 梶田雅義：眼科診療プラクティス 95、文光堂、pp74、2003.
- [7] 張冰潔ら：日常視時における瞳孔径の年齢変化、神経眼科 25(2) : pp266-269, 2008.
- [8] 半田知也ら：立体映像注視時の調節・輻輳・瞳孔反応の検討、日本眼科学会雑誌 112 : pp237、2008
- [9] 畑田豊彦：立体視機能と空間認識、立体映像技術—空間表現メディアの最新動向—(本田捷夫 監修) シーエムシー出版、pp281-297、2008.

(委員： 半田 知也)

2.3 撮影・観察条件 内容：ひずみの要因と対応

2 眼式、または、ステレオ立体映像システムでは、左右の眼に相当する 2 台のカメラで撮影を行い、2 台のディスプレイまたは 1 台のディスプレイに何らかの切り替え装置や光路制御を加えることによって、それらを観る人の左右の眼に左右像をそれぞれ提示することで、観る人に立体的な映像を知覚させることができる映像システムである。

ステレオ立体映像システムによって、臨場感あふれた迫力ある映像を、大勢の人々が一緒に楽しむことが可能となる。しかし、ステレオ立体映像システムを楽しむ一方で、「不自然だ」、「見づらい」、「眼が疲れる」といった感想が観ている人から聞かれることがある。

そこで、これら 3 つの課題とその要因を整理し、それらの要因と対応を、実験結果をもとに紹介する。

2.3.1 ステレオ立体映像システムによって再現された 3 次元空間の不自然さ

撮影された空間とステレオ立体映像システムによって再現された立体空間は合同、または相似であるべきだが、再現空間が変形し、撮影空間にひずみが加わった空間が再現されることがある。再現空間のひずみの度合いは、撮影時の撮像条件だけでなく、ステレオ立体映像システムを観る時の観視条件によって変化することがわかっている。撮像条件とは、カメラの間隔、レンズの画角、光軸の交点の位置などである。また、観視条件とは、視聴時の画面サイズ、視距離、映像を観る人の瞳孔間距離などである。

(1) ステレオ立体映像システムの撮像方法として基本となる「平行法」撮像

撮影空間と再現空間を合同、または相似に保つためには、「平行法」で撮像を行えばよい。「平行法」撮像では、2 台のカメラを平行に設置して撮影を行う。この時、2 台のカメラの光軸の交点の位置は無窮遠となる。この方法で撮像されたステレオ立体映像は、観視条件によらず、撮影空間と再現空間は相似形を保つ。この時、後で述べるような、再現空間が非線形に変形すること、例えば、手前の再現空間は奥行きが圧縮されるが、同時に、奥の再現空間は奥行きが強調されるような変形が生じることはないため、結果として立体映像を観る人が奥行きなどに不自然さを感じる

ことはないと考えられる。即ち、撮影空間と再現空間が相似形を保つ「平行法」撮像による立体空間再現は、ステレオ立体映像システムの撮像方法として基本となるものである。

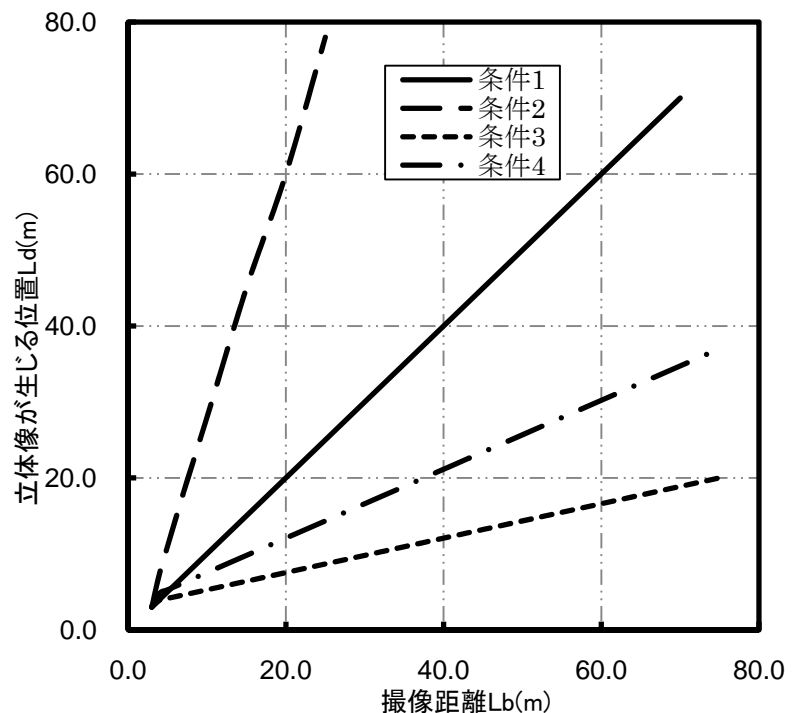


図 2.3-1 「平行法」撮像による立体空間再現

図 2.3-1 にいくつかの撮像、観視条件による立体空間再現の例を挙げる。横軸は撮像距離、縦軸は再現空間中で立体像の生じる位置を示している。各条件の撮像条件は以下の通りである。

- 条件 1. 「平行法」カメラ間隔 65mm、撮像画角 33.4 度
- 条件 2. 「平行法」カメラ間隔 30mm、撮像画角 43.6 度
- 条件 3. 「平行法」カメラ間隔 90mm、撮像画角 13.7 度

条件 4. 「平行法」カメラ間隔 130mm、撮像画角 33.4 度

また、観視条件は以下の通りである。これらは以降の各条件においても共通である。

共通観視条件. 観視画角 33.4 度、眼間距離 65mm、

これらより、撮像、観視条件の変化に伴って、撮影空間と再現空間が相似形に変化する様子がわかる。

(2) ステレオ立体映像番組の演出上行われる「交差法」撮像

一方、ステレオ立体映像番組の演出上、撮影空間と再現空間の相似形を放棄して立体効果を得たい場合がある。そのような場合、「平行法」ではなく、「交差法」撮像によって再現空間を演出することが可能である。しかし、再現空間のひずみの度合いを統制する必要がある。この統制が不十分であると、再現空間が非線形に変形し、結果として観る人が奥行きなどに不自然さを感じる立体映像となる。以下では、撮影空間と再現空間が相似形でない場合の、ステレオ立体映像特有の再現空間のひずみについて例を挙げて解説する。

図 2.3-2 図 2.3-2 に「交差法」撮像による立体空間再現の例を挙げる。各条件の撮像条件は以下の通りである。

条件 5. 「交差法」カメラ間隔 65mm、撮像画角 33.4 度、カメラ幅湊距離 4.5m、

条件 6. 「交差法」カメラ間隔 65mm、撮像画角 43.6 度、カメラ幅湊距離 4.0m、

条件 7. 「交差法」カメラ間隔 32.5mm、撮像画角 43.6 度、カメラ幅湊距離 1.8m、

条件 5 では撮影空間と再現空間は相似に保たれている。この例のように「交差法」撮像にお

いても撮像、観視条件が一定の条件を満たせば再現空間は相似に保たれ、必ずしも非線形に変形するわけではないことを示している。これに対して、条件 6、7 では横軸の撮像距離と縦軸の再現空間中で立体像の生じる位置の間に上に凸の関係がある。すなわち、条件 6 では再現空間の奥行きは全体的に圧縮され、その程度は距離が長いほど甚だしい。また、条件 6 では、手前の再現空間は奥行きが強調されるが、同時に、約 45m より奥の再現空間は奥行きが圧縮されるような非線形な変形、ひずみが生じる。このような非線形な変形の程度が甚だしい場合、観ている人が再現空間中の被写体に厚みを感じられないといった違和感を持つ場合がある。これは、書き割り効

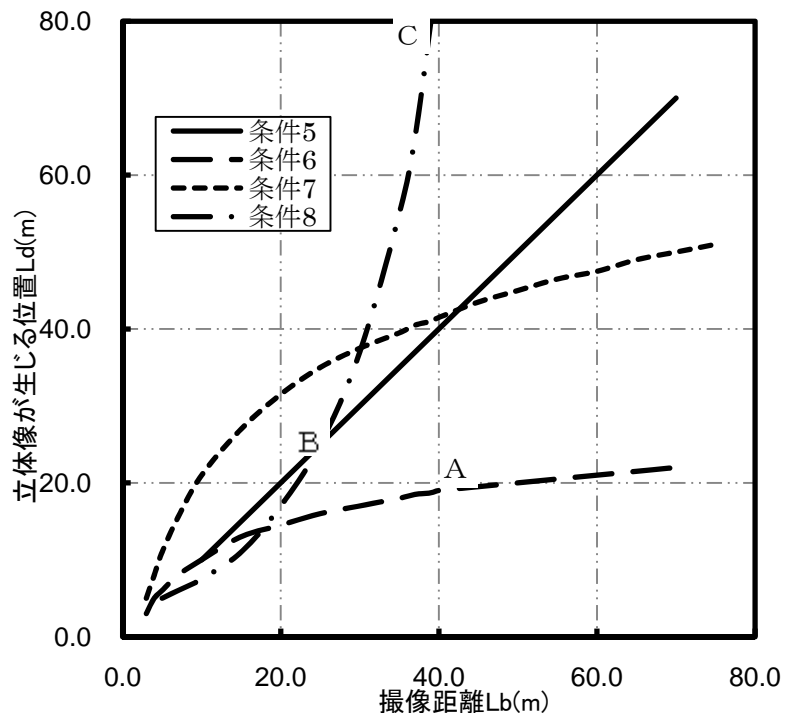


図 2.3-2 「交差法」撮像による立体空間再現

果と呼ばれ、上記のような非線形な変形を伴う再現空間において、奥にある被写体の奥行きが極端に圧縮されていることが原因と考えられる。例えば、条件 6 の撮像、表示条件において、図 2.3-2 A で示した点よりも右側、撮像距離 40m より遠い被写体がこれにあたり、奥行きは数十分の一に圧縮され、再現された被写体に厚みを感じられない違和感を生じる。

以上のことは、見方を変えると、非線形な変形を伴う撮像、観視条件においても、被写体の奥行き位置の分布を制限することで、再現空間の不自然さを避けることができることを示唆する。即ち、条件 6 は屋内の風景のように奥行きが数 m までに限られているような条件、図 2.3-2 B で示した点よりも左下側では、この撮像、表示条件の採用が可能であると考えられる。また、条件 7 でも、広範囲な奥行き位置の分布を持つ被写体群を避け、ある狭い区間の奥行き

位置のみを撮像するのであれば、ある程度の奥行き強調、圧縮は生じるものの、この撮像、表示条件の採用が可能であると考えられる。

これに対して、同じ「交差法」撮像による立体空間再現でも、図 2.3-2 の条件 8 では横軸の撮像距離と縦軸の再現空間中で立体像の生じる位置の間に下に凸の関係がある。条件 8 の撮像条件は以下の通りである。

条件 8. 「交差法」カメラ間隔 130mm、撮像画角 43.6 度、カメラ幅湊距離 6.1m、すなわち、手前の再現空間は奥行きが圧縮されるが、同時に、奥の再現空間は奥行きが強調されるような非線形な変形、ひずみが生じる。このような非線形な変形の程度が甚だしい場合、観ている人が再現空間中の被写体を小さく感じるといった違和感を持つ場合がある。これは、箱庭効果と呼ばれ、上記のような非線形な変形を伴う再現空間において、奥にある被写体と手前にある被写体との間の間隔が強調されて広がっているにも関わらず、それらの網膜像の大きさは強調された奥行きに対応して変化することがないため、距離の感覚と大きさの感覚に不一致が生じ、奥にある被写体に比較して手前にある被写体を小さく感じる事が原因と考えられる。例えば、条件 8 の撮像、表示条件において、図 2.3-2 Bで示した撮像距離 20m の被写体と、図 2.3-2 Cで示した撮像距離 40m の被写体間の距離は 20m である。この時、再現空間においては図 2.3-2 Bで示した被写体は 20m の位置に再現され、図 2.3-2 Cで示した被写体は 80m の位置に再現されるので、再現空間での両者間の距離は 60m に強調される。それにも関わらず、網膜像の大きさは奥行き位置 20m と 40m に相当する大きさのままである。従って、距離の感覚と大きさの感覚に不一致を生じ、奥にある被写体を基準とすると、再現された手前にある被写体の大きさを小さく感じる違和感の原因となる。このような場合でも、上に述べたように、被写体の奥行き位置の分布を制限すれば、再現空間の不自然さを避けることができる可能性があることは同様である。

以上、述べたように、ステレオ立体映像番組の演出上、撮影空間と再現空間の相似形を放棄して「交差法」撮像によって立体効果を得たい場合、非線形な変形、ひずみを伴う不自然な再現空間となりやすい。これを避けるためには、再現空間のひずみの度合い、被写体の奥行き分布を慎重に統制する必要がある。像条件、観視条件による再現空間の幾何学的な解析についての詳細は参考文献^[1]を参照されたい。

2.3.2 ステレオ立体映像システムによって提示された立体映像の見づらさ

ここでは立体映像の見づらさの要因として、機器の特性による左右映像の差、視差の分布範囲、視差の時間変化の3点に着目する。

(1) 左右映像の差

ステレオ立体映像システムでは、機器の特性差や撮像時のカメラ設置のずれ、レンズの設定の差などにより、左右映像のサイズに差が生じたり、左右映像が垂直方向にずれることがある。このようなずれが生じると、左右映像は融像しにくくなるため、立体映像が見づらくなると考えられる。

(2) サイズの差

ステレオ立体映像撮像時には左右眼用の2台のカメラを用いることが一般的であるため、例えばズームレンズの焦点距離に左右差があると、撮像した画像にはサイズの差が生じる。また、2台のプロジェクタによるステレオ立体映像観視時には、同様にプロジェクタのズームレンズの焦点距離の左右差により、投射された画像にサイズの差が生じる。このような左右眼でのサイズの差は、1.2%以上になると違和感を感じる事が明らかとなっている^[2]。

(3) 左右映像の垂直方向のずれ

ステレオ立体映像撮像時のカメラの設置ずれや、映像投影時のプロジェクタの設置ずれによる左右映像の垂直方向のずれが生じる場合がある。左右映像が垂直方向にずれると垂直視差が生じ、このズレが0.7%以上になると見づらい映像となることが明らかとなっている^[2]。

(4) クロストーク

ステレオ立体映像表示装置や用いる眼鏡などによっては、左右の映像が反対側に漏れて見えてしまう、クロストークが生じ、見づらい立体映像となることがある。クロストークの見え方は映像の内容にも関係し、コントラストが強い部分では目立ちやすいが、通常の映像では、クロストークが1%~2%以下であればほとんど見えなくなる^[3]。

(5) 視差の分布範囲と立体映像の見やすさ

視差の分布範囲とは、一番手前の立体像と両眼のなす角 α 、一番奥の立体像と両眼のなす角 β との差、 $\alpha - \beta$ のことを指し、一般には視差 parallax と呼ばれる。視差の分布範囲が狭いほうが、左右の映像が融像しやすく、見やすい立体映像となることが明らかとなっている^[4]。視差の分布範囲が約 60 分以下の立体映像は見やすく、この見やすい視差の分布範囲内であれば、視差の分布範囲が広いほど臨場感が増すことも明らかとなっている^[5]。

(6) 視差の時間変化と立体映像の見やすさ

一般に、ステレオ立体映像では被写体の奥行きの変化に伴って、視差が時間変化する。このような視差時間変化は一般には連続的であるが、実際の番組では、カットの切り替えの際に見ている映像の視差が大きく急激に変化することがある。例えば、観ている人から 1.1m の距離に再現される被写体 1 が映っている画像 1 と、9m の距離に再現される被写体 2 が映っている画像 2 があり、画像 1、画像 2 を単独で観ている場合には特に見づらいということはないような場合を想定する。しかし、画像 1、画像 2 を連続して提示したときには、カットの切り替えによる被写体の奥行きは急激にかつ不連続に変化する。このとき、観ている人の輻湊点は被写体 1 から被写体 2 へ急激に移動しなければならず、左右映像は融像しにくく、見づらくなることがある。このような視差の不連続な時間変化を 60 分以下に押さえることで、見やすい立体映像を提示することが可能である^[6]。

以上、機器の特性による左右映像の差、広い視差の分布範囲、視差の急激な不連続時間変化は、立体映像の見づらさの大きな要因になる。従って、これらの要因を一定の範囲内に抑えることにより、見やすい立体映像を作ることが可能である。

[参考文献]

- [1] H. Yamanoue, M. Okui, F. Okano: "Geometrical Analysis of Puppet-Theater and Cardboard Effects in Stereoscopic HDTV Images", IEEE Trans. ON Circuits & Syst., 16(6), pp. 744-452 (2006)
- [2] 山之上他: "立体ハイビジョン撮像における左右画像間の幾何学的ひずみの検知眼・許容限の検討", 信学誌, J80-D-II, 9, pp.2522-2531 (1997)
- [3] A. Hanazato, Y. Yamanoue, M. Okui, I. Yuyama: "Evaluation of Cross Talk in Stereoscopic Display", 3D conference, 10-3 (1999)
- [4] Y. Nojiri, H. Yamanoue, A. Hanazato, F. Okano: "Parallax measurement and its application to the analysis of visual comfort for stereoscopic HDTV", Proc. SPIE, 5006, pp.195-205 (2003)
- [5] 山之上、野尻、花里、井出、岡野: "立体ハイビジョン画像の「見易さ」と視差分布", 映像情報メディア学会技術報告 26(51), HIR2002-110, 2002, pp.31-35
- [6] 花里、山之上、野尻、岡野: "2 眼立体画像における視差の不連続な時間変化による見づらさの評価", 映像情報メディア学会技術報告 Vol. 27, No. 23, pp. 37-40 HIR2003-94 (Mar. 2003)

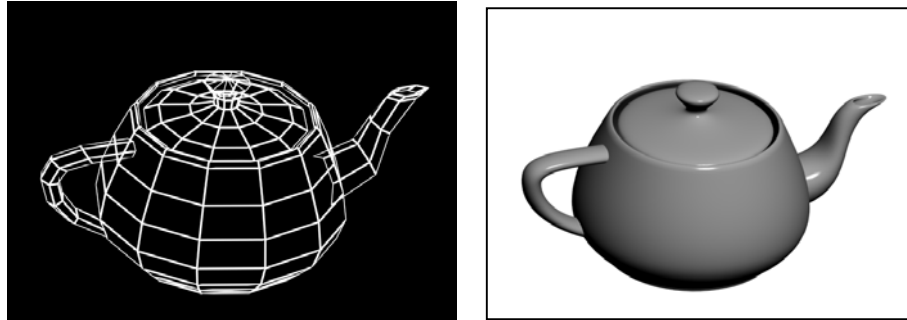
(委員： 江本 正喜)

2.4 立体 CG

2.4.1 CG を用いた映像の生成

映像コンテンツの制作手段としての CG の利用が大きく拡大している。例えば、映画においては、SFX などの部分的な CG 利用が多くの実写作品で行われており、フル CG によるアニメーション作品も増えている。

CG を用いて映像を生成する際の重要な過程の一つは、頂点座標や各種の属性などからなる 3 次元の幾何学モデルから画像データを生成するレンダリングである。



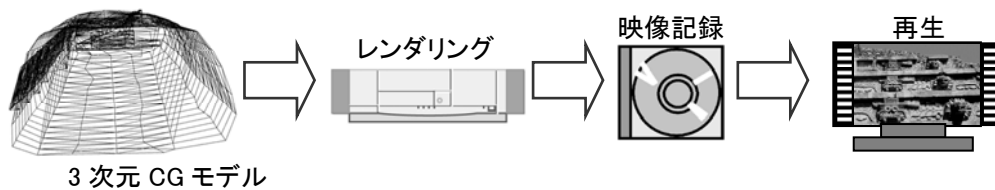
(図 2.4-1)

図 2.4-1 レンダリング

3 次元モデルやテク

スチャ画像の精細度を高め、さらに、材質、反射・屈折、照明効果などを反映するための複雑な物理モデルを導入し、多くの情報を用いて画像を生成することで、写実性の高いリアルな映像が得られる。半面、レンダリング処理の負荷が増大し、画像生成に時間を要するようになる。

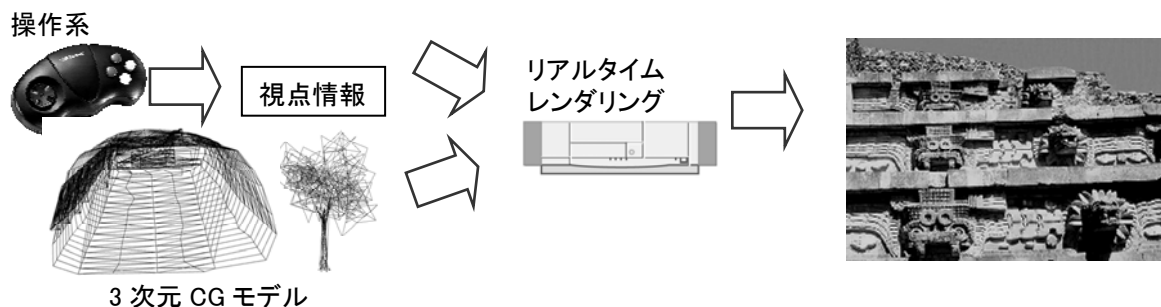
そのため、映画や商業フィルムなどの写実性や画質を重視した用途では、予めレンダリング処理を行った結果を映像として記録し、再生・上映する方式(プレレンダリング)が用いられる。(図 2.4-2)



3次元CGモデル

図 2.4-2 プレレンダリング

これに対して、バーチャルリアリティやゲームなどの用途では、予め固定的に記録された映像を再生するのではなく、利用者の操作や状況の変化などに合わせてシーンを柔軟に変化させることが求められる。このようなインタラクティブ性が要求される用途では、映像の再生時に、利用者の操作内容に合わせて実時間でレンダリング処理を行う方式(リアルタイムレンダリング図 2.4-3)が用いられる。



3次元CGモデル

図 2.4-3 リアルタイムレンダリング

2.4.2 CGによる視差映像の生成

現在、3D 映画や放送で広く用いられている立体映像方式は2眼式である。2眼式立体映像の基本原理は、左眼用と右眼用の2台のカメラを用いて同時に撮影を行い視差画像を得るもので、CGでも同様の原理が用いられる。(図 2.4-4)

2台のカメラは人の両眼と同様に水平方向に距離を置いて設置するが、この際、2台のカメラの間隔や角度によって、距離感や立体感が大きく変化する。例えば、カメラ間隔を広げると立体感(近景と遠景との距離感の差)が強調され、カメラ間隔を狭めれば立体感は減少する。また、カメラを内側に向けると対象は遠くに知覚され、外側に向けると近くに知覚されるようになる。(図 2.4-5)

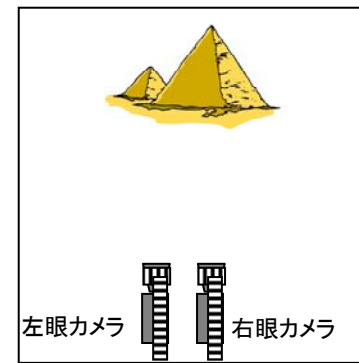


図 2.4-4 2眼式立体映像の撮影

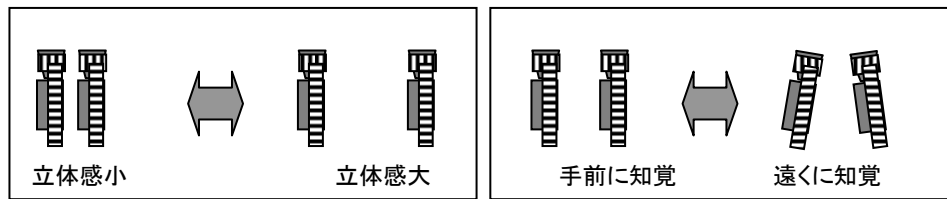


図 2.4-5 カメラの配置

また、これらの操作は、視聴者の疲労感、箱庭効果や書き割り効果といった好ましくない効果とも強く関係するため、適切なカメラパラメータの決定が品質の高い立体映像を制作する上で非常に重要である。また、両眼視差による遠近感、使用する画面の大きさにも大きく影響されるため、視聴者の環境を考慮する必要もある。

実写映像の場合には、カメラパラメータが撮影時に決定されるため、後処理の過程で問題が発見された場合に可能な対応が非常に限定される。複数カメラの画像から視点位置を任意の位置に修正する方法、距離情報が取得可能なカメラを用いる方法などの研究開発も進められているが、画質など多くの課題が残されている。

3次元モデルからレンダリングを行って映像を生成する際には、3次元モデルを含む仮想3次元空間に仮想カメラ(視点)を置いて遠近法による透視投影(図 2.4-6)を行い、仮想カメラから観察される視野を再現する方法が一般的である。

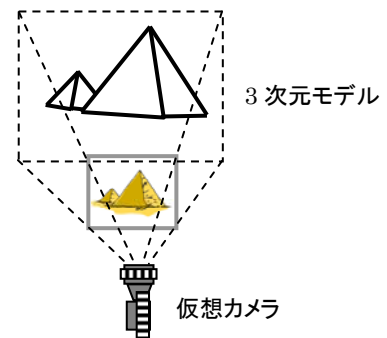


図 2.4-6 透視投影

この際に、実写での立体撮影と同様に、左眼用と右眼用の2つの仮想カメラを配置し、それぞれレンダリングを行うことで、両眼に対応した視差画像を得ることができる。(図 2.4-7)

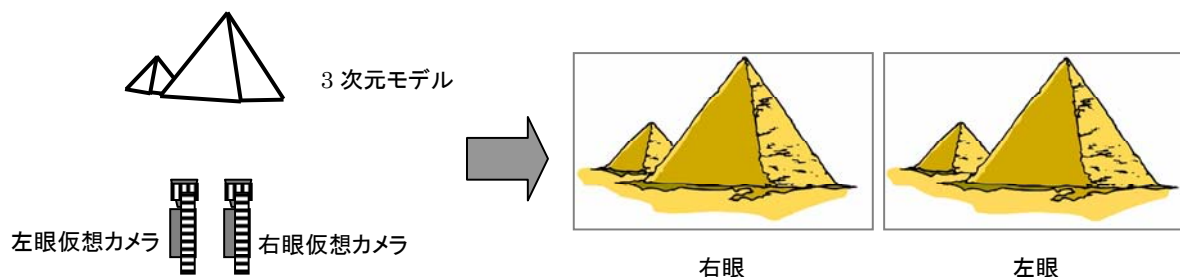


図 2.4-7 立体CG映像のレンダリング

ここで、実写と大きく異なる点は、前述のカメラ間隔や角度などのカメラパラメータを大きく変更する場合にも、機械的なレンダリング処理のみで新たな結果が得られることである。

また、立体視を想定せずに制作された CG シーンであっても、立体視用に改めてレンダリングを行うことで、品質を損なうことなく立体映像を得ることができる。

同様に、多眼式立体ディスプレイに必要な多視点映像を生成するには、図 2.4-8 に示すように視点数分の仮想カメラを配置してレンダリングを行えばよい。

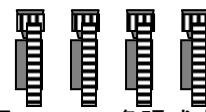
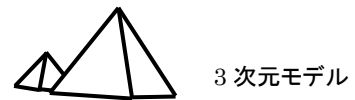


図 2.4-8 多眼式立体映像の生成

2.4.3 視差映像の表示手順

OpenGLX などのグラフィックインタフェースを用いて、マイクロポール方式の 3DLDC に立体映像を表示する場合の例について簡単に述べる。マイクロポール方式の 3DLDC は、図 2.4-9 に示すように、奇数ラスタと偶数ラスタそれぞれに直行する偏光フィルタが装着されており、偏光眼鏡を通して観察することで、図の例では奇数ラスタは左眼、偶数ラスタは右眼でのみ観察できることになる。

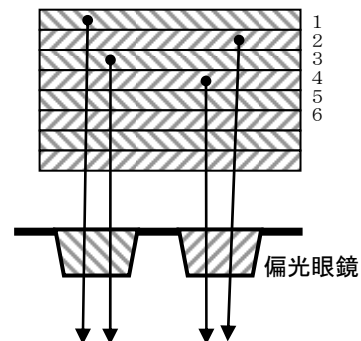


図 2.4-9 マイクロポール方式 3DLCD

市販されている同方式の 3D ディスプレイでは、映像生成や伝送時の利便性のために、左右眼の映像を上下や左右に分割して入力し、ディスプレイ内部で奇数ラスタと偶数ラスタに分割して表示するなどの機能を備えたものが多い。

例えば、図 2.4-10 のように、映像信号を左右分割(Side-by-Side)で生成するには、ビューポートを左右に切替え、仮想カメラを水平方向 (X 軸方向) にシフトして、同じ 3 次元モデルに基づいたレンダリング処理を 2 回繰り返すことで視差映像が得られる。(図 2.4-11)

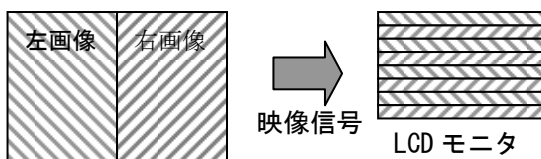


図 2.4-10 左右分割(Side-by-Side)方式の信号入力

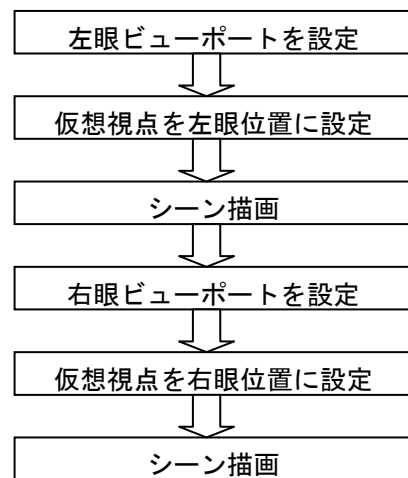


図 2.4-11 描画手順

シフト量を変化させることで、視差量が変化し、奥行き感を調節できる。

また、前項でも述べたように左右の仮想カメラの角度(輻輳角)も立体映像の視覚効果や見易さに大きく影響する。例えば、前述の例のように、視点を水平シフトするのみで映像を生成すると、透視投影の結果、無限遠のオブジェクトに関して表示面での視差量が 0 となってディスプレイ面と等距離に知覚され、有限距離にあるオブジェクトは全て手前に飛び出して見える結果となる。(図 2.4-12)

ここで、仮想カメラに角度を与え、例えば、図 2.4-13 に示すように、双方のカメラの光軸がオブジェクト A が

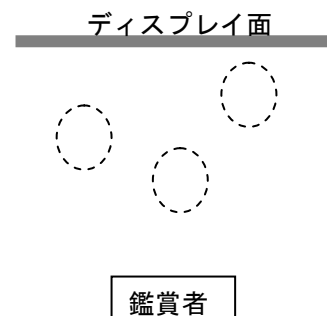


図 2.4-12 仮想カメラが並行の場合

存在する平面上で交差するよう設定すると、オブジェクト A は視差 0 で描画され、ディスプレイ面と等距離に知覚されることになる。

結果として、このオブジェクト A については、輻輳調節矛盾が生じないため、飛び出しなどの強い効果は無いものの、見易い立体映像が得られることが期待される。

図 2.4-11 に示した手順に、図 2.4-14 に示すようにカメラの回転(左右眼で逆方向)を加えることで、この輻輳角の調整を行うことができる。

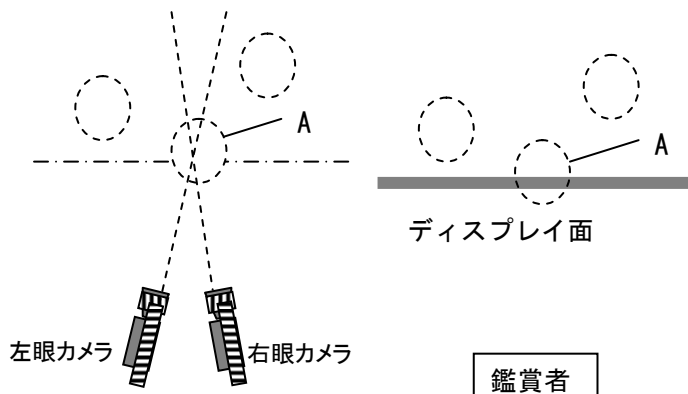


図 2.4-13 仮想カメラに角度を与えた場合

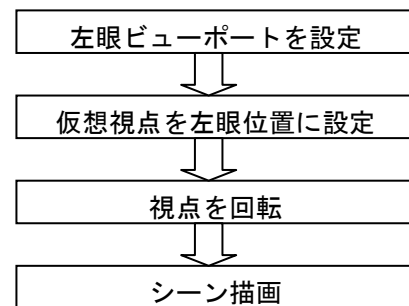


図 2.4-14 仮想カメラの回転

2.4.4 リアルタイムレンダリングを用いた立体映像シミュレーション

これまでに述べたように、立体映像制作に CG を用いることで、視差量や輻輳距離など、実写では困難なカメラパラメータの調整を容易に行うことができる。特にリアルタイムレンダリングを使用した場合、パラメータ操作の結果を即座に確認することができるため、最適なパラメータを決定するための有用なツールを提供できる可能性がある。

図 2.4-15 は、この目的で試作された立体映像シミュレータの操作パネルである。ここで設定された条件に基づいてリアルタイムで生成された立体映像を、立体 LCD、HMD、プロジェクタなどの各種の表示デバイスに表示することができる。

カメラ間隔や輻輳角に加えて、画角、表示サイズ、アニメーションなどの効果も検 可能であり、仮想カメラ、輻輳点、シーン内のオブジェクトなどの位置関係をマップ上で図式的に確認することができる。

また、パラメータの異なる多数の映像を制作コストを掛けることなく容易に提示できるため、主観評価実験などに用いる映像バリエーションを生成するための方法としても有効に活用できると期待される。

2.4.5 まとめ

CG を用いた立体映像制作には、カメラパラメータの柔軟な変更、多様な立体映像表示方式への対応、過去の CG コンテンツの活用など、多くのメリットがあり、CG は立体映像の普及には欠かすことのできない技術であるといえる。

また、画面サイズなどの利用者環境によって最適な視差量が大きく異なるといった問題が指されているが、リアルタイムレンダリングを用いたシステムでは、映像視聴時点で動的にカメラパラメータを変更することが容易に可能であるため、表示デバイスの方式や画面の大きさ、視距離など、環境に合わせた最適な立体映像を提供する手段としても活用できる可能性がある。

凸版印刷(株)： 小黒 久史

2.5 3D 体映像実写の課題

2.5.1 ハリウッドから大きな波がやってきた

アメリカの 3D 超大作映画「アバター」が世界のスクリーンを席卷している。興行収入はすでに 1700 億円を超え、さらに快進撃を続けていくだろうと予想される。 オールデングローブ を 9 部門で総なめにしアカデミー でも期待されたが、 しくも 3 部門での受 に まったがそのいずれもが映画技術に関する撮影、視覚効果、美術の主要 3 部門であり 3D 映画としての最大評価を得たことになる。米国ではすでにスクリーン数は 5000 を超え日本でも一気に 300 を超えたとのことである。3 月には東京都区内では実に 3D 作品が 7 作品同時に公開されており、まさに 3D 映画の時代の到来を予兆させる事態となっている。マスコミでも「3D 元年」ともてはやされ 題となっている。3D 映画が に作られ、続々と公開されるようになったきっかけは、デジタル技術の進化による撮影から編集、上映までの作業工程を一貫して行う 3D 立体製作環境のシステムが整備されてきたことによるのは間違いがないことである。本報告では現在日本で使われている 3D 実写の撮影システムとひとりの 3D スーパーバイザーの意見を紹介することにする。

2.5.2 3D 実写システム

(1) SONY PCL ハーフミラーリグ

1985 年 波で開催された「波」で 3D 業務をスタートした株式会社 SONY PCL は、以後各地の 覧会や、 公、イベント向けの 3D 映像の撮影から編集までを一貫して受注製作できる企業として、日本の 3D 映像をけん引してきた会社である。

年度より SONY PCL は、それまでの ウハウを活かして、独自に 3D 撮影システムを新たに自社で設計開発をし、現在 6 セットを保持している。

SONY カメラの HKC-T950 の CCD ブロックを本体から切り離し、独自に製作したリグのミラー後方に 1 台を固定している。もう 1 台はミラー上方向に取り付けることにより、左と右の映像をそれぞれのカメラで撮影することができるようにした。通常カメラは撮影時には被写体方向に対して正対させるのだが、この場合上部カメラは逆向きに取り付けられている。上部カメラが撮像する映像とミラー後方カメラが撮影する映像を単 に左右反転するだけに めて、特注したラインメモリーで左右反転をして左右同相で信号が出るように工夫されている。

HKC-T950 で撮像したそれぞれの左眼映像と右眼映像の二重映像を SONY HDVF-C750W ディスプレイ上

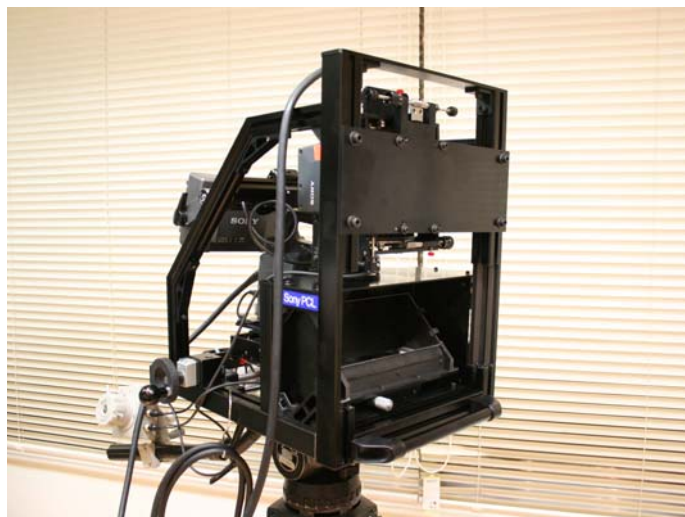


図 2.5-1 SONY PCL 式 ハーフミラーリグ



図 2.5-2 収録機はカメラヘッドと分離している

に出してモニタリングする。別にマスターモニターとして 国ヒュンダイ製 3D モニターを用意し、偏向眼鏡で立体映像を見ることができる。これまでのノウハウを注ぎ込んでシステムを完成したが、まだまだ 台その他の周辺の機材についてもバージョンアップしていく予定とのことである。自社製ハーフミラーリグ 6 台とドイツの PS テクニクス社製ハーフミラーリグ 1 台の計 7 台で製作体制を整えている。

(2) P+S テクニクス ユニバーサル ハーフミラーリグ

西 産業によりドイツより 入されたリグである。 ユニバーサルという呼の基に様々なタイプのレンズとカメラに対応できるシステムが各種用意されている。

写真はレッドワンカメラ 2 台をハーフミラーリグに取り付けるタイプのものである。マルチリモートコントローラー「C モーション」を活用し、左眼映像用カメラと右眼映像用カメラのズーム、フォーカス、りを完全に同期させてコントロールすることが可能である。2 台のカメラからそれぞれ HD-SDI 信号を取り出し、 国製レッドローバー Trud?3D モニターで立体表現を調整しながら撮影することができる。

ユニバーサルという呼の基に様々なタイプのレンズとカメラに対応できるシステムが各種用意されている。西 産業によりドイツより 入された。

写真はレッドワンカメラ 2 台をハーフミラーリグに取り付けたものである。マルチリモートコントローラー「C モーション」を活用し、左眼映像用カメラと右眼映像用カメラのズーム、フォーカス、りを完全に同期させてコントロールすることが可能である。2 台のカメラからそれぞれ HD-SDI 信号を取り出し、 国製レッドローバー Trud?3D モニターで立体表現を調整しながら撮影することができる。



図 2.5-3 P+S ユニバーサルミラーリグ



図 2.5-4 背後からみたところ

(3) P+S テクニクス 並行リグ

同じく P+S Technics 社製の小型並行式リグである。カメラは世界でもっとも小型のフル HD カメラの I-CONIX を 2 台使用している。

小型なだけにカメラ間の基線長を 65mm 以内にとれることで、対象物との焦点距離の関係性の中で自由にインタラクチュアを取ることができる。

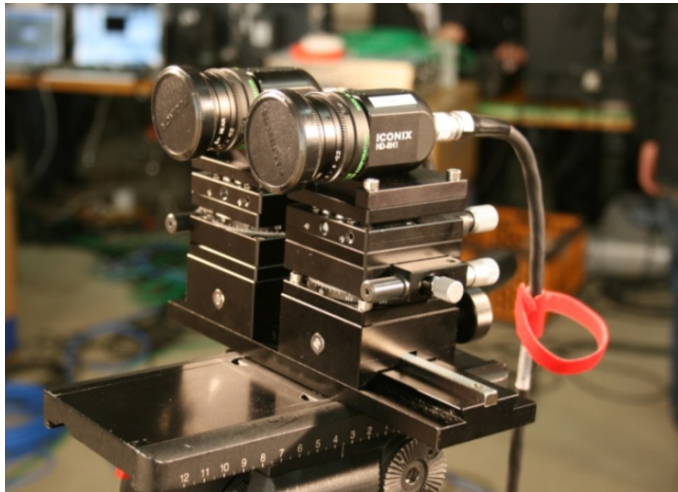


図 2.5-5 PS テクニクス 並行式リグと後ろからみたところ

(4) レッドローバー 並行リグ レッドバージョン

2009 年夏 みに公開された日本初のレッドワンカメラ 2K3D 立体映画「戦 新ケンジャー」で使用された 3D リグである

並行式リグ SDC-M300A にレッドワンカメラを 2 台 させて 2K で撮影が行われた。モニタリングは左右映像信号を直接入力し、ハーフミラーで左右映像を らせて直接見ることができるレッドローバー社製 8 インチ 3D モニター SDM-080 を使用した。立体撮影の基準となるインタラクチュア 65 mm は大型のレッドワンカメラでは無理なため 3D 撮影のほとんどを平行法で行い、ポストプロダクションで視差調整を行なう方法を取った。



図 2.5-6 レッドワン 2 台を操り東映映画「侍戦隊シンケンジャー」を撮影する松村氏

(5) レッドローバー 並行リグ スタンダードバージョン

ビジュアルコミュニケーションズとレッドローバー・ジャパンによって組み合わされた東芝小型フル HD カメラ HD-を使用したシステムである。

マックパソコンをベースにしたビデオモニターシステム QTAKE-HD を採用し、 時の収録と

再生を実現した画期的モデルを構築した。メイン収録には 国製 CODEX を使用し、LR 映像を同時に収録することができる。またサブ収録機として AJA の k-pro を使用し、3D 収録に 全を期したシステムである。



図 2.5-7 TOSHIBA と QTAKE HD

2.5.3 3D 実写撮影

日本初の 3D デジタル長編劇映画として 2009 年 10 月に公開された。また 2009 年度より エネチア国際映画 で正式部門となった 3D オープニング 3D として上映され 題となった「戦

3D」では 3D 撮影スーパーバイザーを務めた 井 幸氏は、3D 撮影の専門技術者 3D スーパーバイザーとして 30 数年のキャリアを持ち、個人で様々なリグを開発してきている。

3D 撮影の経験が豊かな 井氏に撮影にあたっての意見を った。



図 2.5-8 「戦慄迷宮 3D」撮影現場 清水崇監督

(1) 実写撮影の考え方

井氏は 3D 撮影を「空気を撮る」ことだという。観客に見やすい 3D 条件としてスクリーンサイズに向けて 3D 設計をすべきであり、インタラクチャ(目幅)は 65mm に るべきではなく、ショット に する必要のあるとの持論を展開している。



図 2.5-9 宇井忠幸氏 (写真右端)

今回の「戦 3D」の撮影システムを選択する条件として、

- ① 劇場映画なので24Pであること
- ② フルHDであること
- ③ 撮影はコンバージェンス（交差）とインタラクチュアを駆使する交差方式で行うこと。

ロケ地は富士急ハイランド内アトラクションの狭い現場内で行なわなければならないことを考えて、小型でフルHDでかつGEN LOCK同期が取れる並行式リグを案じた。

残念ながら制作会社の意向で詳細はえせざるを得ない。

その他これまで井氏が開発したオリジナルリグを紹介しておく。



図 2.5-10 宇井式並行リグ
旋律迷宮バージョン



図 2.5-11 アリフレックス+アリビジョンと35mmフィルムカメラ「ミッチェル」に3Dレンズを装着したシステム



2.5.4 3D 実写撮影システム その2

米国で開発され、ハリウッド3D作品で多くの実績を持つハイエンドの3D撮影システムが3ALITY DIGITAL社製の3Dリグトータルシステムである。その利便性は群を抜いている。日本ではイマジカが同社と業務提携し導入している。

(1) 3ALITY トータル システム

TS-2はハーフミラーリグであるが、特筆すべきは、リグ上方部にえ付けられたカメラと後方部カメラ間のインタラクチュアとコンバージェンスを、小型モーターと連動した

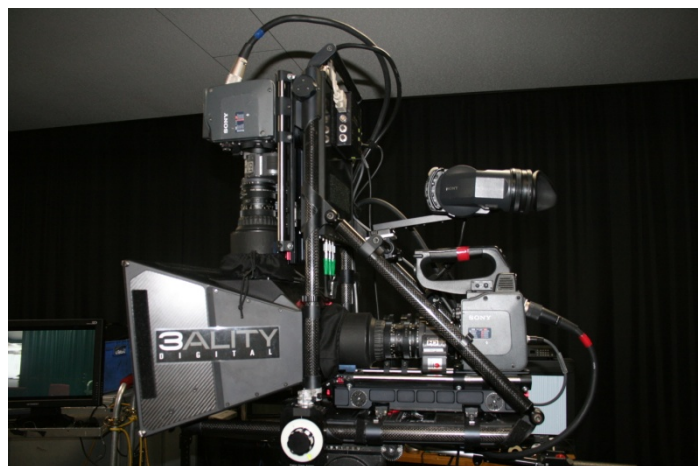


図 2.5-12 Production Studio 3D Rig TS2

リモートコントローラーを使って立体感を表現する最適なカメラポジションニングを選択できることである。(図 2.5-12,図 2.5-13)

その頭脳となるのがステレオイメージプロセッサ SIP2200 である。(図 2.5-14)



図 2.5-13 リモートコントローラーとレンズリング周り



図 2.5-14 Stereoscopic Image Processor SIP-2200 と 3D ライブモニター

その機能の一端を紹介すると

- ① カメラレンズ光軸の一致
 - ② コンバージェンスパララックスの最大値から最小値までの安全領域の管理
 - ③ 撮影動作中の映像情報の提示
- 2台のカメラ間のインタラクチュアの分析調整
6000分の1秒のメタデータのキャプチャリング
2Dと3Dモニターへの映像信号同時供給
波形モニター装備
リグ情報のフィードバック
撮影動作中の3D最適データ表示
より良い3D映像表現のためのコンピュータデータ
フレームレートの適応数表示とステレオモードの指示
DVIとHD-SDI出力など

すべての情報が 込まれているこのプロセッサはまさにこのシステムの頭脳であり心 部にあたる。

この他に並行式でロングショット用の TS-4 と小型カメラ用の TS-3 が用意されていて、すべて SIP-2000 で集中コントロールできる。

(2) NHK メディアテク ロジー方式 リグ

NHK メディアテク ロジー社 (名 NHK テクニカルサービス) は日本でも早くから 3D 立体映像制作を手がけてきた老舗の会社である。NHK 系 の技術会社として主に 覧会展示絵映像や 公 関連イベントまた 間の 3D シアターやホールなどで 3D 映像製作を手がけてき

た豊富な実 を っている。3D 撮影はすべて自社開発のカメラシステムによって行っている。ジェームズ・キャメロン監 と共同で開発したフュージョンカメラシステムも保有している。(図 2.5-15)



図 2.5-15 NHK HDC950 分離型方式リグ と 18 倍シンクロズームを装着した 3D カメラ (通称 フュージョンカメラ) (センターのカメラ)

さらにフジ ンレンズと共同で開発したレンズの光軸を精 に えたシンクロズームレンズを特注している。(図 2.5-15)

そしてどんなデジタルカメラにも対応できるレンズシフトアダプターを備えた 3D カメラリグシステムを開発した。(図 2.5-16)

これから 要が増えると見込まれるスポーツイベントや 楽コンサート、劇場中継など 3D ライブ中継マルチカメラシステムを確立している。

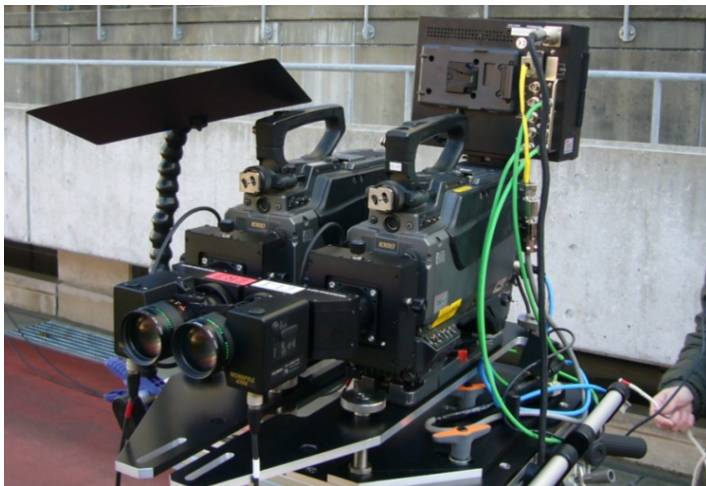


図 2.5-16 レンズシフトアダプタ付き 3D カメラと HDL-20 を 2 台使用した 3D 小型リモコンカメラ

以上紹介してきたシステムはいずれも 2 台のカメラを駆使しての 3D 立体撮影システムである。今後はカメラ 1 台で 3D 立体映像を撮影できるカメラ開発へと進んでいくことが考えられる。

2.5.5 カメラ1台で撮る3D立体実写システム

(1) WASOL 単眼レンズ3D撮影支援システム

写真は WASOL 3D レンズを SONY HDW-970 に装着したものである。従来の HD カメラレンズの前に装着されたレンズは、インタラクチュアは 65mm に設定されており、コンバージェンスを前側 25mm～ 台まで自由に設定できるレンズシステムである。ミラーとプリズムを本体内部に精密に配置し撮影した左右の映像を 60i フィールドシーケンシャル方式で 1 フィールドに 30 2 に同期収録する。撮影時の左右のレンズ調整の手間がかからず、またポストプロダクション作業を容易に行えることができ、ローコストで 3D 制作が可能なメリットがある。(図 2.5-17)



図 2.5-17 WASOL 3D レンズ

(2) SONY 単眼レンズシステムカメラ

2009 年 CEATEC JAPAN で SONY が発表した単眼で 3D を撮影するカメラシステムである。大型レンズの周辺収差を利用して左右映像を取り出し、240 ハイフレームで 2 つのモジュールに収録する世界初の画期的なワンボディの 3D カメラの場である。人間の目に限りなく近い自然な立体感を得られる 3D 映像撮影が可能とのことで市場への早い出荷が望まれる。(図 2.5-18)

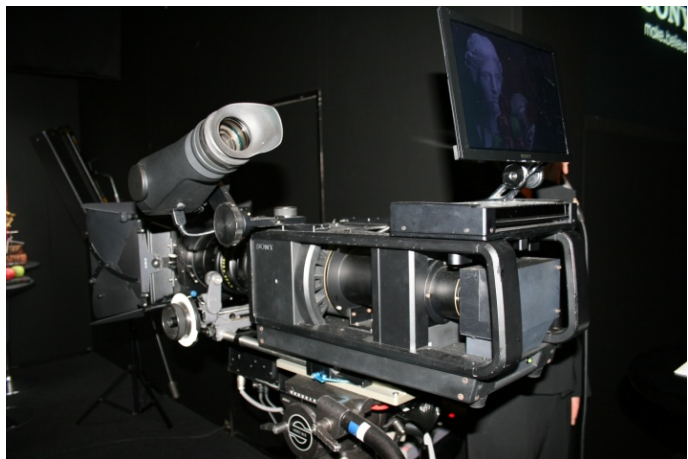


図 2.5-18 SONY ハイフレーム単眼レンズ 3D カメラ

(3) PANASONIC ワンボディ 3D カメラ

2010 年に市場に投入される予定のワンボディ 3D カメラである。レンズ体内に左右映像を撮るための 2 つのレンズが 65mm のインタラクチュアで配置されており、コンバージェンスは自由にコントロールできるようになっている。なおかつ左右映像のずれについても調整ができるというので、撮影現場では重宝されるカメラとなるであろう。(図 2.5-19)



図 2.5-19 一体型二眼式 カメラレコーダ

2.5.6 結論に変えて

人間の脳の 不思議な機能ス ックを改めて思う。

人間の脳のメカニズムは生 のすべてを司っている。そのうち眼で見るというシステムは一体誰が構築したのだろうか それはもちろん神のみぞ知るしかないのではあるが、 れ多くも我々が 3D 立体映像なるものを り上げようと試みる時、そのあまりにも困難な道程に立ち 生してしまうのだ。どうにも脳のを り越えられない。最初から を げるつもりは毛頭ない。しかしながら実感なんだから仕方がない。

いまや、3D 立体映像が映画のみならず放送やホームシアターのブルーレイディスクメディアとしてスタンダード化していく兆しを見せ始めている。いまや各メーカーも 3D カメラの開発に本気で力を入れ始めている。今後 3D 立体映像のクリエイティブ現場から最終的な視聴環境までトータルな研究の試行 が続いていくと予想される。我々現場スタッフとしては、これらの 3D カメラシステムをどう使いこなしていくのか、安全で心地よい 3D 立体映像とはどう撮れば実現できるのか それはいわば神への 戦にも似た行 なのだといささか、オーバーな気持ちで高しつつも、3D 実写にそれでも性 りもなく んでいくことが大切である。

委員： 小山 一彦

2.6 2D・3D 変換の課題

2D3D 変換という、DDD と Stereo D のシステムが有名だが、2010 年 3 月に日本ビクター株式会社(JVC)から、リアルタイムで 2D3D 変換する業務用 3D イメージプロセッサも市場に投入された。

これまで 2D3D 変換という、過去に製作された 2D 作品を、3D 作品としてリメイクしたり、新規に製作される 3D 作品の中で、過去に 2D で撮影された素材を部分的に使用したりするために変換を行なうといった使い方が主であった。しかし、リアルタイムで 2D3D 変換を行えるシステムの場で、3D で新規に製作をする中で、積極的にこの変換を使用することで、大きくワークフローが変化する可能性が出た。また、リアルタイム性を活かして、スポーツ中継や 楽のライブ中継への応用も可能となる。

さらに、2 台のカメラを用いて 3D 撮影を行うと、色々な不具合が発生し、適切な立体感が得られない場合がある。リアルタイム 2D3D 変換システムは、こういった問題の解決への応用も期待される。

本項では、2D3D 変換の可能性と、課題について述べる。

2.6.1 2D・3D 変換の基本原理

2D3D 変換システムは、幾つかのステップで 2D 映像の 3D 化を行う。

(1) オブジェクトの認識

2D3D 変換の第一歩は、オブジェクトの認識である。画面内に写っている色々な被写体を、空間周波数情報などを利用して一つ一つのオブジェクトに分解する。方式によっては、前後のフレームの差分情報から、オブジェクトの移動情報を 出して輪 を決定しているものもあるが、この方式だと物体が静止した場合と、動いている場合で、立体感が変わるとい う 害が発生する。

(2) 距離の推定と配置

次に、認識されたオブジェクト とに、その画面内での距離感を推定する。これも空間周波数情報が主に使われるが、画面内での色情報の変化を見て、空気遠近法などを適用しているものもある。距離が推定されると、各オブジェクトを背景から切り出し、位置情報から決定された視差量だけ水平方向に移動して配置される。

(3) オブジェクトの立体化

この様に各オブジェクトの距離感を推定して、画面内に配置すると、写真を切り いて前後に並べた、書き割りのような立体映像となってしまう。そこで、一部の 変換システムでは、各オブジェクトに対して立体感を付ける操作を行い、効果を挙げている。

(4) 背景の補

オブジェクトを背景から切り出して水平移動すると、当然背景とオブジェクトの間に 間が生まれる。オフライン方式の変換システムでは、この 間を別のカットから背景を持ってきたり、レタッチをしたりして埋めていく。リアルタイムシステムでは、背景を引き ばすことにより、この 間は自動補 される。

2.6.2 2D・3D 変換の効用

2D3D 変換を使用すると、幾つかの効用が生まれることが確認されている。ここでは、それを幾つか紹介する。

(1) 眼性疲労の低減

3D システムで製作されたドラマなどの、片眼の映像だけを取り出し、これを 2D3D 変換し

てみると、7割から8割のシーンやカットで3D撮影したものと同様な立体感が得られる。これは、多くのシーンが奥行き方向のみで画面を構成しているためで、中には後述するような、3D撮影したもの以上の立体感が得られるカットも発生したりする。そこで、製作のワークフローに積極的に2D3D変換を採用することで、撮影効の向上や制作の低減が期待できる。

さらに、2D3D変換映像は、理論的に3D映像を作り出すため、3Dカメラで撮影する際に発生する、左右の色ずれや、上下ずれ、ローテーションなどの立体視を阻害する要因が発生しない。結果として、長時間見ても疲れな映像を入手することが可能である。

3Dコンテンツでは、臨場感と飛び出し感の両方が要求されるが、飛び出し感のあるシーンを連続的に提示すると、観者の立体感がだんだん弱くなってしまい、3D効果が低減することが知られている。そこで、演出的にも奥行き方向の臨場感中心のシーンで作品全体を構成し、所々に3D的な飛び出し効果のあるカットを組み込むことで、立体感のある作品を構成することが可能となる。ここで、奥行き感中心のシーンに対して、2D3D変換を使用することにより、眼精疲労の少ない3Dコンテンツを完成することが可能となる。

(2) 不可視部分の可視化

日常生活の中で、人間はどちらかの利き目だけで物を見ている事が多い。しかし、3D映像を見る場合は、3D眼鏡をかけることで強制的に両目の視力が活性化される。その結果、被写体の解像度感が、約1.4倍になることが報告されている。

さらに、筆者が最近関わっている2D3D変換業務の中で、新しい現象が発見されているので、ここに報告する。これは、水面など透明体の表面が反射している映像を、2D3D変換した際に観測される現象で、2Dでは光った水面として見えるカットが、3Dでは水中の石などが透けて見えるという事象である。2D3D変換をしたカットについては、あくまでも2D画像の持つ情報を、画面を変形させることで3D化しているだけであるから、情報が増えることはない。しかし、2Dでは見えない水面下の物体が、3Dでははっきり見え、3D化した片眼の映像だけを見ると、また見えなくなる。

現時点では、この現象は確認されているものの、その理由については説明ができない状況であり、今後の研究課題としたい。

2.6.3 2D・3D変換の応用事例

2台のカメラを用いて3D撮影を行うと、「箱庭効果」や「書き割り効果」などの不具合が発生し、適切な立体感が得られない場合がある。また、近くにいる人物などを3Dカメラで撮影すると、背景が立体視できない「融像」が発生する。リアルタイム2D3D変換システムは、こういった問題の解決への応用も期待される。ここでは、3D撮影時の問題点と、解決策としての2D3D変換の具体的な応用事例を紹介する。

(1) 遠景の融像を回避

人間の眼は、ある物体を注視するとき、左右の視線を対象物に向ける。その結果、左眼と右眼の視線は、注視している対象物の前後で交差し、これを輻湊と呼ぶ。2台のカメラを使用して3D撮影を行う場合、レンズの方向を調整することで、この輻湊を再現し立体視を可能にしている。

例えば、3mの距離にいる人物を撮影するとき、輻湊点は3mにセットされる。こうすると人物はスクリーン面に配置され、背景はスクリーンより奥に展開される。ここで、人物がカメラに向かって手を伸ばせば、奥から手先までが画面から飛び出して見える。

しかし、ここで見落としがちなのが背景の立体感である。人物の背景が、遠景などであれば良いが、風景など距離が遠いものが一般的である。レンズ間隔を60mmにセットして撮影している場合、人物の30m後ろにある物は600mmの視差のあるものとして撮影される。この背景は、左の映像は左に、右の映像は右にずれるため、立体視するためには視線を左右に開かなくてはならなくなる。これを開散と呼ぶが、この開散角が4度を越すと立体視できなくなり、二重像が見えるようになり、これを融像と呼ぶ。30mの距離にある物が600mmの視差として撮影されると、約11度の開散角になるため、背景の物体は立体視できずに二重像になってしまう。

う。

2D3D 変換では、視差量の調整により、遠景の開散角を設定できるため、融像の無い背景を作り出すことができる。

(2) 超望遠撮影

最近のスポーツ中継や、楽ライブの中継では、100 以上のズーム比を持つレンズが多用されている。100 のズームレンズ 2 本を使用しての立体撮影というのも非現実的であるが、実際に行ったとしても、「書き割り効果」が発生して被写体の人物などが扁平化し、絵を書いたが前後に並んでいるような立体感となってしまう。

撮影時のレンズから輻輳点までの距離は、時の眼からディスプレイの表面までの距離に同一比で反映される。そこで、輻輳点を 5m に設定して人物を撮影した立体映像を、ディスプレイから 5m 離れた位置からすると、撮影時と時の距離が一致しているために被写体の立体感（厚み）は、適切に表現される。しかし、望遠レンズを使用し 100m 先の被写体を撮影するために、輻輳点を 100m に設定して、これを 5m の距離でした場合には、輻輳点までの中にある物体の立体感（厚み）は全て 5/100 まで圧縮される。そのため、約 40cm の厚みの人物は、2cm の厚みになってしまう。この結果、写っているもの全てが扁平化し、舞台で用いられる書き割りのようになるため「書き割り効果」と呼ばれる。

しかし、このような超望遠レンズで撮影した映像も 2D3D 変換すると、あたかも至近距離で撮影したような立体感のある映像として変換できる。これは、被写体の立体感が人工的に生成され、撮影距離に存しないためである。

このように超望遠映像は、実際に 3D 撮影するより 2D3D 変換を行った方がより立体感のある映像を得ることが可能となる。

(3) 風景撮影

遠くにある街並みや山並みを 3D 撮影すると、建物や山々の立体感が上手く表現できない。2 本のレンズ間隔を広げるという手法がある。通常、2 本のレンズの間隔は、人間の瞳孔間距離の平均値である 65mm にセットするが、風景撮影の場合は、これを 2m~10m といった距離にまで広げて撮影する。これにより、遠景にある被写体の立体感が出てくるが、レンズ間隔を広げた結果、者の眼の間隔を広げたことと同一の効果が生まれる。レンズ間隔を 13m まで広げた場合、瞳孔間距離が 20 になり、者はレンズ間隔と同じ眼の間隔を持つ体になり大化したことになる。例えば、長 170cm の人であれば、長 34m になったことになり、その結果、街や山が極端に小さく見える。これを「箱庭効果」と呼ぶ。また、風景映像の撮影には、広角レンズが多用されるが、「箱庭効果」は、広角レンズの使用でも発生するため、瞳孔間距離の拡大による効果と相して極端なスケール間の低下が生まれる。

このような風景映像も、2D3D 変換すると、レンズの焦点距離や被写体までの相対距離に影響されずに変換されるため、自然な立体感のある映像を得ることができる。

(4) 空撮

2 本のレンズを使用して空撮を行うと、「書き割り効果」と「箱庭効果」が同時に発生するケースが多く見られる。空撮では、撮影時の飛行高度と被写体の大きさ（高さ）に 10 以上の開きが出てしまうため、演出的に効果のある立体感がなかなか得られない。高度 300m から地上を撮影し、輻輳点を地面に設定した場合、30m の高さのビルは、スクリーン面から 10% 飛び出して見える。しかし、用車や人物などを撮影した場合は、高さが 2m 弱のため 0.6% 程度の厚みしか感じられず、ほとんど立体感を表現できない。

また、高層ビル等を撮影する場合、カメラを主の両端につけるといような極端なセッティングをしない限りその立体感を出すことができず、さらに、もしそのようなセッティングをしたとしても、カメラがバラバラの振動を起こすので、立体合成には、スタビライザーを二重にかけるというような手間が必要になる。このような撮影は、まったく現実的ではないが、2D3D 変換を使用することで、実写以上に演出意図に即した 3D 空撮映像を得ることができる。

(5) スポーツ中継 楽ライブ中継

近年、スポーツ中継や、楽のライブ中継では、15 台から 20 台のカメラが標準的に使用されている。3D で中継を行おうとしたとき、これら全てのカメラを 3D 化することは不可能に近い。中継用のカメラ配置を考えた場合、主となる被写体から、数十メートル離れた位置に配置されるカメラが、多数あり、これらのカメラを全て 3D 化しても、前述した「書き割り効果」や「箱庭効果」が発生し、適切な立体感が得られない。また、標準的に用いられている、100 以上のズームレンズを 2 本並べての 3D 撮影というシーンは、現実的とは言えない。

そこで、被写体に近い位置にある 3~5 台のカメラだけを 3D 化し、残りのカメラは 2D3D 変換としてシステムを構築することが考えられる。こうすることで、システムコストの減だけでなく、より効果的な 3D 映像を得ることが可能となる。

2.6.4 まとめ

本項では、リアルタイム 2D3D 変換システムの場による、3D 映像制作のワークフローの変化について、その効用や具体的な応用事例を挙げて解説した。

(株)ビデオテック： 森 俊文

2.7 立体映像の課題

2.7.1 3D 酔い

ネットの書き込みに見られる立体映画の感想中に、「映像に酔った」という記述が少なからず見られる。これは“3D 酔い”と呼ばれる現象で、“動揺病”(り物酔い)の1種に分類されている。しかし一般に動揺病は、「三半規管に加速度が加わって刺激された結果、引き起こされる自神経の調状態」とされている。

だが加速を伴わない、視覚系による刺激だけでもり物酔いに似た現象が現れる。これは“誘導運動”と呼ばれる現象で、ホームに車中の電車にっている時、の線路にいた車両が発車すると、自分のっている車両は動いていないにもかかわらず、逆方向の加速を感じてしまうことがある。この覚が、動揺病に似た自神経の調状態をもたらすと考えられる。

これは立体映像に限った現象ではなく、2Dの映像でも生ずる。特に、主観映像による視点移動を多用する作品では、顕著にその向が見られる。筆者の経験では、全編スティディカムによる1カット撮影を売りにした映画エルミタージュ 想(2002)で、強いき気を感じたことがある。似たような例は、ブレア・ウィッチ・プロジェクト(1999)などのホラー映画などに多用される、グラグラ揺れる主観移動シーンに見られる。

また、視野を完全にうドームスクリーンでは、もはや物理的運動と映像の区別すらになってしまう。映像全体を激しく回転(一、ロール、ピッチ)させると、椅子が動いて振り落とされるような強い覚が生じる。この現象は、フラットスクリーンでも大画面になると顕著に感じられる。またスクリーンサイズがそれほど大きくなくても、客席との位置関係が近ければ同じ問題を生ずる。似た例に“TV ゲーム酔い”という現象があり、これは家庭用モニター程度のサイズでも、見ている距離が近過ぎたり、周囲を暗くしてしまうことで誘導運動による酔いが起きる。

おそらく3D酔いも、入感の強さから誘導運動を感じ、それにその他の要素(疲労感、不適切な視差など)が加わって強調されるのだと考えられる。さらに編集で激しいカットングをしたり、極端に視差の異なるショットをなどをすると、融像が間に合わずに不快感を感じる。

2.7.2 立体盲

次の問題はもっと深で、立体視そのものがししい、もしくはまったく不可能という人がいることである。文献^{[1][2]}によってバラつきがあるが、全人類の5~10%が立体視できないそうで、これを“立体盲”(Stereoblindness)と呼ぶ。

原因は様々なものが考えられるが、「左右の眼の視力に大きな差がある」「斜視である」といった眼に原因を持つものの他に、脳の問題が考えられる。実は筆者は最近、脳中を患ったのだが、真っ先に考えたのが「立体視ができなくなるのでは」という心配だった。幸い視覚野にはまったく異常はなく、現在立体視は問題なく行えている。だが損の部位によっては、立体盲になるケースも考えられる(例えば半空間無視や半盲を患った人は、立体感がどうなるのか)。

しかしこのような病的な原因がなくても、立体視ができないという人も存在する。これには「左右の融像ができない人」と、「融像は可能だが立体感を感じない人」に分かれると思われる。また「子供の頃は立体映像が好きで良く見ていたが、大人になって立体視できなくなってしまった」という人もいた(これは筆者が、大学の講義で学生を対象に行った聞き取りによるもので、サンプル数が少な過ぎる。従って組的な調査の必要性が望まれる)。訓練でできる人と、そうでない人にも分かれると思われる。

では立体映像から奥行きを感じない人は、日常生活でも立体感を感じていないのだろうか。1つは運動立体視や、線遠近、遮蔽、空気遠近、影などの“絵画の手がかり”と、経験に基づいて立体感を感じており、両眼視差を用いなくとも普通に生活できるというケースが考えられる。

もう1つは、脳内の“側頭葉経路”と“頭頂葉経路”の能力に差があるケースである。立体映像は、後頭部にあるV1野(第一次視覚野)で求められた奥行き情報を出発点とし、さらに側頭葉経路によって両眼視差と輻輳の情報に絵画の手がかりが組み合わされて、総合的に奥行きが得られていると考えられる。一方で、眼から物体までの距離を求めてを動かすといったような、行動の制御に使われる頭頂葉経路は、同じV1野からの情報を元にしながらも側頭葉経路とは独立

して処理を行っているため、立体映像を感じない人でも無意識に正確な立体視を行っていると思われる。従ってこの場合でも、日常生活に支障はないはずである。

いずれにしても、何らかの理由による立体盲の人が存在することは間違いないし、その人口的割合も無視できない。そういった人々は、これまで問題なく生活してきたため、何の間も持たずに 3D 映像を経験しようとする。そしてそこで初めて、自分が一般の人と違うことに気づくのである。これがテーマパークのアトラクションや映画館程度なら、大きな問題にはならないだろうが、高価な 3D テレビを入れた人となるとは別である。当然、クレームを付けるユーザーも出てくると予想される。

2.7.3 眼精疲労

雑誌“TIME”(June 8, 1953)は、カリフォルニアの視力検定技師の投書として「2D 映画では、眼はスクリーンを見つめて、スクリーンに焦点を合わせる。3D では、スクリーンより近い距離を見つめなければならない。従って画面がボケて頭がしてもいいか、3D を見ないようにするか、どちらか 1 つを選ぶより方法はない」という意見を投稿しており、現在も言われている“眼の焦点と輻輳の不一致が頭の原因”とする説が当時からあったことが分かる。

しかし本当にこれだけが原因とは言い切れず、映像の設計に注意をうだけでも回避できることは多い。特に強過ぎる視差は、疲労の大きな原因となる。画面に過大な奥行き感を与えてしまうことで、頭を生じさせ、融像が困難になり、果ては斜視の発生といった状態を生み出してしまふ。また、左右のズレ(度、色、位置、き、時間、サイズ、焦点など)によっても、同様の疲労が発生する。

さらにあまり問題視されていないが、3D 眼鏡のデザイン(レンズクリップ、テンプル等)や重量が疲労に大きく関係していると思われる。

2.7.4 劇場による違い

現在日本の劇場で用いられている立体上映システムには、Real D、Dolby 3D、XpanD、IMAX デジタルなどがある。間もなくこれに SONY 4K SXR D が加わるだろう。これらには一長一短があり、飛び出ているシステムは存在しない。しかしブログや口コミによって、どれが良いかという情報が広まり、アバターでは IMAX デジタルの座席予約がまったく取れないという状態になった。

筆者に訪ねる質問に、これらのシステムの特徴と、どの席を確保すれば良いかというものがある。例えば Dolby 3D の場合、眼鏡のフィルタとスクリーンの角度によって、立体感に大きな違いが出る。両者が完全に平行であれば、クロストークの無いクリアな画面が見られる。しかし斜め方向からは立体感が著しく弱くなるため、最前中央の席ではスクリーンの中央だけがポップンと飛び出た画面になり、やはり最前で左右の両側に近い席では立体感がまったく感じられなくなる。また、色グラデーションには歪みが発生しやすいという問題もある。色にも影響があり、例えばワールドは色になってしまふし、狭い RGB のように狭い波長域の光は片眼しか表示されない。

品質管理の観点から Real D は問題がなさそうに思えるが、実はクロストークが大きいという欠点を持っている。特に、黒バックに白い物体のような明暗差の強過ぎる映像において、ブリストが発生するという問題を発生させる。従来アメリカでは、ブリストと逆位相の映像を予め重ねたデジタルマスターを用意しておくことで、これをキャンセルするブリストバスターリング(3D EQ)という技術が用いられていた。だが 2009 年からは、3D EQ 回路を GDC Technology 社のシネマサーバーに組み込むことで、配給側の負担を無くしている。一方国内では、Real D に特化したマスター制作は行っていないので、ブリストバスターリングは行われておらず、また 3D EQ 回路内のシネマサーバーも導入されていない。そのため字幕版の 3D 作品上映時にブリストの目立つスーパーが表示されてしまふ。

また IMAX デジタルは、ツイン・プロジェクトを採用しているため、画面が他方式と比べて圧的に明るい。直線偏光フィルタを採用しているという弱点も持っている。これは円偏光に比べてブリストが出にくい半面、目をけると融像が起こらなくなるため、始終真直な姿勢を取

っていないといけないという問題がある。

XpanD は、設置にあたってシンク・ディストリビューション・モジュールと赤外線エミッターを取り付けるだけなので、工事は 30 分程度で終了する。そのため上映を止める必要もなく、集客状態に合わせてサイズの異なるスクリーンに移動する際もすみやかに対応できる。こういった理由で現在、国内普及率が圧倒的に高い。しかし観客からの評価が最も多いのも XpanD である。最大の理由は、眼鏡内に液晶シャッターを制御する電子回路や電圧調整回路を内蔵しているため重いという点である。当初のモデルに比べて、かなり軽量化されたとは言え、他方式と比較すると気になる。

さらに眼精疲労とも関係してくるが、映像の明るさも問題となる。IMAX デジタルや Real D は、スクリーンのゲインやランプのワット数などが厳しく管理されている。しかし XpanD にはそういった決まりはないため、劇場によっては暗過ぎるところもある。

表 2.7-1 3D 上映方式と眼鏡の重量

3D 上映方式	3D 眼鏡の重量
Real D(円偏光)	27g(一般用)、17g(子供用)、10g(クリップ式)、47g(業務用)
Dolby 3D(波長分割)	41g
XpanD(液晶シャッター)	77g(最新の付きタイプで計測)
IMAX デジタル(直線偏光)	入手できなかったため未計測

XpanD は電氣的な故障や電圧切れの可能性があり、上映前にテストを必要とする。

2.7.5 ハードとコンテンツの供給バランス

劇場にせよ家庭にせよ、3D が定着するにはハードとコンテンツの供給バランスが取れていないといけない。劇場に関してはアバター効果で、映画館、作品ともに順調に増えており、少なくとも 2012 年までは安定した状況が予想される。

問題は家庭用 3D システムである。例えばこれまでも以下のような例があった。

- (a) 1981 年 松下電器産業がアクティブ・ステレオ式立体テレビ“Panasonic Quasar”を試作。
- (b) 1986 年 日本ビクター、シャープ、松下電器産業が、立体 VHD ビデオディスクプレーヤを家庭用に発売。アクティブ・ステレオ方式。コンテンツも日本ビクターが販売。
- (c) 1987 年 任天堂とセガが、家庭用 3D ゲームシステムを家庭用に発売。ナムコとタイトーはアーケードゲーム機として業務用に販売した。共にアクティブ・ステレオ方式を採用。
- (d) 三菱電機と NHK 放送技術研究所がフリッカーレス立体 LV プレーヤを試作。点周波数を 120Hz にし、コードレス化した液晶シャッター眼鏡を開発。
- (e) 1993 年 パイオニア、日本電気ホームエレクトロニクス、セガが共同開発したレーザーアクティブを家庭用に発売。フリッカーレスの液晶シャッター眼鏡を用いていた。
- (f) 三菱電機が NHK エンジニアリングサービス、凸版印刷と共同で、レンチキュラー式裸眼ディスプレイを開発。
- (g) 三菱電機がハイビジョン立体映像システムを業務用に発売。
- (h) 1994 年 三菱電機がダブルイメージスプリッタやヘッドトラッキングを備えた、裸眼立体液晶ディスプレイを発売。
- (i) 1995 年 三菱電機が 2D/3D ワイドテレビ・立体ビジョンを家庭用に発売。垂直周波数変換技術と 2 種類の 2D/3D 変換回路を備え、通常のテレビ番組をフリッカーレスで立体映像化する。コードレス液晶シャッター眼鏡が付属していた。
- (j) 2002 年 シャープが帯電ムーバ SH251Is に、パララックスバリアによる裸眼立体液晶と、2D/3D 変換が可能な 3D エディタを開発。
- (k) 2003 年 シャープが 3D 液晶ノート PC の Mebius PC-RD3D を発売。
- (l) 2004 年 シャープが裸眼 3D 表示 15 型液晶ディスプレイ LL-151D を発売。

このように基本的な技術は、ほとんど完成されていたが定着することはなかった。最大の理由は、質の高いカラーコンテンツが無く、ハードとコンテンツのバランスが取れなかったことによる。今回の 3D ブームでは、立体映画の本数も多く、ある程度のタイトル数が望めるとい

うことで、以前ほど なる結果にはならないかもしれない。

そうは言っても、やはり魅力的なコンテンツ不足は明らかで、3D テレビや 3D ブルーレイなどの普及には 間が残る。そこで、従来の 2D コンテンツを 3D に変換する技術の 実が望まれる。実際 アバター の一部に、泉邦昭氏のソフトウェアを利用した 2D 3D 変換が用いられていたが、それを見 る観客はいなかった。さらに 2010 年は、スパイ・アニマル G フォース アリス・イン・ワンダーランド タイタンの戦い など、全編を 2D 3D 変換で立体化した映画が相次いで公開予定である。こういったことから、 作の 3D 化にも弾みが付くかもしれない。ただし日本では、著作権 法 20 条の同一性保持 の 害にあたる可能性が高く、テレビや BD プレーヤーに回路を内 するのは、慎重に進める必要がある。

[参考文献]

[1] http://www.newyorker.com/archive/2006/06/19/060619fa_fact_sacks

[2] Susan R. Barry: “Fixing My Gaze: A Scientist's Journey Into Seeing in Three Dimensions” Basic Books (2009)

映画ジャーナリスト： 大口 孝之

第3章 3D ディスプレイの評価

3.1 立体視の要因

人間は眼で見た物体や風景を立体的に感じるために、両眼による手がかりと、単眼による手がかりを利用している^{[1][2]}。両眼による手がかりには、輻輳と両眼視差とがある。いずれも人間の眼が水平方向に約 65mm 離れて 2 つ存在し、互いに異なる角度から物体を観察することを利用している。一方の単眼による手がかりには、水晶体の調節、運動視差、経験則がある。

3.1.1 両眼による手がかり

(1) 輻輳

人間の網膜は、中心部分の視力や色弁別能力が高く、物体を観察する際、網膜の中心付近に注視点が結像するよう眼球が回転する。この両眼の働きが輻輳で、眼球の回転に係わる筋の縮から、対距離を認識する。両眼の視線の成す角は輻輳角と呼ばれ、注視点が近いほど両眼は互いに内向きに回転し、輻輳角は大きくなる。注視点までの距離が 10m 以下で有効といわれる。

(2) 両眼視差

両眼は水平方向に離れて位置し、物体を互いに異なる角度から観察するため、両眼の網膜上の物体像には両眼視差と呼ばれる差異が生じる。脳には両眼視差を検出する領域が存在することが知られており^[3]、両眼視差情報を基に 2 つ以上の点の相対的な前後関係を認識する。両眼の物体像における対応点の間に生じる差分は視差量と呼ばれ、一般的には前記輻輳の効果により網膜中心付近に結像される注視点の視差量を 0 とする。視差量は注視点からの前後方向の距離によって異なり、注視点から離れるほど大きくなる。対象物との距離が 10m 以上でも有効といわれる。

3.1.2 単眼による手がかり

(1) 水晶体の調節

水晶体は注視点を網膜に結像させるレンズである。近くを見るときは厚く、遠くを見るときはく調整し、焦点を合わせる。この調節を司る筋の縮から対距離を認識する。対象物との距離が 2~3m 以下のときに有効といわれている。

(2) 運動視差

移動しながら物体を見る時、網膜上の結像位置が時間的に移動する。移動の度合いは物体までの距離によって異なり、立体感が生まれる。この結像位置の移動量の差異が運動視差で、例えば動いている電車のから景色を見た場合に、遠くにある山やと比較して、近くにある家や木立はより速く後方に動いて見える。この現象から相対的な前後関係を認識している。

(3) 経験則

よく知っている物体の場合、小さく見えるほど遠くにあるように感じる。すなわち網膜上の像の大きさによって奥行き感を得ることができる。このほか、後方のものは前方のものによってその 1 部をい隠されるという重なり効果、遠くにある物体ほどんでコントラストが弱く見えるという空気透視の効果、線と線との間隔が狭くなっていくような図形をみるときに奥行き感が生じる線遠近法の効果、遠くなるほど網膜に投影される像のきめが細かく、また、たくさんの像が密に投影されるようになるきめの配の効果もある。物体に生じる影の効果も重要な手がかりとなる。日常生活では光は上方から照射されることが多く、影の出方によって凸や前後関係を判断する。

3.2 裸眼 3D ディスプレイの種類

前節で、奥行き知覚にかかわる種々の要因について述べたが、現在 3D ディスプレイに利用されている主な要因は両眼視差である。裸眼立体表示方式は映像情報の種類によって、図 3.2-1 に示す様に大きく 3 つに分類できる。

(1) 視差情報呈示方式

「視差情報」とは、複数の視点から撮影された視差映像のことである。それぞれの映像が持つ情報は 2 次元映像と全く同じで、3 次元的な座標情報が直接記録されているわけではない。現在提案されている裸眼 3D ディスプレイの多くがこの視差情報呈示方式に属し、これらはさらに左右画像の表示方式により「空間分割方式」と「時間分割方式」に分けられる。前者は、「パララックスバリア方式」、「レンチキュラレンズ方式」、「ホログラフィックオプティカルエレメント(HOE)方式^[4]」、「大レンズ方式^[5]」「光源分割方式」、「インテグラルフォトグラフィ方式」などがあり、後者には「光源分割方式」がある。これらの方式では、視差画像の数で異なる映像が見える領域数が決まり、観察者の位置によって見える画像が変化する。この視差画像の数によって 2 眼式と多眼式に分けることもあるが、原理的には同じである。

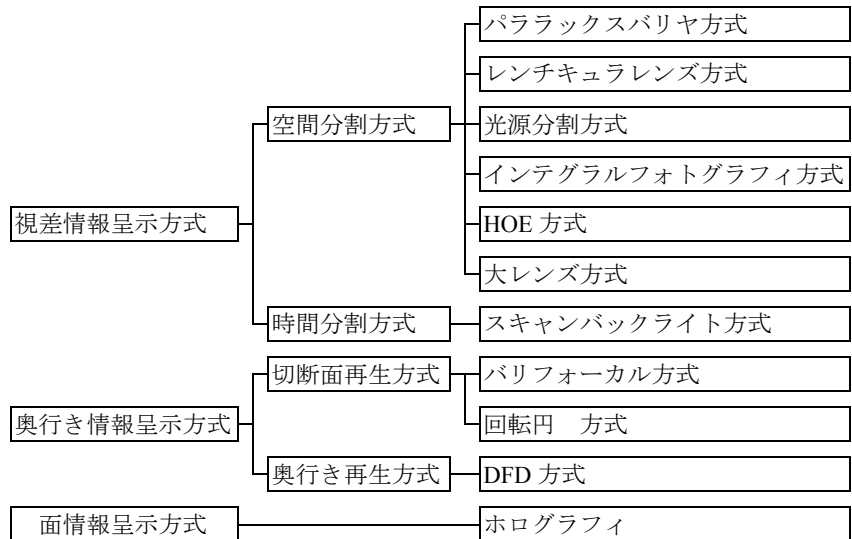


図 3.2-1 メガネ無し立体表示方式の分類

(2) 奥行き情報呈示方式

「奥行き情報」は、再現空間内の 3 次元座標情報を全て与えるもので、X 座標と Y 座標で表される 2 次元情報に、奥行き座標(Z 座標)が加わる。「切断面再生方式^[6]」が主な方式であるが、情報量が多くあまり開発は行われていない。これに対し、2 次元の各画素の画素情報に奥行き位置を加えて立体情報とする方式がある。回り込んだ映像の情報がない代わりに、情報量は非常に少なく済む。これを「奥行き再生方式」と呼ぶことにする。「Depth-Fused 3-D (DFD)方式」は、この種の代表的な方式と考えられる。

(3) 波面情報呈示方式

「波面情報」は、以上の 2 つの情報とは本質的に異なっている。「視差情報」と「奥行き情報」は表示デバイスの画素と再生される点とが 1 対 1 で対応している。つまり、ある画素は必ず再生像におけるどこかの点の情報を持っている。これに対して「波面情報」では、各点の情報が記録部のあらゆる位置に記録されている。これが「ホログラフィ」であり、再生時には記録面全体から発せられる回折光により像を再現する。

以下、これら 3 つの方式から代表的なものについて概説する。

3.2.1 視差情報呈示方式

裸眼 3D ディスプレイでは、特別な眼鏡を装着せずに、左右の眼に異なる画像を見せる工夫が必要となる。観察者が何も装着していない状態で左右の眼に異なる光を分離、呈示するためには、表示側に光の飛ぶ方向を制御する光学素子を装備しなければならない。本章では、各種の光学素子を用いて実現した裸眼 3D ディスプレイについて述べる。

(1) パララックスバリア方式

多数のスリットを用いて左右それぞれの眼に異なる映像を呈示する方式である。図 3.2-2 に 2 眼式の原理図を示す。映像表示には 晶パネルを用いる。表示部には左右映像が 1 に交互に表示され、スリットを通してこの映像を見ると左右映像が分離する。しかし、

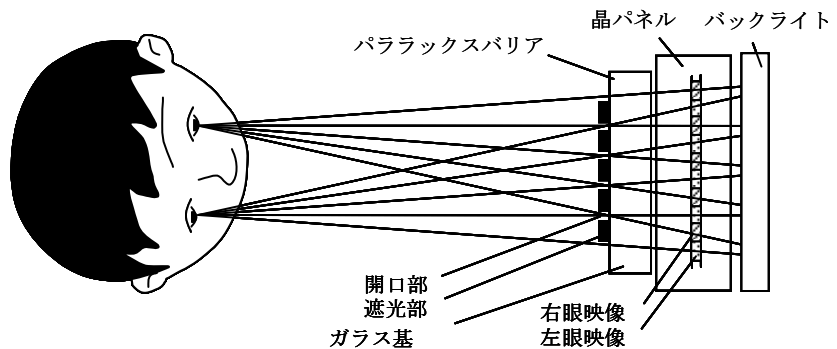


図 3.2-2 パララックスバリア方式の原理

この方式では光を遮光してしまうため暗いという欠点がある。そこで、パララックスバリアを 晶パネルとバックライトの間に配置し、同時に遮光部のバックライト側を反射膜にする方法が提案されイメージスプリッタ方式^[7]として実用化されている。また、パララックスバリアを 晶パネルの両面に配置する 2 重の遮光により、漏れ光による左右映像の混ざり(クロストーク)を効果的に ダブルイメージスプリッタ方式^[7]も実用化されている。

パララックスバリア方式は、現在、実用化がもっとも進んでいる裸眼 3D 表示方式であり、帯電 やアミューズメント機器等に実用化された実 がある。いずれも 2D 映像との互換性が重視されており、パララックスバリアの実現に 晶パネルを使用することで、スリットの電気的なオン、オフ制御を可能として、3 次元表示と 2 次元表示を切り換えることができる特を備えている^[8]。さらに、帯電 では、縦表示用のバリアと横表示用のバリアを同じ 晶パネルの電極に構成することで、パララックスバリアのオン、オフだけでなく、縦横切換 3D 表示も実現している物も商品化されている。

2 眼式の裸眼 3D ディスプレイは、左右眼用の 2 種類の映像が観察できる領域を空間に形成するものである。従って、観察者は左右の眼がその 2 種類の領域に正しく入るように観察位置を調整する必要があり、最適な位置からずれると逆視状態となる。多眼式はこれを解決する手段のひとつであるが、眼数が増えればそれだけ解像度が 化するという問題が残る。そこで 3D ディスプレイは 2 眼式表示にしておき、観察者の眼の位置をリアルタイムに検出し、それに合わせて 3D ディスプレイを最適に制御するヘッドトラッキング方式のパララックスバリア方式 3D ディスプレイが実現されている。

ヘッドトラッキング方式の一例を図 3.2-3 に示す。ヘッドトラッキングは、観察者の左右の眼が逆視領域に位置していることを検出すると、左右映像を逆に切り換える表示制御を行う。この時、映像の切り替えだけでは、画像が切り替わる領域に達する直前にクロストークが多く見える状態となってしまうために違和感が残る。そこで、図 3.2-3 に示すように、パララ

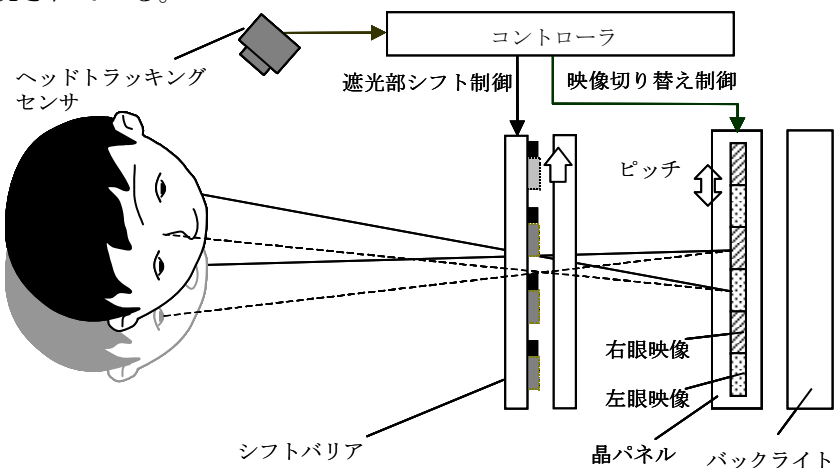


図 3.2-3 ヘッドトラッキング方式

ラックスバリアの遮光部が電気的に動くようにする。この移動は 晶技術で実現されており、シフトイメージスプリッタ^[9]と呼ばれている。シフトイメージスプリッタは 2 つの状態を切り替えることができ、初期状態に対して、移動後は全体が 1/4 ピッチだけシフトする。この時、従来クロストークが見えていた位置が、正常な画像を観察可能な位置に変換される。この遮光部のシフトと左右映像の切り替えを組み合わせると、4 つの状態がつくられる。これらを観察者

の位置に合わせて最適に切り替えることで、広い範囲で逆視のない立体視が可能となる。

(2) レンチキュラレンズ方式

多数の柱状のレンズをディスプレイの表面に配置し、レンズの屈折を利用して映像の見える方向を制御する方式である。図 3.2-4 に 8 眼式の 3D ディスプレイの開発例^[10]を示す。2 台の液晶プロジェクタで立体映像をスクリーンに投写し、1 台目の投写映像の画素と画素の間に、2 台目の投写映像の画素が入るように調整することで、多眼化による解像度の向上を

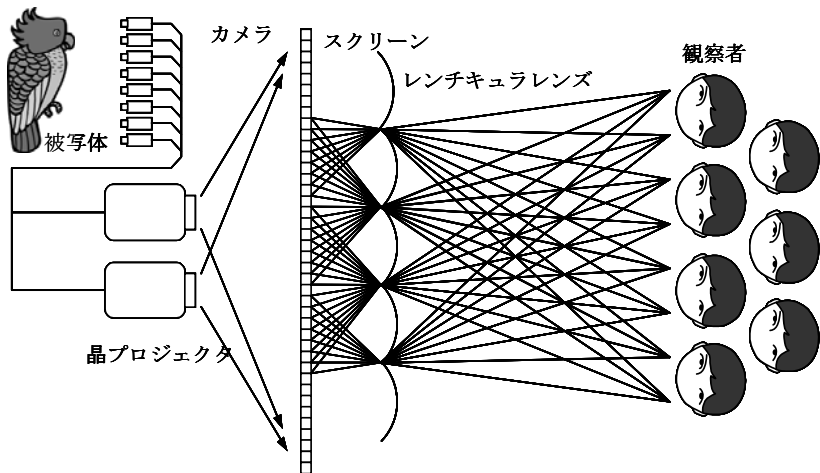


図 3.2-4 8 眼式レンチキュラー方式

いでいる。スクリーン上には、8 種類の映像が画素単位で並べ替えられて投写される。レンチキュラレンズの 1 つのレンズは 1 組の 8 の画素に対応し、決められた観察距離上の面に画素の像が結像するようになっている。

こうすると、観察距離における位置では 1 の画素だけが見え、少し横に動いた位置では 2 の画素だけが見え、それぞれの映像が見える位置によって分離できる。従って、1 から 8 の映像が連続する範囲内であれば、どの位置に立っても立体視ができるようになっている。

直視型のディスプレイを使用して多眼式 3D ディスプレイを実現する場合、レンチキュラレンズは、基本的に光の収りが発生しないので、点滅の点でパララックスバリアと比較すると有利である。直接レンチキュラレンズを装着する構も多くの企業から提案されている。レンチキュラレンズは画素にフォーカスするために、液晶パネルのブラックマトリクスに起因するモアレが発生しやすくなる。これを止めるために斜めレンチキュラレンズ方式が提案されており、今日の主流の技術となっている^[11]。

(3) 光源分割方式^[12]

観察者の頭部位置を検出する方式の一種で、原理的に複数人数での観察が可能であり、多人数眼鏡なし 3D ディスプレイとして可能性を求めた方式である。図 3.2-5 に示すように、ディスプレイは液晶パネル、バックライト、フレネルレンズで構成される。バックライトは、全面点灯するものとは異なり、発光範囲を自由に制御する必要性から CRT や LED アレイのようにアクティブな発光素子が用

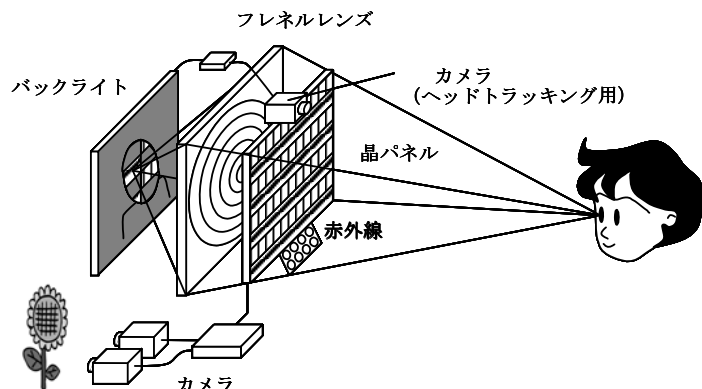


図 3.2-5 光源分割方式の原理

いられ、必要な時に必要な範囲だけを選択的に光らせることができる。フレネルレンズは、バックライトの発光が観察者の位置に集光するように設計されている。その結果、バックライトの光っている領域に応じて、観察距離において映像が観察できる範囲を制御できるようになる。これにヘッドトラッキングの要素を組み込めば、観察者の眼の位置に対応するバックライトの位置だけを常に光らせることが可能になる。

フレネルレンズは、バックライトの発光が観察者の位置に集光するように設計されている。その結果、バックライトの光っている領域に応じて、観察距離において映像が観察できる範囲

を制御できるようになる。これにヘッドトラッキングの要素を組み込めば、観察者の眼の位置に対応するバックライトの位置だけを常に光らせることが可能になる。図 3.2-5 の場合のヘッドトラッキング方式では、観察者に赤外線を照射し、その波長成分だけを通すフィルタを取り付けた CCD カメラで撮影し、その映像をそのままバックライトとして用いる。このような構成においては、観察者の移動に伴い自動的にバックライトの位置も移動し、また複数の観察者がいれば、複数個のバックライトが現れることになる。本方式において、立体表示に必要な左右の眼の画像を表示するには、表示デバイスである 晶パネルの偏光を行単位で分割し、互いに直交する偏光が交互に出射されるようにする。左右映像もそれに合わせて交互に表示する。さらにバックライトも同じように細かく分割し、2 種類の偏光を持たせる。そして片方の偏光を右眼用のバックライト、もう一方の偏光を左眼用のバックライトとして用いる。こうすることで右眼用の光学系と左眼用の光学系を完全に分離することができ立体視が可能となる。または、本システムを 2 つ構成し、ハーフミラーで合成する方式や、時分割で 速で右眼画像と左眼画像を切り替え表示する事で簡単に実現できる。

(4) インテグラルフोटグラフィ方式^[13]

この方式は多眼式 3D ディスプレイの一種であるが、レンチキュラレンズ方式の多眼表示と異なる点は、画像の生成において特別な視点を設定せず、光線空間を再現することにある。更には垂直方向にも視差を持つ物も開発されている。つまり縦長のレンチキュラレンズの代わりに、水平および垂直方向に多数並んだ凸レンズアレイを用いる。映像表示部には水平方向だけでなく垂直方向にも違う視点の画像

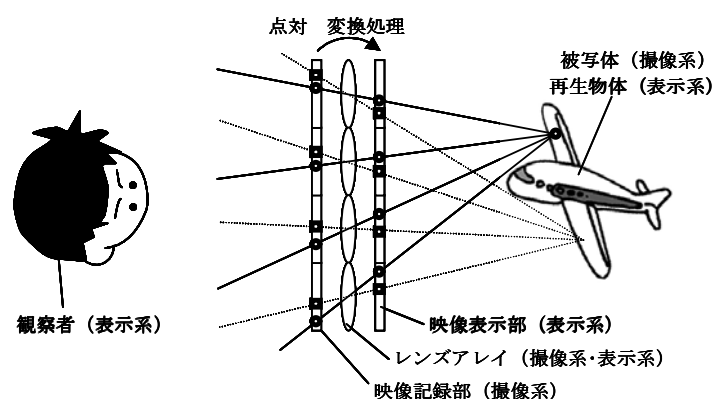


図 3.2-6 インテグラルフोटグラフィ方式の撮像と表示の原理

が表示される。図 3.2-4 が垂直方向にも成り立っている状態といえる。そして他の多眼式と決定的に異なる点は、撮像方式である。他の方式では、多視点から撮影した映像を画素単位に分解し、必要に応じて不要な画素を間引いた後、1 画素 に異なる視点の映像が表示されるように合成する。こうして図 3.2-4 のスクリーン上に示すような映像の並びが作られる。これに対し、インテグラルフोटグラフィ方式は最初から並べ替えた映像を撮影する。図 3.2-6 は撮像系と表示系の関係を表すために、両方の系を重ねて描いたものである。撮像系では映像記録部とその被写体側に配置されたレンズアレイを用いて撮影する。映像記録部はレンズアレイの各レンズに対応する微小記録領域に分割されている。各レンズと対応する領域は各々がカメラを構成し、それぞれの領域に微小な要素映像が記録される。図では被写体の 2 つの点を代表させて、記録の様子を表している。次に、撮影された要素映像を、各領域に点対 に反転する変換処理を施し、これを映像表示部に映し出す。そして、この映像表示部とその観察者側のレンズアレイより成る表示系で映像を観察すると、それぞれの画素が被写体の点を再現して物体が立体的に再生される。

3.2.2 奥行き情報呈示方式

(1) DFD 方式^[14]

DFD (Depth-fused 3-D)型 3D ディスプレイは、新しい立体知覚現象の発見に基づいて考案された方式であり、比較的簡便な構成で疲労感の少ない 3 次元像を眼鏡なしで表示できると言われている。

図 3.2-7 に、本方式の立体知覚現象の原理を示す。この現象は 2 つのステップからなる。まず、観察者から見て奥行き方向に前後に 2 個の 2 次元表示面を配置する。表示したい 3 次元像 (例えば円) の 2 次元射影像を前後のディスプレイ面に観察者の位置から見て重なり合うように

表示する(図 3.2-7 左上)と、観察者は 2 つの像としてではなく、図 3.2-7 右上図のように奥行き方向に融合した一つの像として感じる。次に、3次元像の奥行き位置に応じて前面の像の 度比を変化させる(図 3.2-7 左下)と、図 3.2-7 右下図のようにその奥行き位置が連続的に変化して感じられる。開発事例では複数の 晶ディスプレイを用いており、これらをハーフミラーで合成する。表示したい 3次元像の 2次元射影像を観察者の位置から見て、前後に離れた 2面に重なり合うように表示する。次に、3次元像の奥行き位置に応じて前後 2面の 2次元像の 度比を画素単位で変化させる。すなわち、奥行き位置が観察者に近い場合には、前面の 度を高くして後面の 度を低くする。観察者から遠い場合には、前面の 度を低くして後面の 度を高くする。奥行き方向に連続的な像では、 度を連続的に変化させる。これにより、観察者は奥行き方向に連続的な 3次元像を知覚することができる。この方式においては、焦点調節の機能が正しく働いていると報告されており、ホログラフィと比較して格段に少ない情報量によって、焦点調節を可能とする 3D ディスプレイが期待できる。

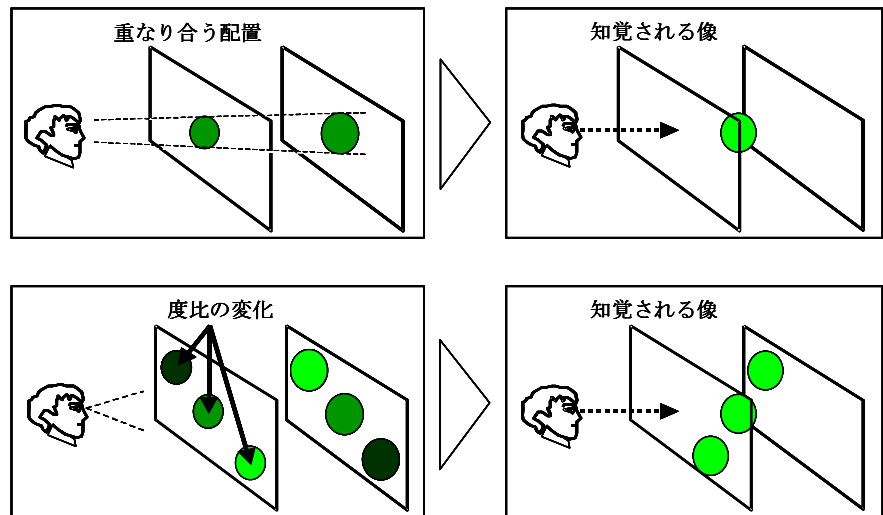


図 3.2-7 DFD方式の原理

3.2.3 波面情報提示方式

(1) ホログラフィ

ホログラフィは究極の 3D ディスプレイといわれている。これは波面再生方式といわれ、物体の反射光を完全に再現するもので、従来から感光材料に記録された静止画像としての立体像であった。

ホログラフィの動画像表示は、電子ホログラフィシステムと呼ばれる画期的な方法で実現されている。しかしその構成要素は、響光学素子、ガルバミラー、ポリンミラーなど、特なものが多く、実用化のとなっている。そこで他の表示方法がされているが、ホログラフィの は、1mm に 1000~7000 本もの非常に細かい複雑な 様であり、現在の表示デバイス技術では解像度が不足しており、実用的な動画像表示は不可能である。また、

の情報量が 大であるということで、映像情報の処理システムの実用化にも課題は多い。さらにホログラフィは、レーザー光を被写体に照射して記録するという性質上、記録できる対象が限定される。背景など遠方にある物体の撮影にも制約がある。ただし、コンピュータグラフィックス映像を表示するのであれば、物体からの波面を計算するコンピュータ合成ホログラフィで解決することができる。近年、表示デバイスとしては 晶パネルを使用し、 大な情報量を低減するために、観察者の目の位置を検出し、眼の位置に対する波面のみを再現することで、単色ではあるが、動画ホログラフィが実現されている^[15]。いずれにしてもホログラフィは未来の 3D ディスプレイとしての期待は強く、今後の展開に注目したい。

(2) むすび

かつてテレビが 黒からカラーに移行したのと同じように、今後、ディスプレイは 2次元表示から立体表示に移ると考えられている。しかし、原理的には早くから発明されていた各種 3D ディスプレイはこれまで普及していないのが実情である。ディスプレイの究極は完全な次元像を提供する電子ホログラフィといわれているが、その実用化までには今後も相当の技術革新が必要である。その技術革新が現実のものとなるまでは、左右眼に両眼視差情報を呈示する

立体表示方式を使用せざるを得ないと考えられる。

従って、当面は 2 眼式 3D ディスプレイが開発の中心となるだろう。しかし、同時に、次の段階である多眼式 3D ディスプレイの開発にも 車がかかることが予想される。2 眼、多眼を問わず今後の技術開発の集大成として、ホログラフィのような理想的な 3D ディスプレイが現れることを期待する。

[参考文献]

- [1] 泉武 : “3 次元映像の基礎”, オーム社 (1995)
- [2] 大山正: “立体視覚”, テレビジョン, 第 16 巻, 第 2 号, pp.39-44 (1962)
- [3] 畑田豊彦: “立体視のメカニズム”, 応用物理, 第 40 巻, 第 3 号, pp.291-300 (1971)
- [4] 本, 上田, 高 , 水: “ホログラフィックスクリーン方式 32 視差動画 3 次元ディスプレイの試作”, 映情学誌, 51, 3, pp.385-392 (1997)
- [5] H. Kakeya and Y. Arakawa.: “Optical Design of Autostereoscopic display with Real-Image Screen”, 3 次元画像コンフ レンス” 00 講演論文集, pp.63-60 (2000)
- [6] 増田: “3 次元ディスプレイ”, pp.139-153, 産業図書 (1990)
- [7] 濱岸他: “イメージスプリッタ方式眼鏡なし 3D ディスプレイ”, 映情学誌, 51, 7, pp.1070-1078 (1997)
- [8] 濱岸他: “イメージスプリッタ方式眼鏡なし 2D/3D ディスプレイ”, 映情学誌, 53, 3, pp.466-472 (1999)
- [9] 井上 孝他: 3 次元画像コンフ レンス 00, pp.83-86 (2000)
- [10] 磯野, 安田, 森, 金山, 山田, 葉: “8 眼式眼鏡なし 3 次元テレビジョン”, テレビ誌, 48, 10, pp.1267-1275 (1994)
- [11] 米国特許 US 6,064,424 (2000)
- [12] 大森, 木, 片山, 久間, 部: “バックライト分割方式ステレオディスプレイシステム”, 3 次元画像コンフ レンス 94, pp.219-224 (1994)
- [13] 井, 岡野, 星野, 山: “屈折 分布レンズを用いたインテグラルフォトグラフィ撮像方式の基礎検討”, 映情学誌, 51, 11, pp.1927-1934 (1997)
- [14] 高田他: “新方式眼鏡なし 3 次元ディスプレイ”, 3 次元画像コンフ レンス 00, pp.99-102 (2000)
- [15] SeeReal 社ホームページ: http://www.seereal.com/en/holography/index.php__

3.3 裸眼 3D ディスプレイの問題点と改善

3.2 章で裸眼 3D ディスプレイの種類について解説したが、現在の主流は、視差情報を利用する裸眼 3D ディスプレイである。しかしながら、現時点では完全な性能を備える 3D ディスプレイは存在しない。より理想的な 3D ディスプレイを実現するために、現状の 2 視点、および多視点方式の 3D ディスプレイの見え方の問題点、ならびに改善法について報告する。

3.3.1 2 視点表示における見え方の解析とヘッドトラッキングによるさらなる改善

図 3.3-1 に観察者が最適観察距離よりも遠い位置に移動した場合の観察者の右眼に見える画像を示す。2 視点方式裸眼式 3D ディスプレイは、設計上、最適観察距離において右眼画像と左眼画像が効よく集光され、それぞれの画像が観察できる領域が交互に存在する^[1]。通常的设计においてはこの

間隔は 65mm である。従ってある位置に存在する観察者の目が観察する画像は、目に集光される光線の最適観察距離を通過する時の分布を解析することで、簡単に状態を することが できる。図 3.3-

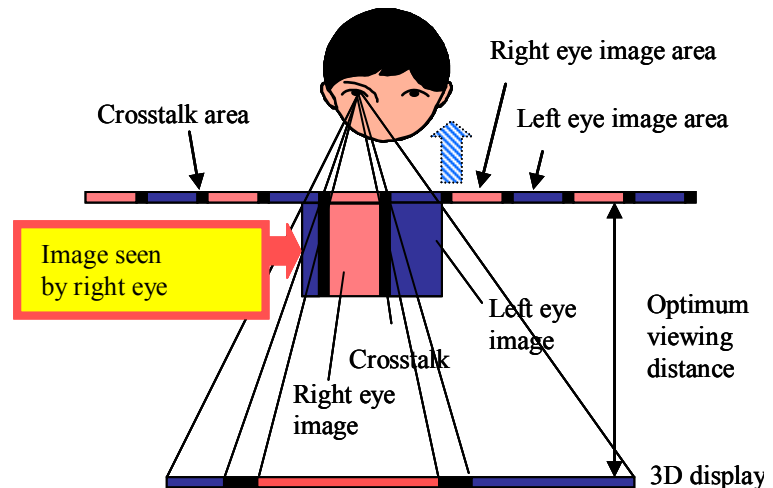


図 3.3-1 観察画像の解析

2 における観察者の右眼は図示のように画面両端部左眼画像、中央部が右眼画像の混合画像を観察することになる。よって、に示すように最適な観察距離に存在する観察者に対しては(1)のように、立体画像が観察されるが、観察者が最適観察距離から離れてしまうと、(2)のように、観察者の目に入る画像は、右眼画像と左眼画像がストライプ状に混在した画像となってしまふ。

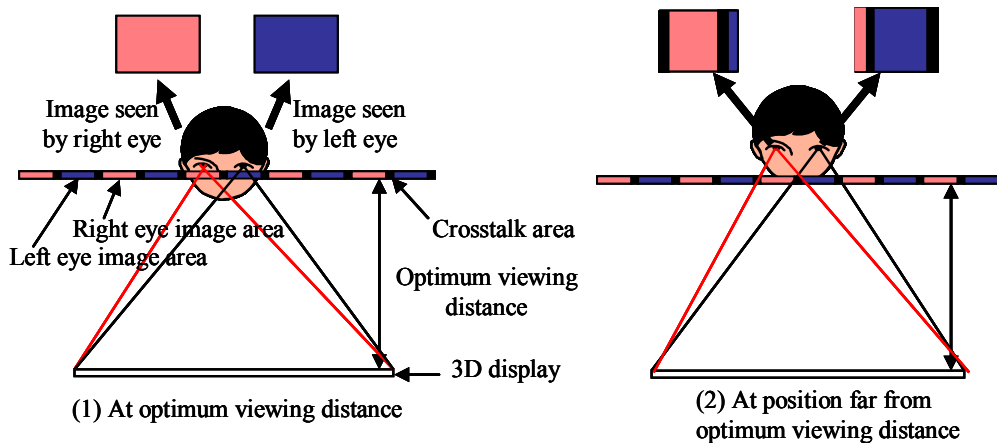


図 3.3-2 観察距離に対する右眼と左眼が観察する画像の変化

このように観察距離に対応して、目に入る画像が変化するので、この状態を改善する必要がある。この改善の手段としてヘッドトラッキング技術が有効である。ヘッドトラッキング技術とは、観察者の位置を検出し、ディスプレイの状態を観察者に対して最適な状態に保つ技術である。この技術を活用することで、2 視点表示におけるさらなる見え方の改善を実現することが可能となる。

図 3.3-3 に観察者の前後方向の移動に対して追従可能な 3D ディスプレイの構成を示す。図示のように、晶パネルの視差画像の表示とバリアの開口部の移動を 16 の領域に分割し制御する。

分割された 16 の領域を個々に制御することで、観察者の前後方向の移動に対する見え方の改善が可能となる。

図 3.3-4 は各目に観察される画像の状態を示している。右眼画像あるいは左眼画像の見える領域で最も中央の部分は、観察者の目に対して晶の画素とバリア開口の位置関係が最も正しい領域となる。

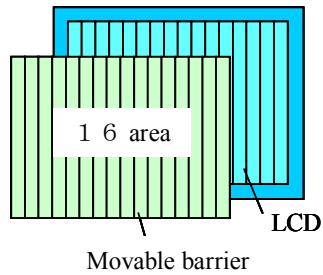


図 3.3-3 観察者の前後方向の移動に対して追従可能な 3D ディスプレイ

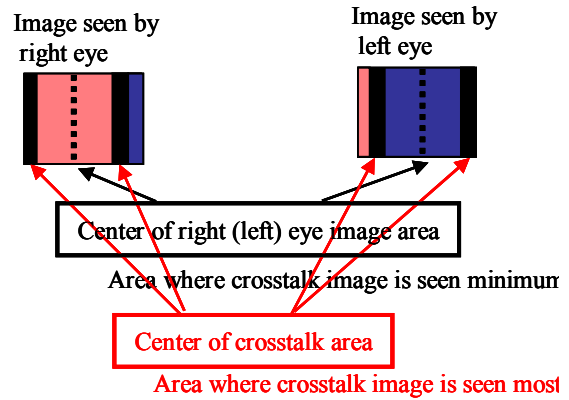


図 3.3-4 観察される画像における、右眼画像と左眼画像の分布

逆に、クロストーク領域の中心の部分は、最も右眼画像と左眼画像の混在が均等に存在する領域であり、観察者の目の位置に対して晶の画素とバリア開口が最もずれている状態となる。従って、クロストーク領域の中心近辺のバリアのみ 1/4 ピッチ移動制御すると、その部分を右眼画像、あるいは左眼画像の中心に変化させることができる^[2]。

図 3.3-5 に開口部が 1/4 ピッチ移動可能なバリアの構造を示す。このバリアの位置制御と晶パネルの表示画像の位置制御を最適に組み合わせることで画面全体の立体画像の提供が可能となる。図 3.3-6 に図 3.3-2(2)の状態における、制御例を示す。ほぼ画面全体において立体視が可能となる。図 3.3-7 に横方向に連続

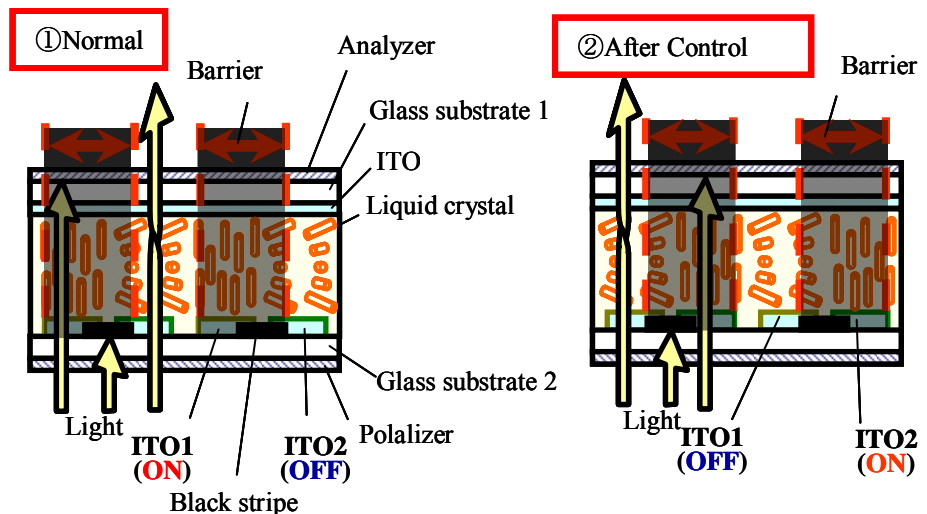


図 3.3-5 開口部を移動可能なバリア構造

して得られる立体視範囲の比較を示す。分割制御することで、分割制御しない場合と比較して、約 3 分の 1 の立体視範囲の拡大が可能となる。実際の実験においては、人の感覚はシミュレーションほど厳格ではないので、約 5 分の 1 の立体視範囲の拡大が確認されている。

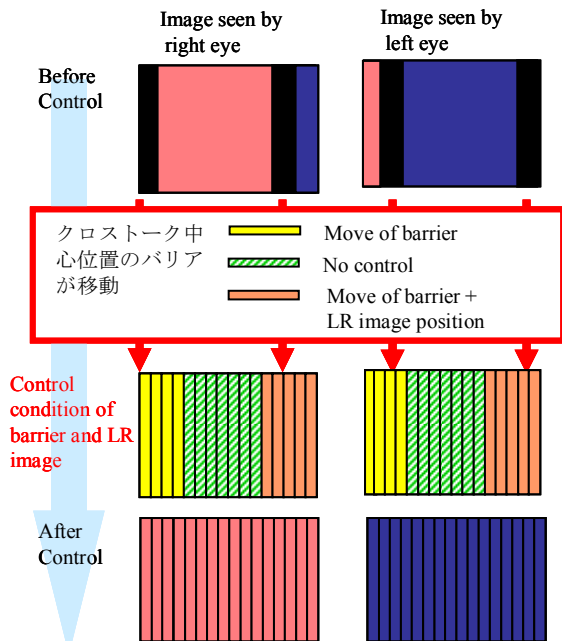


図 3.3-6 バリア位置と画像の制御の状態

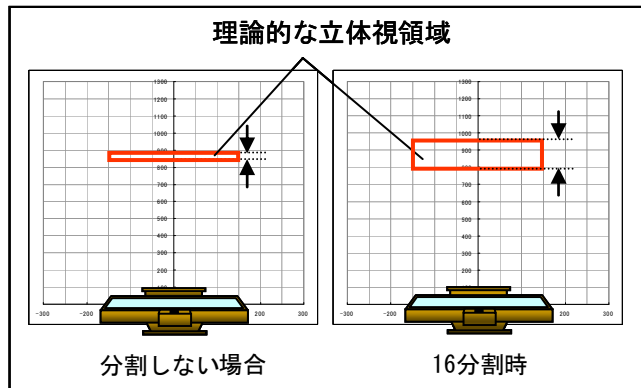


図 3.3-7 立体視範囲の比較

3.3.2 多視点方式における見え方の解析と視点画像幅の最適化による改善

裸眼式 3D ディスプレイの観察範囲を広げる技術として多視点表示技術がある^[3]。例えば、視点数を 2 視点から 4 視点に増やすだけで、2 視点方式の場合は 50%の割合で存在していた逆視が 4 視点の場合は 25%の割合となるので、逆視の問題は大幅に低減可能となる。観察者が最適観察距離を離れた場合でも、画面内部に発生する逆視の領域は 2 眼式と比較すると大幅に低減されるので、どこからでも立体視可能な感覚が得られる。視点数をさらに増加すると、画面内部に発生する逆視領域が低減するのでさらに効果的である。

図 3.3-8 に観察者が最適な観察位置より離れた場合の観察状態を示す。図に示すように観察者が最適な観察位置から離れた場合、右眼と左眼にはそれぞれ画面内に視点画像がストライプ状に混ざった状態の画像が観察される。これを、画面内の領域とに分析すると図 3.3-9 の状態となる。図のよう

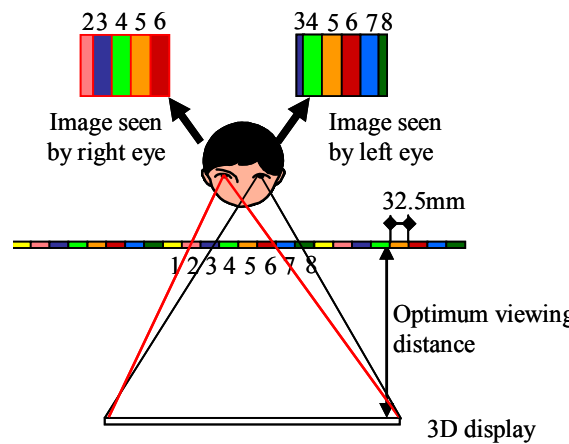


図 3.3-8 視点画像幅 65mm 時の見え方

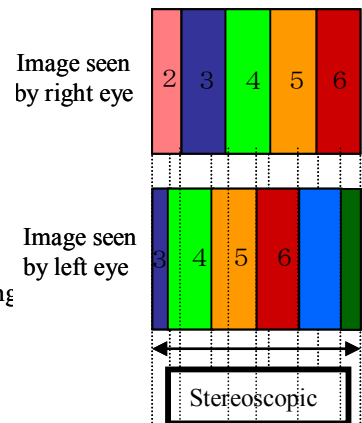


図 3.3-9 右眼観察画像と左眼観察画像の比較

に、画面内の 1 部に 2D 画像が観察される領域が発生するために、画面内に違和感を感じてしまう領域が発生する。これの 止対策としては、視点画像幅を狭くすることで改善可能である。視点画像幅を従来の半分に狭くした場合(65mm>32.5mm)の、観察者に観察される画像を図 3.3-10 に示す。図のように視点画像幅を狭くすることで、画面内に観察されるストライプ画像の幅は狭くなる。これを領域とに分析すると図 3.3-11 のようになる。図のように画面内全ての領域において、立体視の アが形成されるので、画面全面において立体視が可能となる。立体の効果、観察範囲と解像度の最適化 (必要以上に視点数を増加させない) という点で、視点画像幅 32.5mm が最適であると考えられる。

3.3.3 多視点ヘッドトラッキング

(1) 多視点ディスプレイにおけるヘッドトラッキングのメリット

バリア方式、レンチキュラー方式ともに、同じ映像が繰り返し見えてしまう現象がある。図 3.3-10 に示すように、繰り返し像は、本来見えるべき方向とは異なる方向においても光が見えてしまうことが原因であり、原理的に避けられない現象である。しかしながら、観察者の視点にあわせて、表示画像を切り替えることで、繰り返し画像を 似的に解消することが可能となり、視域も 似的に拡大することができる。つまり、観察者の視線をトラッキングすることで、繰り返し画像の回避並びに視域拡大が可能である。

2 眼ディスプレイの場合、右眼の映像と左眼の映像が交互に提示されているため、観察者の動きに合わせて、高速に画像を切り替えなければ、画像の切り替えが見えてしまう。その結果、観察映像のちらつきが発生してしまい、切り替えが遅れた場合は、逆視画像が観察されてしまうなどの課題があり、観察者の動きに高精度に追従する必要がある。

一方、多視点 3D ディスプレイは、ヘッドトラッキングをより効果的に利用することができる。つまり、観察者の見ていない視点の画像が存在し、その見ていない画像を切り替えるようにすることで画像の切り替わりを感じさせない、らかな視点切り替えが行えるというメリットがある。

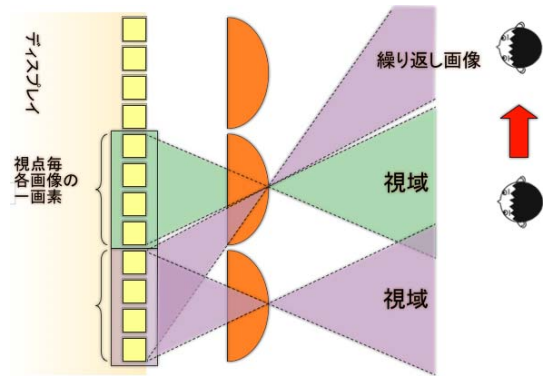


図 3.3-10 繰り返し画像

ヘッドトラッキングの要求精度は、大画面と小画面とでは異なる。

図 3.3-11 で示すように、大画面においては、観察者は、ディスプレイのどこを見ているかを知る必要がある。つまり、観察者の視線を検出しなければならない。一方、小画面の場合、観察者の視線は、ディスプレイ方向のみに限定することが可能であり、ディスプレイに対して観察者の頭の位置がどの方向にあるかを検出すればいいことになる。つまり、高精度な視線検出を行う必要は無く、観察者の頭の位置だけが検出できていればよいため、小型ディスプレイにおいてはヘッドトラッキングが効果的に利用できる可能性がある。

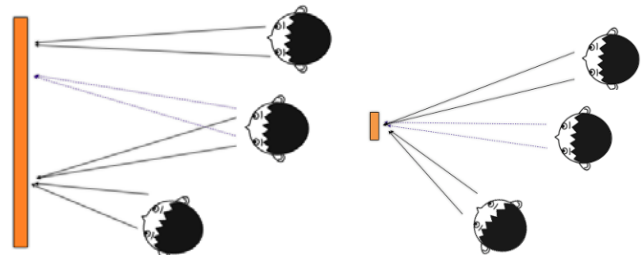


図 3.3-11 ディスプレイサイズとヘッドトラッキングの要求条件

高精度な視線検出を行う必要は無く、観察者の頭の位置だけが検出できていればよいため、小型ディスプレイにおいてはヘッドトラッキングが効果的に利用できる可能性がある。

(2) 小型多眼ディスプレイにおけるヘッドトラッキング

本節では、実際に小型 3D ディスプレイにカメラを つけ、ヘッドトラッキングにより繰り返し像を無くし、視域拡大を実現した例を用いて、紹介する^[4]。

図 3.3-12 のシステムでは、ディスプレイの上部に小型カメラが 取り付けられ、観察者の動きを検出することができる。

例えば、観察者が視点 A の位置にあるとき、カメラ映像は、画面中央に が映っている状態となる。このとき、観察者が、観察位置 B あるいは C の位置に移動するとカメラ映像では、観察者の が左、あるいは右にそれぞれ移動した状態で撮影されている。つまり、観察者の の動きをカメラ画像の解析によりトラッキングすることが可能となる。

大型ディスプレイであれば、カメラ画像から観察者の目を 検出し、瞳の位置から視線を

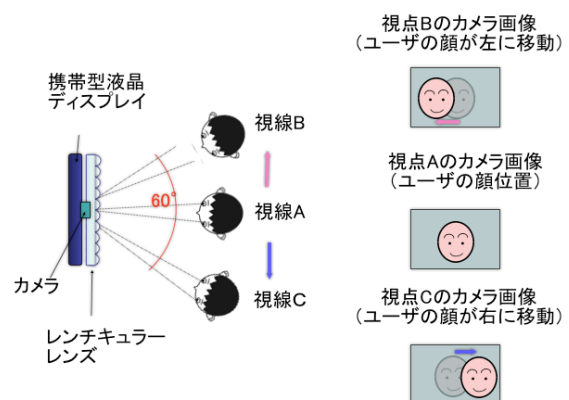


図 3.3-12 携帯サイズの3Dディスプレイとヘッドトラッキング

推定する必要がある。つまり、視線を精度良く推定するためには、小さな瞳を正確に出すために、高精細なカメラ画像が必要となる。一方、小型ディスプレイであれば、図 3.3-12 のようなカメラ画像から頭的位置を検出すればよく、高精細なカメラ画像が必要ない。つまりカメラ画像の画素数が少なく、大きな物体の検出でよいため、画像処理も簡易であり、高速に検出することが可能である。

観察者の観察位置が特定できると、その位置から見えるべき立体映像を提示すればよく、この立体映像の切り替えを観察者の動きに合わせてリアルタイムに切り替えればよい。

図 3.3-13 は 30 視点のディスプレイの例である。同時に 1 度間隔で異なる視点の画像を 30 視点同時に表示できるディスプレイである。この場合、一つの 3D 画像を表示することで 30 度の視域で立体映像を提示することができる。

図 3.3-14 は、トラッキング機能を用いることで視域が拡大できていることを示している。視域拡大機能を用いない場合、ディスプレイの視域は 30 度であり、観察位置が 30 度を超えると同じ画像が繰り返し見えてしまう。観察位置に応じて、画像を切り替えることで、図 3.3-14(b)に示すように、画像の切り替えが無く、当る観察位置での映像が表示されていることがわかる。このように、トラッキング機能を用いることで、立体ディスプレイの性能をより向上させることが可能である。

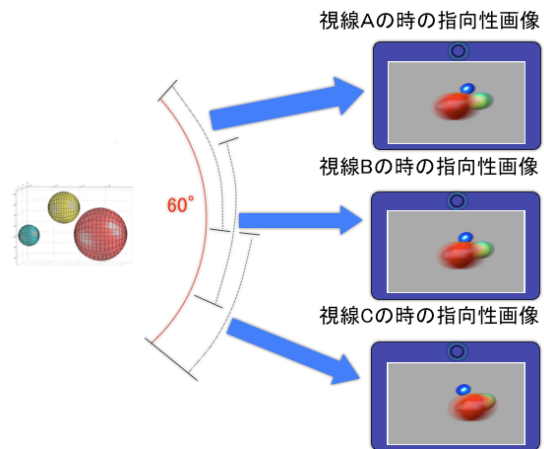


図 3.3-13 観察位置と表示される高密度指向性画像

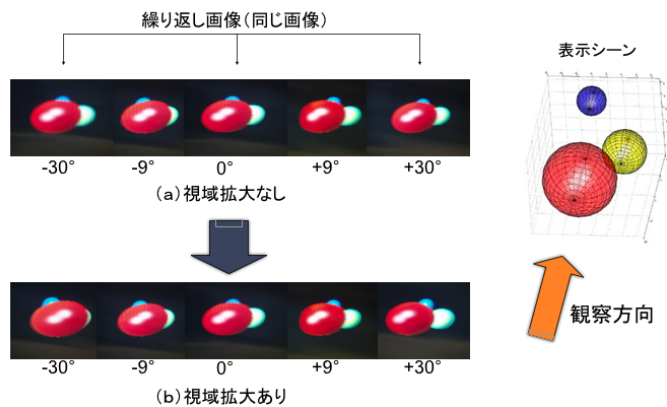


図 3.3-14 繰り返し画像の切り替えによる視域拡大

[参考文献]

- [1] G. Hamagishi et al.: “Stereoscopic LCDs without Special Glasses” , 1995 SID International Symposium Digest of Applications Papers, pp75-78 (1995)
- [2] G. Hamagishi, M. Sakata, A. Yamashita, K. Mashitani, and M. Inoue: “SXGA Non-Glasses 3-D Displays with New Image Splitter Head Tracking System” , SID Digest of Technical Papers, XXXI, pp.1216-1219 (2000)
- [3] K. Mashitani, G. Hamagishi et al.: “Step barrier system multiview glassesless 3D display” , SPIE Proc., 5292, pp265-272 (2004)
- [4] 井雅史、岡正樹、堀越力、高木康、 “モバイル用高密度指向性 3 次元ディスプレイの視域角拡大と 似フルパララックス”、3 次元画像コンプレックス 2006、4-2、2006

3.4 裸眼立体ディスプレイの評価

3.4.1 視覚疲労の要因となる項目

視覚疲労は、クロストーク、眼間 度差・色差・コントラスト差、逆視、3D モアレ等の様々な要因が関係する。これらの中で、裸眼立体ディスプレイにおいて 意すべき要因として、クロストークがある。クロストークとは、本来見えるべき光とは異なる光が漏れてくる光の量などにより定義することができる。

立体ディスプレイでは、左右の目に異なる映像を投影する。しかしながら、左右の目に入る光を完全に分離することは難しく、右眼あるいは左眼に、異なる視点の映像の光が必ず漏れてくる状態が発生してしまう。2 眼ディスプレイの場合、映像としては、右眼用、左眼用の 2 種類であるため、右眼に入ってくる漏れ光は、左眼の映像を構成する光であり、左眼に入ってくる漏れ光は、右眼の映像を構成する光が漏れ光となる。

立体ディスプレイにおけるクロストークの一般的な考え方として、本来見えるべき光（所望の光）に対する漏れ光の比が用いられる。

$$\text{クロストーク} = \frac{\text{漏れ光}}{\text{所望の光}}$$

また、このクロストークの逆数を用いて、3D 映像としてのコントラストという考えがある^[1]。

$$\text{コントラスト} = \frac{\text{所望の光}}{\text{漏れ光}}$$

この定義の意味は、漏れ光が少ないほど、コントラストの値が大きくなる。すなわち、クリアな 3D 映像が観察されることになり、3D 品質を測る一つの指標となりうるということがわかる。

そして、良好な状態で立体視ができるためには、左右の目にコントラストの高い映像が見えていなければならない。そこで、左右の目のコントラストの相 平均をとることで、立体視のコントラスト、すなわち 3D コントラストが提案されている。

$$\text{3D コントラスト} = \frac{(\text{右眼コントラスト}) + (\text{左眼コントラスト})}{2}$$

この 3D コントラストの値が高い領域を解析することで結果的に立体視可能な領域を求めることができる。

多眼ディスプレイに いても、基本的には、上記定義に基づいて解析することが可能である。多眼の特 は、漏れ光となり得る光が、2 眼タイプの用に 1 種類ではなく、多数存在するというのである。つまり、図 3.4-1 に示すように、

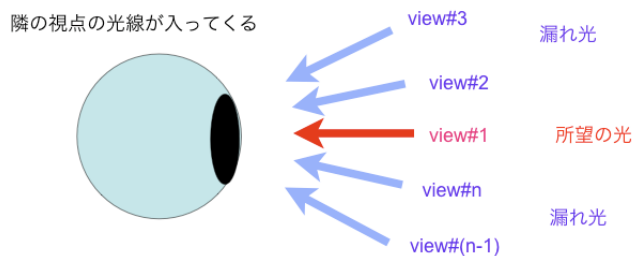


図 3.4-1 多眼ディスプレイにおける漏れ光の考え方

視点を有する多眼タイプのディスプレイの場合、漏れ光になり得るのは、(n-1)種類存在することになる。

3.4.2 立体視領域の解析

各視点のみを にした画像で各視点 との光線の分布を計測する。この光線分布から、観察者の目に、どの様な光が入射しているかを解析するこ

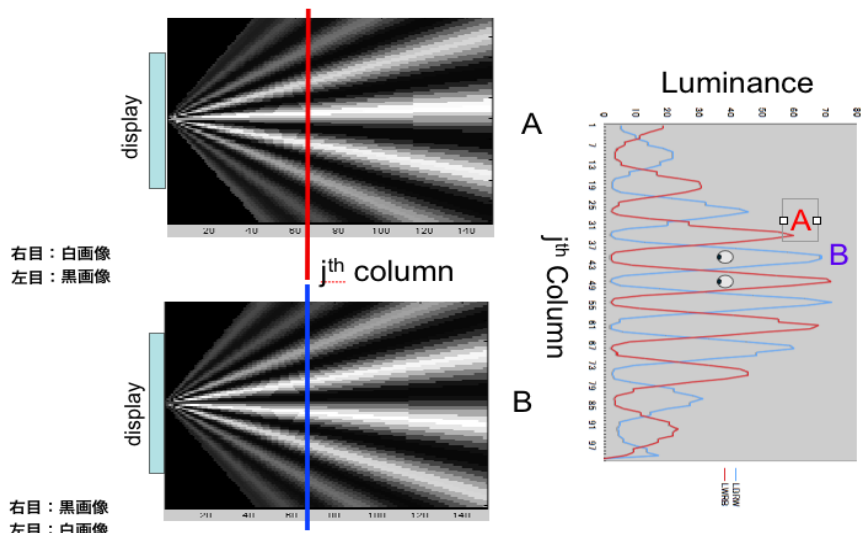


図 3.4-2 2 眼 3D ディスプレイの光線輝度分布

とで立体視の状態を評価することができる。

ディスプレイから放射される光を用いて、3D コントラストの高い領域を求めると、結果的に立体視領域 (QSVS:Qualified Stereoscopic Viewing Space) が算出される。

二眼タイプの放射 度分布計測結果を図 3.4-2 に示す。これは、右眼画像を、左眼画像を黒にした場合、並びに、その逆のパターンの画像を表示したときディスプレイから放射される光を計測した結果である。ディスプレイから、ある観察距離 (例えば 60cm) 離れた場所での 度分布は、図 3.4-2 左にある 度分布計測結果において、ディスプレイから 60cm 離れた位置に相当する線上の 度分布をもとめればよい。その結果が、図 3.4-2 の右図である。左右の目に入るべき光線が交互に放射されていることが確認できる。

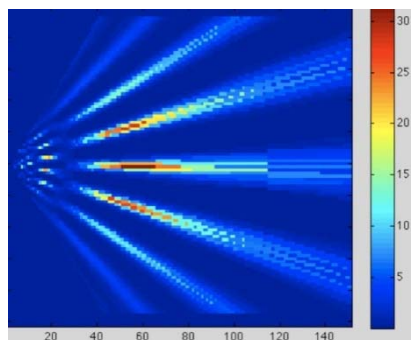


図 3.4-3 2眼3Dディスプレイにおける立体視領域解析結果(1箇所計測)

この 度分布計測結果を用いて、立体視が可能な領域、すなわち、左右の目に異なる 合う画像が両眼視差として観察される領域を解析する^[2]。

前節で述べた定義に基づいて、3D コントラストを算出した結果を図 3.4-3 に示す。

図 3.4-3 は、ディスプレイ画面中央から放射される光線の分布から解析した結果である。

ディスプレイ画面全体において立体視が可能なかどうかの状態を解析するには、通常、ディスプレイ中央だけではなく、画面の両端の光線 度分布の結果もあわせて解析が必要である。

図 3.4-4 は、3 所の計測下結果に基づき、改正記した結果である。両眼視可能

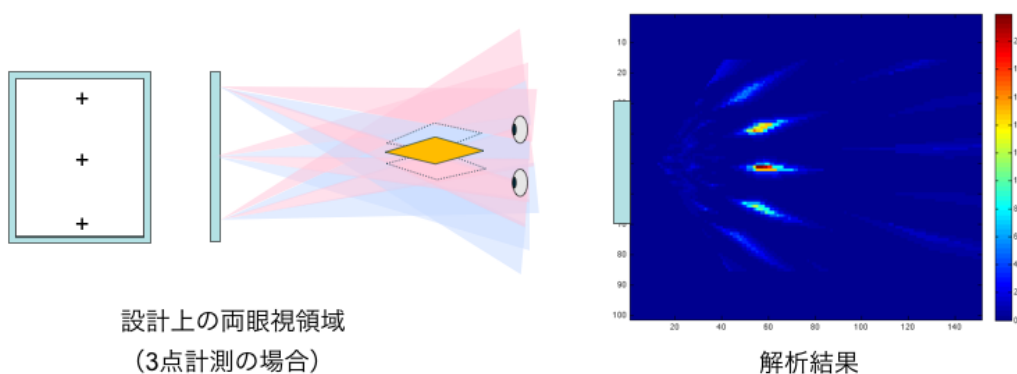


図 3.4-4 2眼3Dディスプレイにおける立体視領域解析結果(3箇所計測)



4.5inch LCD
2D解像度
1024x600pixel
3D解像度
200x100pixel

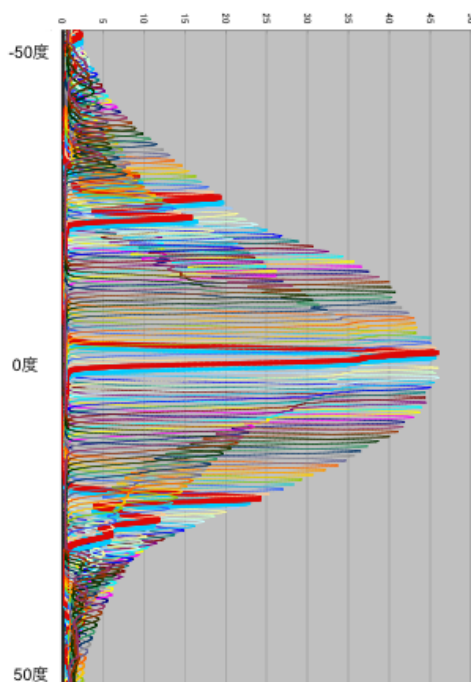
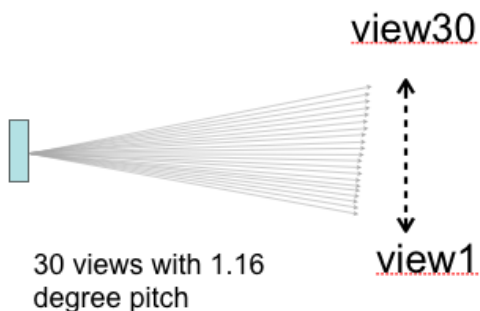


図 3.4-5 30眼ディスプレイの輝度分布計測結果

な領域が、ダイヤモンド状に形成されていることが確認できる。

次に、視点数の格段に多く、各視点の間隔が非常に狭いインテグラル方式のディスプレイに対して同様の解析を行う。

図 3.4-5 は、30 視点で 1 度ピッチで表示されるインテグラルディスプレイである。各視点が 1 度ピッチで高密度に表示されているため、各視点の光線は互いに重なり合っていることが確認できる。つまり、異なる視点の提示幅が細かいため、視点の切り替えには気づかず、らかな運動視差を実現できうることが、この計測結果から判断することができる。また、図 3.4-6 に示すように、観察位置が異なれば、異なる組み合わせの左右視点の画像が観察される。つまり、インテグラルディスプレイの視域が広い理由は、観察位置によって異なる視点の組み合わせで立体視を行うことになり、視点数が多いほど、この組み合わせ数が多くなり、結果的に立体視領域が広がることになる。

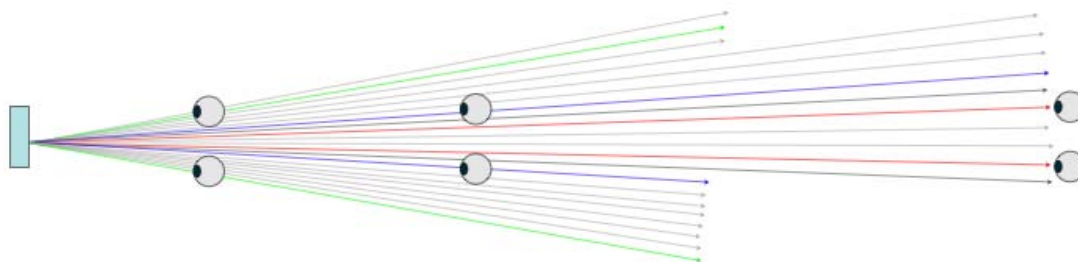


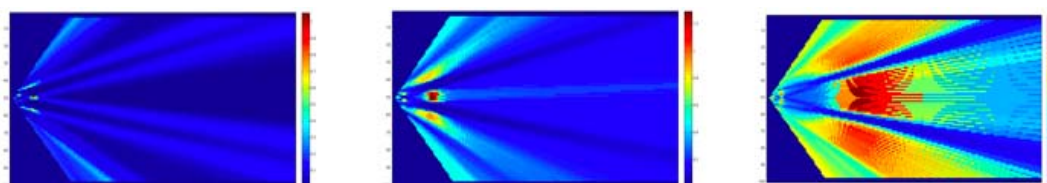
図 3.4-6 観察位置により異なる視点の組み合わせで立体視が成立

インテグラルタイプのディスプレイにおいても、観察者が立体視できる状態は、2 つの異なる視点の画像を見ているときである。つまり、図 3.4-6 のように異なる視点の組み合わせそれぞれのケースについて、2 眼タイプと同様の方式で解析を行うことで、インテグラルタイプにおいても立体視領域を解析することができる。

図 3.4-7 の、(a)は、視点 1 と視点 30 の 2 つの視点の画像で立体視ができる領域を解析した結果である。ディスプレイ近傍の一部の領域でしか、立体視が成立していないことが確認できる。

図 3.4-7(b)は、6 視点分離した視点同士で立体視が成立する領域、つまり、視点 k と視点 $k+6$ の組み合わせで立体視できる領域を解析した結果である。

図 3.4-7(c)は、視点 k と視点 $k+3$ の組み合わせ、すなわち 3 視点分離した視点画像同士で立体視できる領域を解析した結果である。立体視が可能な視点画像の間隔が狭くなれば、より遠くの距離から立体視が観察できることが確認できる。



(a) Step 29

(b) Step 6

(c) Step 3

図 3.4-7 異なる視点の組み合わせで立体視領域を解析した結果

3.4.3 クロストークとオーバーラップ

インテグラル方式の特長は、異なる複数の視点の画像が同時に観察されるという点がある。図 3.4-8 は、重なり合う異なる 2 つの視点の画像を表示したときの光線分布を計測した結果である。2 眼ディスプレイの場合は、異なる視点の画像は重なりが極力無いように表示されているが、インテグラル方式の場合は、光線がほとんど重なって表示されていることがわかる。

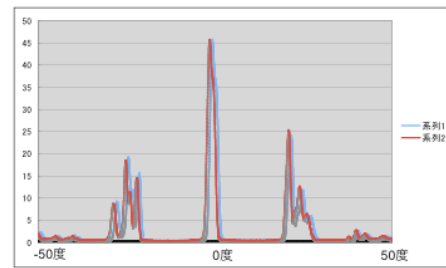
二眼の場合、異なる視点の画像が重なり合うと、クロストークとして現れる。一方、インテグラル方式は、異なる視点の画像が重なり合うことで一つの視点画像を構成する。つまり光線のオーバーラップを前提に設計されている点が 2 眼、多眼と異なる点である。従来のクロストークの考え方で評価すると、インテグラル方式は、異なる視点の画像が多く混入しているということになってしまい、インテグラル方式の本来の性能を評価していることにならない。

つまり、インテグラル方式は、漏れ光の量を評価するクロストークと、複数の視点の光(画像)の重なり合い(組み合わせ)で一つの視点画像を形成する光線、つまりオーバーラップしている光を区別して評価しなければならないことが本結果から確認できる。

裸眼ディスプレイの評価方法として、クロストークは立体視が可能であるかどうかを評価するために重要な要因であるが、単に漏れ光の量を評価するというだけでは、様々な3Dディスプレイを対等に評価することは難しい。

本節では、光学計測の結果のみから立体視の要因を分析したが、実際に漏れ光がどの程度入ってきたときに、立体視を害する要因となり得るかは、主観評価等を行い判断する必要がある。

インテグラル方式



2眼方式

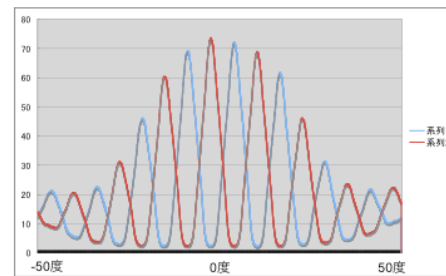


図 3.4-8 光線分布の3Dディスプレイタイプによる違い

3.4.4 2眼&多眼式3Dディスプレイの立体視可能範囲の評価

(1) 初めに

裸眼立体視に適する視認可能空間(Qualified Viewing Space, QVS)の基本概 として、2種類の空間 QBVS と QSVS が提案されている^[3]。QBVS(Qualified Binocular Viewing Space)は、3Dディスプレイにより誘起される視覚疲労を生じること無く、許容できる品位で画像を両眼で観察可能な空間である。視覚疲労の直接的原因として、眼間に生じる視差のクロストーク、 度差、色度差、コントラスト、さらにモアレなどが検討されており、加えて逆視の領域を QBVS 空間から 除することが必 である。視覚疲労が基本概 であるので、ここでは光線の広がりにより 2D 画像が観察される領域は対象外となる。

QSVS(Qualified Stereoscopic Viewing Space)は QBVS と同様であるが、特に、表示画面全面にわたって立体像を許容できる品位で観察できる空間を想定している。従って、QBVS と QSVS の領域は、前述したように観察される画面内に 2D 画像が発生するか を考察すれば判別できる。

(2) 多眼式3Dディスプレイの解析

(a) 視点画像幅 E (65mm) に設計した場合

図 3.4-8 は縦ストライプバリア、 はレンチキュラレンズを使用した4視点ディスプレイにおいて、各視点画像幅を65mmで設計した場合の4つの視点画像の集光を示している。図のように、設計上の観察距離(D)において、65mm幅の各視点画像観察領域が順に形成される。 、図には観察者が観察距離 D から離れた場合の右眼と左眼に観察される画像を示している^[4]。図のように右眼と左眼にはそれぞれ、画面内に視点画像がストライプ状に混ざった状態の異なる混合画像が観察される。これを、画面内の領域 とに比較すると図 3.4-9 の状態となる。

図のように、画面内の1部に2D画像が観察される領域が発生し、正常な立体視が得られなくなってしまう。

図 3.4-9 は観察者が、観察者の両眼の中心がこの領域に存在する場合に、画面の右端が視点画像2の2D画像として観察される領域を示す。図中、点線は画面の右端から、観察者の右眼と左眼に放出される光線を示している。図示のように、どちらの光線も、視点画像2の集光領域を通過している。これは、観察者の右眼、左眼ともに視点画像2を観察することに相当し、この観察者は2D画像の観察領域内に る事を示している。画面の一部が2D画像

として観察される領域(2D 観察領域)は多視点画像の集光領域(観察距離 D)以降で発生する。これは、本設計(視点画像幅 65mm)においては光の放射幅が、視点画像の集光領域を超える眼間距離幅 65mm を超えるからである。従って、光の放射は画面から遠ざかる程広がるので、2D 観察領域の幅は広がっていく。

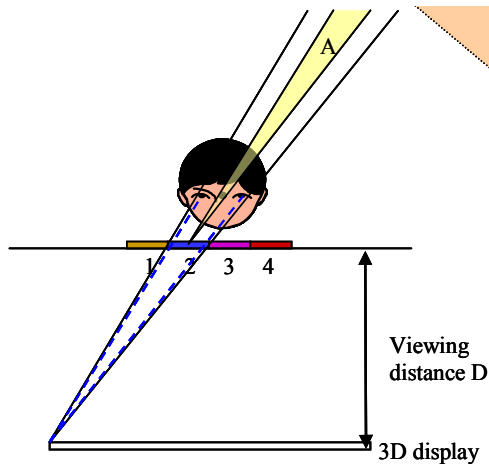


図 3.4-9 画面右端が視点画像 2 の 2D 画像観察領域

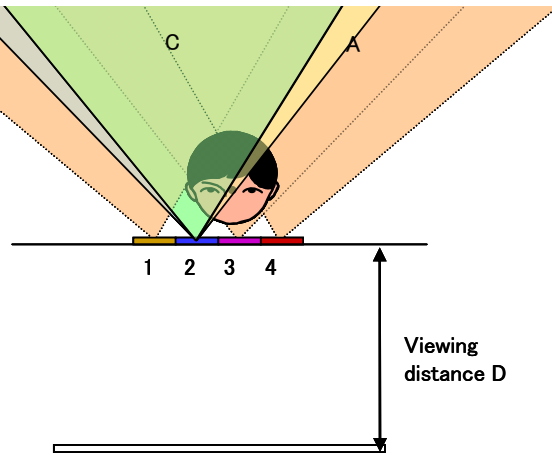


図 3.4-10 2D 画像観察領域

図 3.4-10 は視点画像 2 に注目し、画面内のいずれか一部が 2D となる領域を示している。領域 A は画面の右端、領域 B は画面の左端、そして領域 C は画面両端以外が視点画像 2 の 2D になる領域を示している。これは全ての視点画像において同じことが言えるので、視点

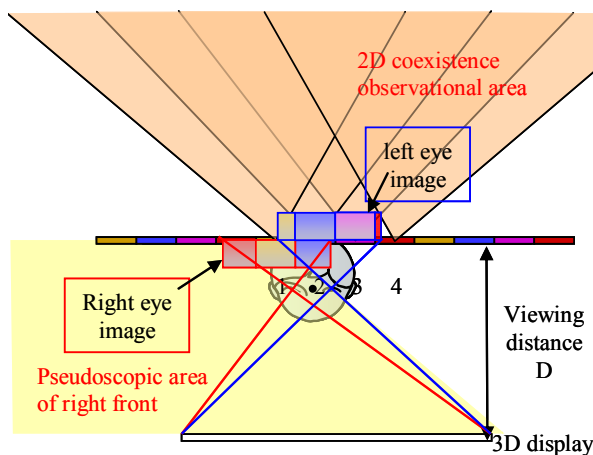


図 3.4-11 観察距離 D より近い位置での観察状態

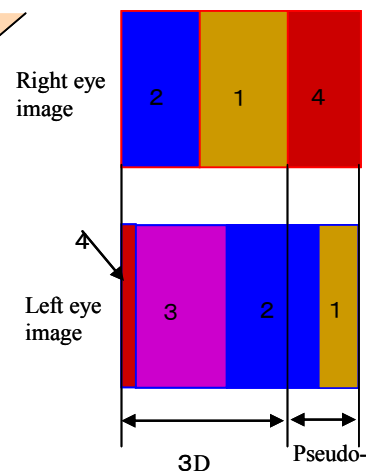


図 3.4-12 右眼と左眼に見える画像の比較

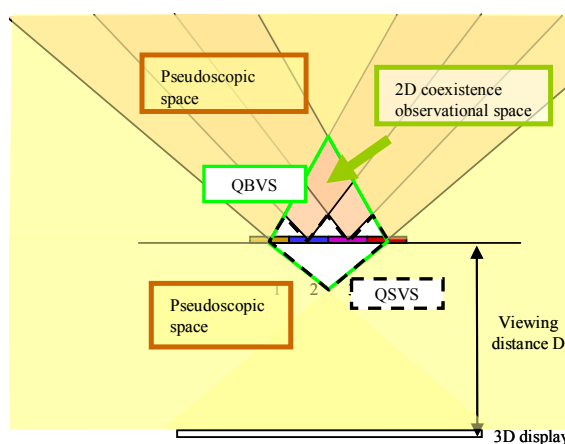


図 3.4-13 QBVS と QSVS

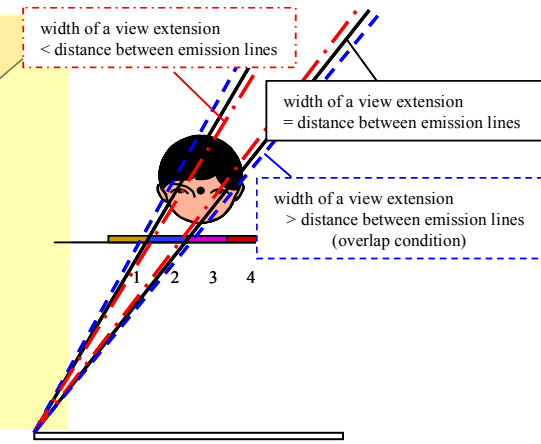


図 3.4-14 光線の広がり と視点画像の広がり

画像 1 から 4 において、画面の 1 部が 2D 画像に見える領域は図 3.4-9 に示す全ての領域となる。

図 3.4-11 は観察者が観察距離 D より近い距離から観察している状態での右眼と左眼に観察される画像を示している。これを、画面内の領域 とに分析すると図 3.4-15 の状態となる。図のように、画面内部には 2D 画像が観察される領域は存在しないが、1 部に逆視画像が観察される領域が発生する。これは視覚疲労上問題である。このように、画面内部 1 部でも逆視画像が観察される領域は QBVS から 除されるべきである。これを考慮すると、QBVS と QSVS の領域の関係は図 3.4-13 のようになる。QBVS は逆視を除いた領域、QSVS は QBVS より 2D 観察領域を除いた領域が 当する。

一般に、画面内に 2D 画像が観察される領域は下記を同時に満たす領域となる。

- ① 光線の広がり が (眼間距離) を超える。
- ② 片眼に複数の視点画像が入る。

即ちその領域は QBVS であるが、QSVS ではない。図 3.4-14 は光線の広がり と視点画像の広がり の関係を示している。一般にパララックスバリア等の設計においては、視点画像の広がり(ピッチ)に対して、光線の広がりを大きくすることも小さくすることも可能である。図において、

- ① 点線 視点画像の広がり < 光線の広がり
- ② 実線 視点画像の広がり = 光線の広がり
- ③ 一点線 視点画像の広がり > 光線の広がりである。

ここまでの解析では、「②光線の広がり = 視点画像広がり」としている。即ち光線のオーバーラップなどは考慮していない。しかしながら、実際の設計においてはモアレ 止のために③を採用する事が多い。

図 3.4-15 は①の場合と③の場合において観察者に観察される画面の例を示している。②の場合は図 3.3-8 で説明されており、解析において、特に問題は発生しない。

① 場合においては、視点画像の広がりに対して光線の広がりを狭く設計すればするほど、2D 領域が小さくなり、ブラック領域が生じる。光線の広がりがさらに小さくなると、2D が混在しないケースも出てくる。以上から、厳密に解析することは非常に困難となってしまうので、②としての評価に加え、モアレの評価で

QBVS、QSVS としてふさわしいかどうかの評価を実施することが必要となる。

③の場合においては、視点画像の広がりに対して光線の広がりを広く設計すればするほど、2D 領域が小さくなり、画像が混在する領域(クロストーク領域)が生じる。光線の広がりがさらに大きくなると、2D が混在しないケースも出てくる。このケースも厳密に解析することは困難であり。クロストークの評価による QBVS、QSVS としてふさわしいかどうかの評価を実施することが必要である。

以上のように、①と③の場合には、クロストークとモアレを人間工学的にどのように評価するかが、QBVS と QSVS の評価において非常に重要となってくる。これは、今後の裸眼 3D ディスプレイにおける評価の検討課題であり、そのための評価法確立が重要である。

(b) 視点画像幅 < E (65mm) に設計した場合

図 3.4-16 に各視点画像の集光幅を $E/2$ に設計した場合の状態を示している。この場合、2D 観察領域は視点画像集光領域よりも後方に存在する。図中領域 A は視点画像 4 において、

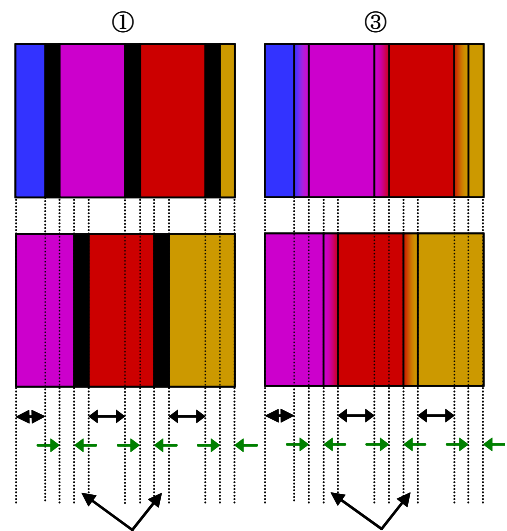


図 3.4-15 観察される表示画像

観察者が画面の1部でも視点画像4の2D画像を観察する領域を示している。

図 3.4-17 に、この場合の QBVS と QSVS を示す。解析を簡素化すると、QBVS はローブの境界より、 $E/2$ だけ内部となる領域となる。さらに QSVS は QBVS から、2D 観察領域を除いた領域となる。

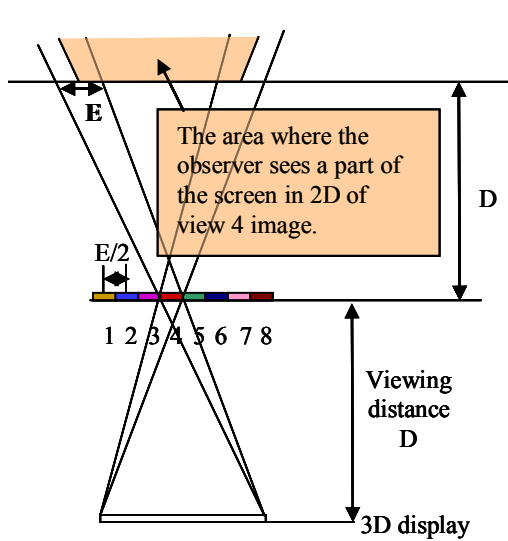


図 3.4-16 視点画像幅= $E/2$ の場合

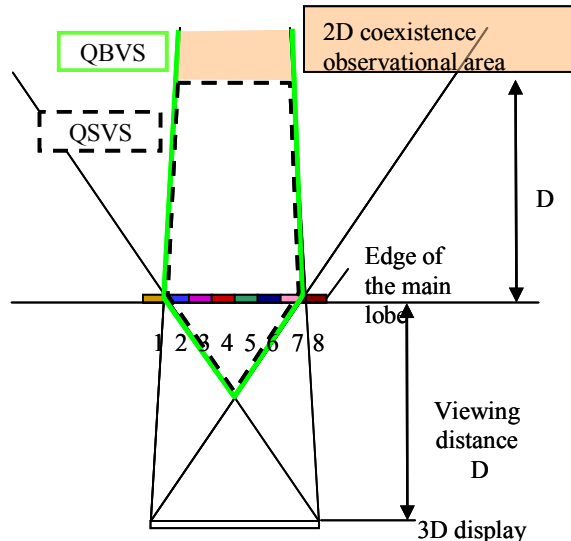


図 3.4-17 QBVS & QSVS

図 3.4-18 に、画面のサイズが図 3.4-13 と同じ場合、各視点画像の集光幅を $E/2$ に設計した時の QBVS と QSVS を示す。図 3.4-18 と図 3.4-13 を比較すると明らかなように、従来のローブの解析(QBVS 相当)^[3]では、視点画像幅 E の 4 視点と、視点画像幅 $E/2$ の 8 視点の多視点ディスプレイにおいて、立体視可能範囲の比較では明確な差は導出できないが、本評価によると、QBVS と QSVS の領域において、2 つの設計間で大きな違いが発生していることが分かる。

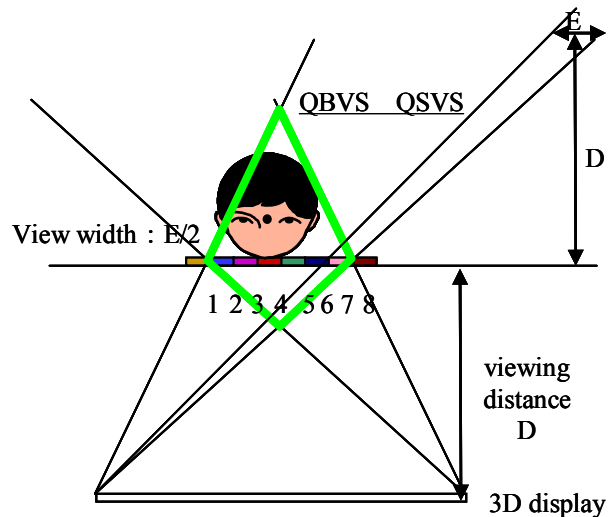


図 3.4-18 QBVS & QSVS
(画面の大きさが図 3.4-13 と同じ)

(c) 視点画像幅 $>E$ (65mm) に設計した場合

図 3.4-19 は各視点画像の集光幅を E より大きく設計した場合の状態を示している。この場合、2D 観察領域は視点画像の集光領域よりも前方に発生する。図中領域 A は画面の右端、領域 B は画面の左端、そして領域 C は画面端以外が視点画像 2 の 2D 観察領域になる領域を示している。

図 3.4-20 に、この場合の QBVS と QSVS を示す。解析を簡素化すると、QBVS はローブの境界より、 $E/2$ だけ内部となる領域となる。さらに QSVS は QBVS から、2D 観察領域を除いた領域となる。

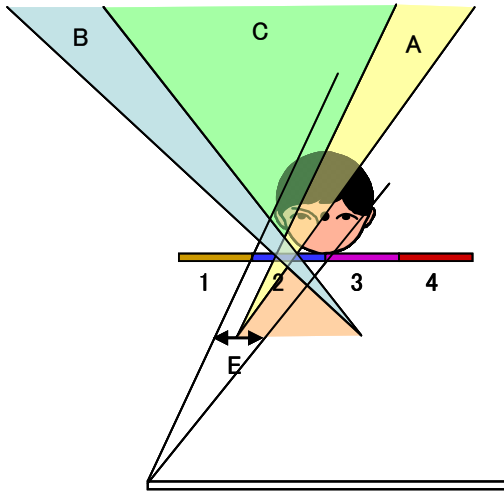


図 3.4-19 視点画像幅>E の場合

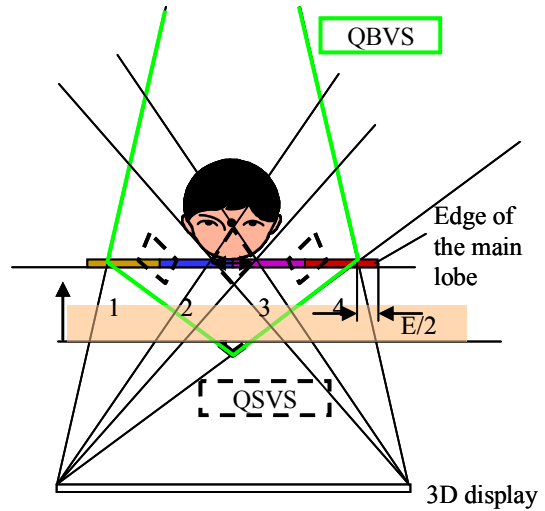


図 3.4-20 QBVS & QSVS

(3) 測定結果

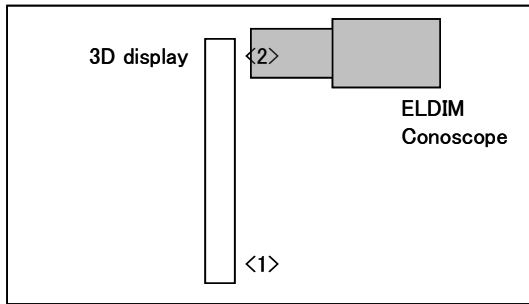


図 3.4-21 測定システム

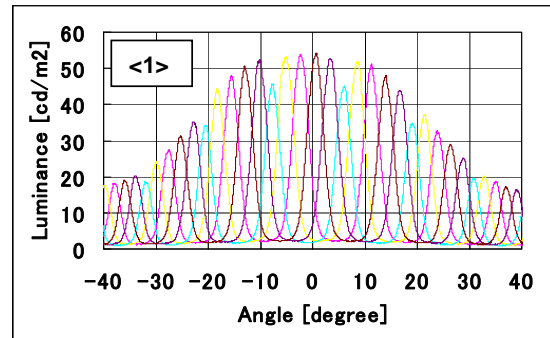


図 3.4-22 測定データ<1>

図 3.4-21 は測定システムを示している。測定用のディスプレイとしては 8 型 5 視点の裸眼式 3D ディスプレイを採用した。光の特性データは下記の手順で測定している。

- (a) 視点画像 1 に 表示、他の視点画像 2~5 は黒表示を行い、コ スコープのデータを取得
- (b) 同じ作業を他の視点画像 2~5 についても実施。

図 3.4-22 は<1>の場所に ける測定データを示している。このデータを元に、以下のようにして QBVS と QSVS を得る事が可能となる。

- (a) 度のピークより、光放出線を求める。
- (b) 視点画像 1 と 5 の光放出線から、境界線を求める。
- (c) 境界線の交点から 32.5mm 内側の点を求める。
- (d) この点と光の放出点を結ぶ線に囲まれた領域から、QBVS を求める。
- (e) り合う光放出線の間隔が眼間距離 E を越える観察距離を求める。
- (f) 上記観察距離と光の放出線より、2D 観察領域を判別し、QSVS を求める。

図 3.4-23 に解析結果を示す。

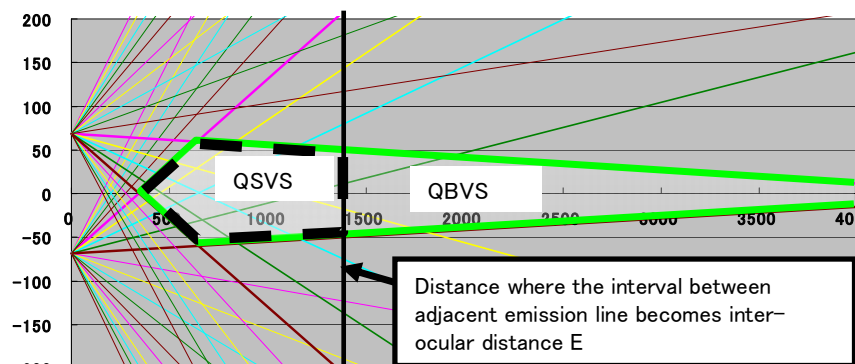


図 3.4-23 解析結果

(4) 2 視点方式 3D ディスプレイの解析

(a) 視点画像幅 E (65mm) に設計した場合

この場合の QBVS と QSVS の関係を図 3.4-24 に示す。

(b) 視点画像幅 > E (65mm) に設計した場合

この場合の QBVS と QSVS の関係を図 3.4-25 に示す。

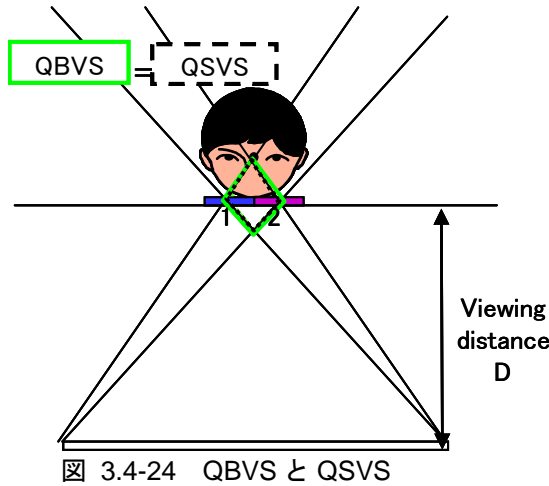


図 3.4-24 QBVS と QSVS

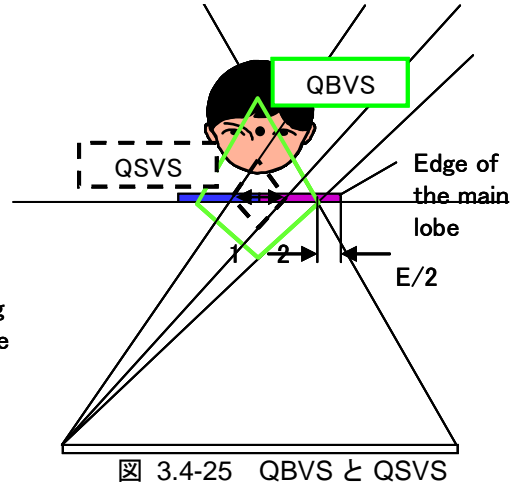


図 3.4-25 QBVS と QSVS

(5) 終わりに

以上、本評価法には、以下の利点が存在する。

- 1 逆視の発生しない領域 (QBVS) を求めることが可能。
- 2 光の広がり解析することで全画面立体視可能な領域(QSVS)を求める事が可能。

これまで、立体視可能領域としては、一般にローブ、(QBVS 相当)の領域が われており、画面内に 1 部でも 2D が観察される領域は全く考慮されていなかった。

一方、全画面が立体視可能な領域(QSVS)は、裸眼式 3D ディスプレイにおいて、正確な特性を示す事が可能な指標の 1 つである。

本論文では、QBVS と QSVS の判別法を示し、コ スコープを使用した測定と解析により、実現可能であることを実 した。しかしながら、本論分における QSVS の評価は、裸眼 3D ディスプレイの評価法の 1 つの 補であり、これだけでは十分とはいえない。当然、QBVS や QSVS を広くするには、視点画像の解像度を にする必要があり、ディスプレイの評価においては、これらを総合的に評価する必要がある。 、図 3.4-15 に示すように、モアレとクロストークも、相反する設計因子である。表 3.4-1 に裸眼 3D ディスプレイにおける、相反する設計項目を示す。

現状の裸眼式立体表示技術においては、3D 光学設計のターゲットにより、 れている点と っている点が必ず発生してしまうので、ディスプレイを正当に評価するには、これらの項目を、人間工学的評価に総合的に評価していくことが重要となる。

表 3.4-1 裸眼 3D ディスプレイにおける設計要因と左右される性能

設計要因	相反する性能	
①光線(視点)の数	3D 解像度	3D 視聴領域
②光線(視点)の広がり		(QBVS & QSVS)
③光線(視点)の交わり	クロストーク	モアレ

[参考文献]

- [1] P. Boher, T. Bignon, T. Leroux, “A new way to characterize auto-stereoscopic 3D displays using Fourier optics instrument,” EI09, 7237-37, (2009).
- [2] Tsutomu Horikoshi , Shin-ichi Uehara, Takafumi Koike, Kazuki Taira, Goro Hamagishi , Ken Mashitani, Akimasa Yuuki Naoko Watanabe, “Stereoscopic viewing space analysis based on optical measurements ,“ Proc. of Euro Display 2009, 6.2, 2009.
- [3] K. Taira et al.: “Variation of Autostereoscopic Displays and Their Measurement” , IDW 08 Proceedings of The 15th International Display Workshops Vol.2, pp1103-1106 (2008)
- [4] G. Hamagishi: “Analysis and Improvement of Viewing Conditions for Two-View and Multi-View Displays” , SID 09 Digest, pp340-343 (2009)

3.5 単眼レンズ 3D カメラ

3.5.1 はじめに

高臨場感かつ見やすい映像とは、どのように実現されるのであろう。この問いに対して、達は、特に、適正な視差、輻輳と焦点調節の関係、そして、時間解像度に意して開発を進めてきた。視差が大き過ぎる場合には、視覚疲労、箱庭効果、書き割り効果といった問題が生じやすい。輻輳と焦点調節が矛盾する場合には、長時間の観視によって、眼への影響も心配される。時間解像度の不足は、動画ボヤケやジャーキネス(映像がカタカタと見える化)といった動画質の低下により見づらい映像を生じやすい。これらの課題に対して、240fps(秒 240 フレーム)単眼レンズ 3D カメラの試作により、一定の解決策を得ることができた。以下にその開発概要を述べる。

3.5.2 背景

現在、3D 映画が過去最大の人気を集めているように、人の心理として高い臨場感の映像を求める向がある。そして、複数の企業においては 2010 年より 3D 映像を家庭においてできる環境の提供を準備しつつあり、その普及は加速的に進むものと予想される。家庭においては、映像を見る時間の制限も年齢の制限も困難であるため、映画より、一層生体に安全であることが強く望まれる。達は従来より、映像が視覚に与える影響を考慮することを重要とする視点から開発に取り組んできた。

(1) ハイフレームレートの効果と機器の開発

達が 2006 年に発表したハイフレームレートによる動画質向上の効果は、それまで、空間解像度に集中しがちだった画質の議論に対して、いくつかの研究機関や企業が、時間解像度の重要性に目を向ける一助となった。HD 画像を標準観視条件すなわち画面高さの 3 の視距離で見るときには、水平 1 画素はおよそ視角 1 分となり、通常の人々の目の解像限界に達する。しかし一方で、視覚刺激移動呈示装置(スクリーンムーバー)を用いた達の視覚実験では、実体の空間周波数チャートを見たときと、その 60fps 程度の映像を見たときとでは、眼を追従して解像できる限界の速度に(8 以上の)大きな違いが存在する。これはすなわち、従来のフィルムやビデオの映像は、動きのある被写体に対して、表現力が大きく不足していることを示している。そこで、達は続いて、必要なフレームレートを求める実験を行った。実験の方法は、垂直同期周波数を 480Hz まで高めた改良 CRT による実験表示装置を作り、1000fps の高速カメラで撮影した映像からフレーム加算により 500fps、333fps、250fps、125fps、62.5fps の視覚刺激を作り、500fps の映像に対する呈示映像の違いの判定を 5 段階評価の心理物理実験として行った。その結果、ボヤケに着目した場合でも、ジャーキネスに着目した場合でも 250fps 近辺に違いがわからなくなる、いわゆる知覚限界が存在することがわかった。すなわち、250fps 以上にフレームレートを高めても、人には見分けることが困難となることから、映像機器の目標スックとして 250fps 近辺が適切であることがわかった。そこでさらに、24fps の映画や 60fps のビデオを考慮し、それらのレートの整数 数である 240fps を理想的なフレームレートとして提案した^{[1][2]}。一般に、画像処理、信号処理を行う際に、端数の生じる変換は困難を伴う。よって、例えば撮影映像と CG を合成するといった映画制作手法においても、両者を整数比にて混合する簡便な処理が可能であることはワークフロー上効果が大きい。現在、数社より 240fps の TV を発売また発表している背景には、240fps が、こうした動画質向上効果のための理想的スックであることが大きな理由として存在している。

れた動画質の映像を提供するためには、ハイフレームレート化はディスプレイ表示のみならず、撮影時においても適用することが重要である。達は、240fps のカメラ機器、ストレージ機器、編集機器、伝送機器、プロジェクタ等表示機器についても総合的に開発を進め、240fps の映像制作を可能とするプロトタイプシステムを開発し、実験撮影を繰り返してきた。その結果、240fps により、サッカーやテニスなどのスポーツ映像、動きのある自然映像、ステージ映像などにおいて、従来のフレームレートの映像では得られない、見やすく高い動画質が得られることが確認された。

(2) 3D機能の追加

2007年には上記のハイフレームレート機器において、さらに高い臨場感の実現を目指して、カメラに同時分光型単眼レンズ 3D 機能を追加した。本カメラを用いて、2008年に FIFA Club World Cup などの実験撮影を行い、その映像は CES (Consumer Electronics Show) 2009 や、CEATEC (Combined Exhibition of Advanced Technologies) 2009 にて展示し、たいへん好評を得た。本カメラの原理は、概要をソニーのプレスリリースで紹介し^[3]、さらに詳細を、その映像の総合評価とともに IDW2009 にて発表した^[4]。このカメラによって、単眼レンズ方式ゆえに見やすい視差の 3D 映像が提供されるとともに、輻輳と焦点調節の矛盾を解消する効果、また高い動画性能が得られている。このカメラの詳細を後述の 5.3 節にて、以下に従来のシャッター方式の 3D カメラの概要について述べる。

(3) 従来のシャッター方式単眼レンズ 3D カメラ

田、内ら(ソニー)は、シャッター方式単眼レンズ 3D カメラについて特許を出した^{[5][6]}。その上面概 図を図 3.5-1 に示す。

図 3.5-1(A)において、対物側 Lens1 の焦点距離 f に置かれた光軸上の 角いオブジェクトから反射する光は、Lens1 を通過後、平行光となり Lens2 を通過後、イメージセンサー上の光軸の位置に結像する。一方、Lens1 の焦点距離の内側に置かれた丸いオブジェクトからの光は、Lens1 を通過後、広がる光となり Lens2 を通過した後、結像距離は、イメージセンサーより遠方になるため、イメージセンサー上では、ボヤけた像を生じることとなる。ここで、図の光軸より下半分をシャッターによって遮光するとぼやけの重心は図の上方に位置する。シャッターによる遮光を逆に図の上方とした場合、すなわち図

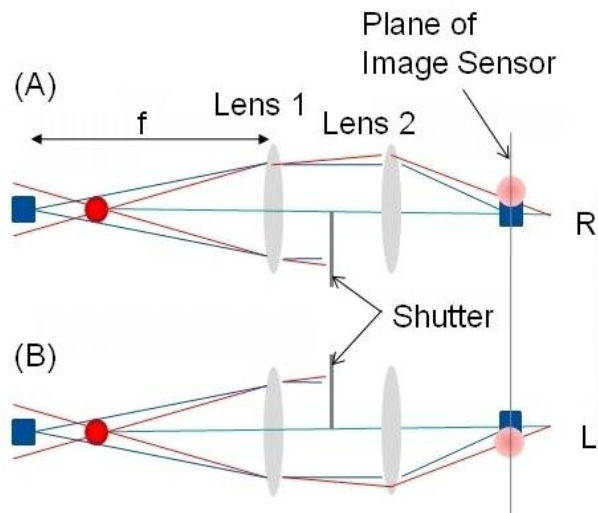


図 3.5-1 シャッター方式単眼レンズ 3D カメラ原理

3.5-1(B)では丸いオブジェクトのボヤけた像は図の下方に位置することとなる。結果として、これら 2 つの画像において、角いオブジェクトと丸いオブジェクトは、その距離の違いに応じた視差を持つこととなる。以上がシャッター方式単眼レンズ 3D カメラの基本原理である。本方式は、シャッターを開放していれば、本来、通常の像を結ぶ光学系であるため、上記 2 つの画像を合わせると一般の 2D 画像と同等となる性質がある。また、視差量がボヤけのオーダーであることから、見やすい立体映像が提供される。しかし、シャッター方式では、画像のフィールド とに光路を切り替えるため、左右眼用の画像の取得に、必ず 1 フィールドの時間差を生じることとなり、動きのある被写体の撮影では、違和感を生じやすいという課題があった。

3.5.3 同時光学分離方式

240fps 単眼レンズ 3D カメラ

そこで、達は、図 3.5-2 に上面図を示す、同時分離方式光学系を開発した。リレーレンズ (Relay lens array) は、メインレンズ (Main lens) で結像した空中の実像を伝送し、メインレンズの入射瞳 (Entrance Pupil) と同等の光線の状態を含む平行光領域 (Parallel light area) を経て、結像

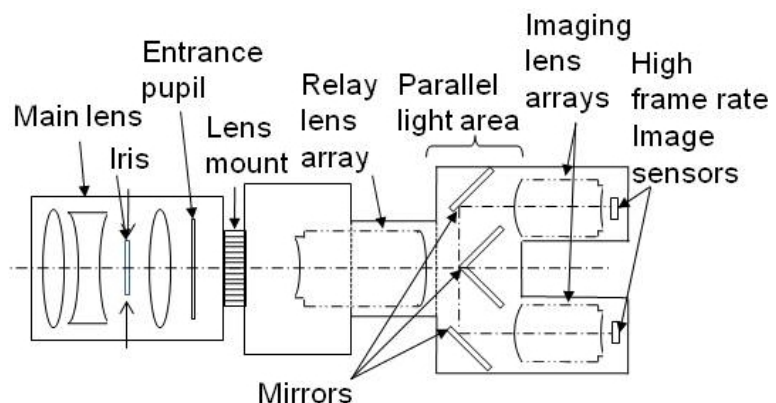


図 3.5-2 同時光学分離光学系

レンズ (Imaging lens arrays) にて HD240fps イメージセンサー(High frame rate Image sensors)上に像を生成する。ここで、平行光領域に鏡を配置し、左右画像成分を同時に分離することとした。本光学系では、メインレンズの光軸と左右イメージセンサーに結像するレンズの光軸は一致し、メインレンズの焦点を合わせた光軸上の対象点は、左右イメージセンサーの光軸上に結像する性質を有する。そして、焦点を合わせた対象点の前後のオブジェクトについて、その距離に応じた視差が撮像される。このことは、本カメラで撮影された映像は、フォーカスを合わせた部分を見ると、輻輳と焦点調節が一致し、見やすい画像となることを意味する。

(1) 等価的な基線長

以下に本カメラと同等の視差画像を取得する 2 眼カメラレンズ間距離、すなわち、等価的な基線長を検討した結果を示す。考察として、入射瞳を通過する光束を均等な光強度の円と仮定し、その左右半円の重心間距離が本カメラの等価的な基線長とえられる。(図 3.5-3)

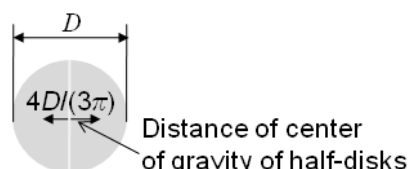


図 3.5-3 入射瞳における左右半円の重心間距離

ここで、入射瞳の直径 D は、レンズの焦点距離 f 、値 F を用いて、 $D = f/F$ と表すことができる。等価的な基線長の計算値は、 $4D/3$ となる。また、等価的な基線長の測定値は、5m の撮影距離に 30cm の奥行きオブジェクトを用意し、オブジェクトを画面の中心にえながらカメラを光軸にほぼ直角方向に、オブジェクトに向かって右側に移動し、右のセンサーが最初にえていた画像と同じ視差の画像を左のセンサーが撮像するまでの移動距離の測定を 3 回行い、その平均を測定値とした。

表 3.5-1 等価的な基線長

レンズ	計算値	測定値
Fujinon HAe10x10, F1.8, f=100mm, distance 6.5m	23.6 mm	20.0 mm
Fujinon HA42x13.5, F2.8, f=100mm, distance 6.5m	15.2 mm	12.0 mm

(2) 効果

図 3.5-4 に本カメラで撮影した対象サンプル、また図 3.5-5 に対象の A 部、B 部にフォーカスを合わせた画像、またそれぞれ加算平均した画像を示す。A 部すなわち石像にフォーカスをあわせた場合、その部分の左右画像の位置は良好に一致する。一方、B 部すなわちパプリカは位置が左右にずれる。しかし、そのずれ量は、ボヤケの幅のオーダーなので、加算平均した画像 (R+L) では、二重像に見えることなく通常の画像として見える。B 部にフォーカスを合わせた場合、同様に B 部パプリカの位置は左右画像で良好に一致し、背景に見える A 部石像は、位置が左右にずれる。しかし、そのずれ量は、やはりボヤケの幅のオーダーなので、加算平均した画像では、二重像に見えることはない。このことは、本方式で撮影した 3D 画像は、3D 眼鏡等で 3D としてすれば立体的に見ることができ、3D 眼鏡等を用いずに直接すれば、通常の 2D 画像のように見えることを意味する。



図 3.5-4 撮影の対象サンプル

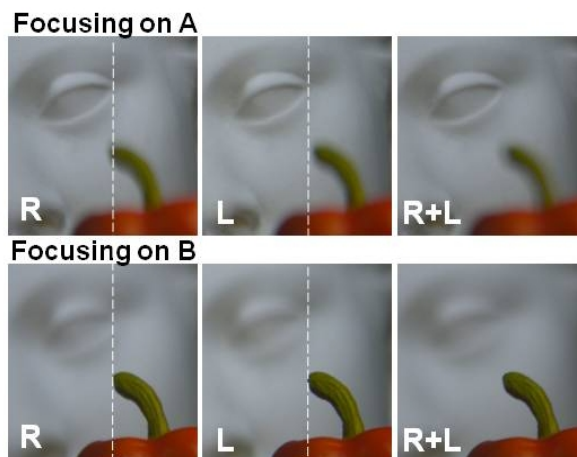


図 3.5-5 A、B フォーカス画像と加算平均画像

(3) 技術背景：眼の奥行き知覚の感度

上記で説明した撮像方式によって十分な奥行き感が得られる背景に、人の眼の視差に対する感度の高さがある。通常の視力 1.0 の人の空間分解能が 1 角分であることに對し、奥行きを感じる視差に対する感度は図 3.5-6 のように角秒のオーダーである。従って、HD の標準観視条件、すなわち、画面高さの 3 の距離から見た HD 画像において、左右画像の画素群の重心がサブピクセルオーダでずれるような視差であっても、それは人にとって、奥行き感を感じる手がかりになることを意味する。

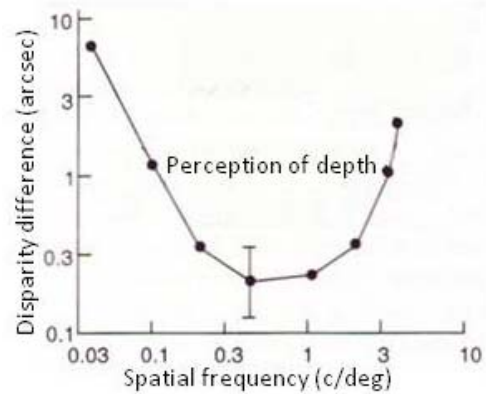


図 3.5-6 眼が奥行きを感じる感度 (17)より)

(4) レンズ操作が視差に与える影響

本カメラにおいて、レンズのズーム拡大によって視差は拡大する。視差 d の定義を輻輳角の差、また、 n のズームを n の見込み角の比 と定義した場合、単 一な幾何学計算から、 n のズームは n の視差を生じることがわかる。すなわち、本単眼レンズ 3D カメラ方式では、ズーム拡大によって、立体感が強まる性質を有する。また、その変化は、ズームに応じて連続的であり、 することがなく、自然なズーム撮影が可能である。また、レンズのフォーカス操作においても、カメラ自体を輻輳等で動かすことがないため、例えば僅かでも垂直視差が生じて不快な 3D 映像となること^[8]もなく、 らかなフォーカスの効果が実現される。

(5) カメラの特長のまとめ

開発したカメラの特長は以下のとおりである。

- (a) 240fps 両眼同時撮像による、知覚限界に達する動画質を実現。
- (b) 輻輳と焦点調節の矛盾のない、見やすく自然な 3D 映像を実現。
- (c) 3D 眼鏡をかけなければ、通常の 2D 画像として 可能。
- (d) 簡単で正確なレンズのズーム、フォーカス操作を実現。
- (e) 240fps 3.5”ビューフ インダーにより、動いている被写体にも正確にフォーカスを合わせやすい。



本体の大きさと重量 H200mm, W240mm, L480mm, 18kg
 図 3.5-7 単眼レンズ カメラプロトタイプ

3.5.4 おわりに

以上の研究開発によって、頭に示した、視差量や輻輳と焦点調節の関係に関する 3D の見やすさと動画質の課題について、一定の解決策を得られたものと思われる。今後、市場の要求に合わせた、さらなる技術の発展が期待される。

[参考文献]

[1] Yoshihiko Kuroki, Tomohiro Nishi, Seiji Kobayashi, Hideki Oyaizu and Shinichi Yoshimura, “Improvement of Motion Image Quality by High Frame Rate”, SID Symposium Digest 37, pp.14-17, 2006.

[2] Yoshihiko Kuroki, Tomohiro Nishi, Seiji Kobayashi, Hideki Oyaizu, Shinichi Yoshimura, “A psychophysical study of improvements in motion-image quality by using high frame rate”, Journal of SID, Vol15.1, pp.61-68, 2007.

[3] Sony press release 2009.10.1, “ハイフレームレート単眼レンズ 3D カメラの技術を新開発”, <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200910/09-117/index.html>, 2009.

[4] Yoshihiko Kuroki, “Improvement of Motion Image Quality by Using High Frame Rate from

- Shooting to Displaying”, IDW DES1-4, pp.577-580, 2009.
- [5] 田 室 美、特許 昭 55-50639, 公告 1980 年, 出 1972 年.
- [6] Koichi Takeuchi, Masami Himuro, Ko Ishimoto, Seisuke Ohba, US patent 7019780 B1, 2006, submitted in 2000.
- [7] Ian P. Howard, Brian J. Rogers, “Binocular Vision and Stereopsis”, Oxford Psychology Series No. 29, Oxford University Press, 1995.
- [8] Frank L. Kooi, Alexander Toet, “Visual comfort of binocular and 3D displays”, *Displays* 25, pp. 99-108, 2004.

ソニー(株) 黒木義彦

第4章 標準立体映像の制作

4.1 標準立体映像の必要性

図 4.1-1 に示すように、表示面から両眼視差情報のみで前後方向に立体映像を再現する際に、観察者の両眼立体視機能が満足に機能するかで、立体映像の見え方にも大きく影響される。両眼視差情報だけでは 2~4%の人が奥行き弁別できず、20%近い人が見にくいと える報告も見られる。このような点から、安定した立体映像空間を提供し、多くの人に違和感を与える 2 眼式立体映像を、自然で魅力的な立体映像にするためには、立体映像による空間の再現演出効果が観察者にとってどのような影響を与えるかを簡便かつ正確に評価できることが重要である。しかも、その効果を定性的な評価だけでなく、定量的にも評価できる標準映像の制作とその検査法を確立することが必要である。

今回の報告書では、見る人の立体視機能を中心に、立体表示が安定して見える表示性能や立体空間における映像効果をもたらす影響も簡便に調べられ、表示条件を変化させて比較するのが容易な CG 映像による標準映像を、次に示す要因について検討できる映像(4.2 標準立体映像参照)を制作準備した。

- (1) 表示性能に関わる評価要因 観察者の微小弁別距離差と同時に表示性能のチェック用
 - (a) 立体映像の画質:解像度(静止画・動画)、書き割り効果への影響度
平面映像の画質と比較して許容できる範囲
 - (b) 両眼提示性能:左右映像差の許容値 (視差検出能、視野闘争)、映像歪み(平行/交差法の比較)、視差再現域
 - (c) 両眼分離度:クロストーク(度/コントラストレベル、視差量により立体視が成立する範囲/二重像発生)
図 4.1-1 は、クロストークチェック用のチャート構成を示し、観察時の映像提示装置の調整等での目視チェックが可能である。
- (2) 観察者に関わる評価要因 立体視機能検査用としての基本条件
 - (a) 立体知覚に関わる視機能:視力差、眼位、両眼差許容、立体弁別能(最小弁別 ~融像最大視差量)
 - (b) 動知覚に関わる視機能:動き(表示面内、奥行き方向)追従能
- (3) 立体表示空間に関わる評価要因 A)+B)に基づく適正な立体表示条件
 - (a) 前後対象の安定した立体視成立範囲と奥行き再現範囲
 - (b) オクルージョン/視野闘争領域の許容範囲
不安定な見え方を低減する処理法

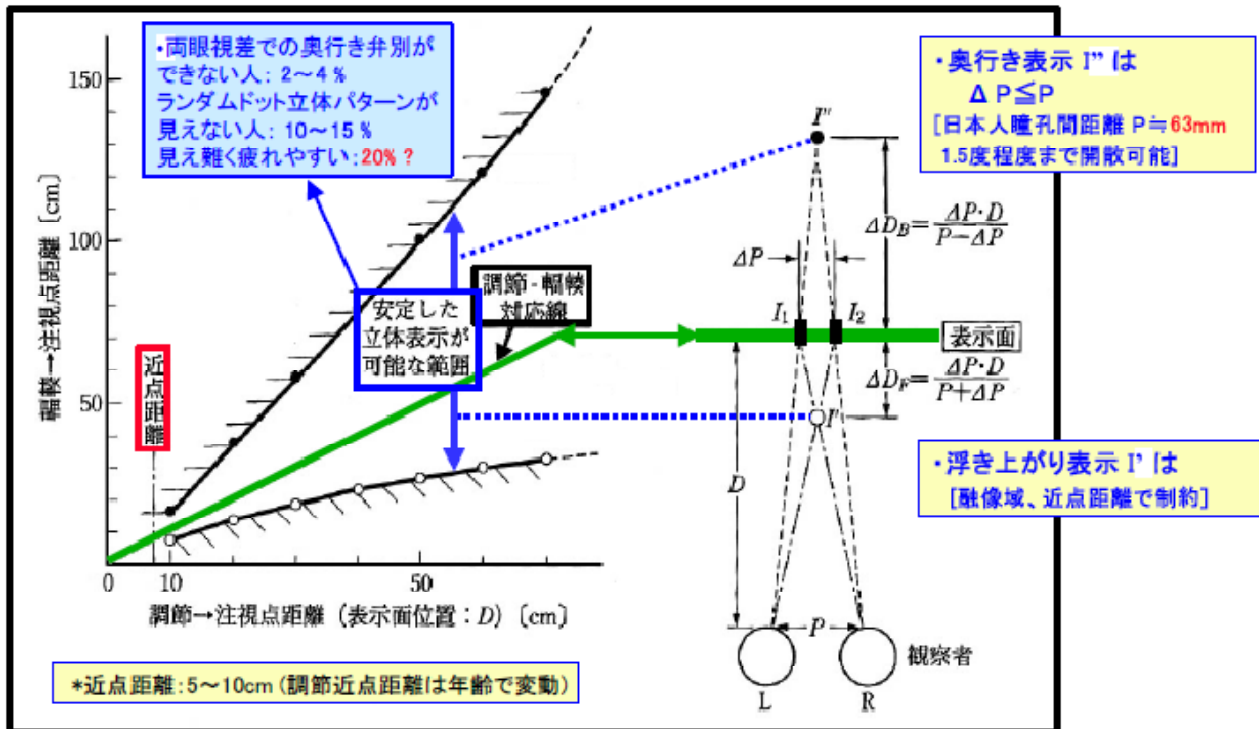


図 4.1-1 調節-輻輳関係の許容範囲

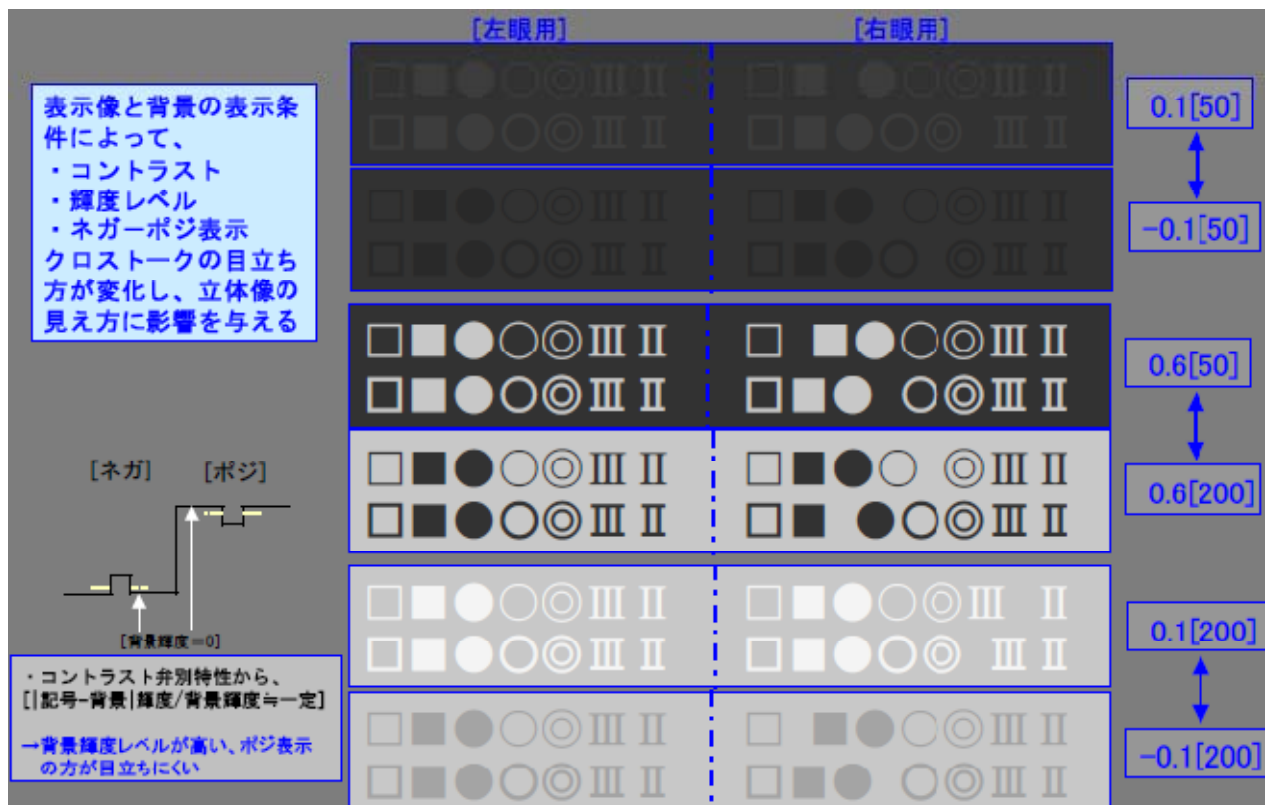


図 4.1-2 クロストーク用チャート構成

4.2 標準立体映像

開発した標準立体映像の仕様範囲は以下の通りである。

- ・ メーカー：Zalman 22 インチ 2 視点 WSXGA+ 3D ディスプレイ(限定)(図 4.2-1)
- ・ 3D ディスプレイ仕様・映像制作パラメータ仕様を、表 4.2-1 に示す。

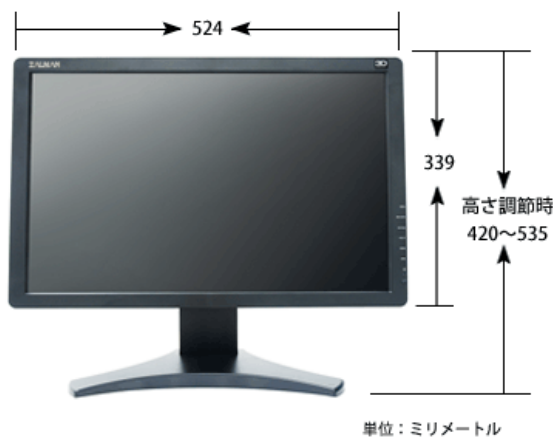


図 4.2-1 Zalman 22 インチ
3D ディスプレイ

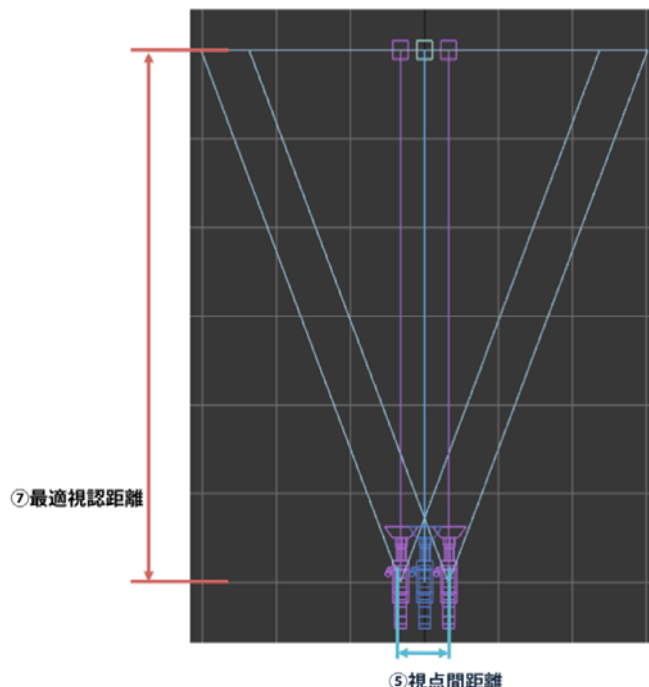


図 4.2-2 最適視認距離

表 4.2-1 3D ディスプレイ仕様と映像制作パラメータ仕様

3D ディスプレイ 仕様	
① 画面解像度(画素数)	1680 pix 1050 pix / WSXGA+
② 画面サイズ	22 インチ、 (幅)473.76mm (高)296.1mm
③ スクリーンアスペクト	16 : 10
ピクセルアスペクト	1 : 1
視点数	2(視点間距離 65.0mm)
1 視点あたりの解像度	1680 pix 1050 pix
最適視認距離	600mm
視域	水平視野角：90 度 垂直視野各：10~12 度
映像制作用 パラメータ仕様 (ディスプレイ仕様から算出)	
カメラ設定条件	V 透視投影 Perspective カメラ水平角 (48.4) 度
	直行投影 Orthogonal
カメラの配置方法	V 平行法 カメラ角度ピッチ (N/A) 度

(1) 平行法での 3D コンテンツ制作時に発生するクロッピング処理(図 4.2-3)

平行法レンダリングの場合、実際のディスプレイ領域よりも広域をレンダリングするため、レンダリング画像がディスプレイ領域部分をクロッピング処理する必要がある。

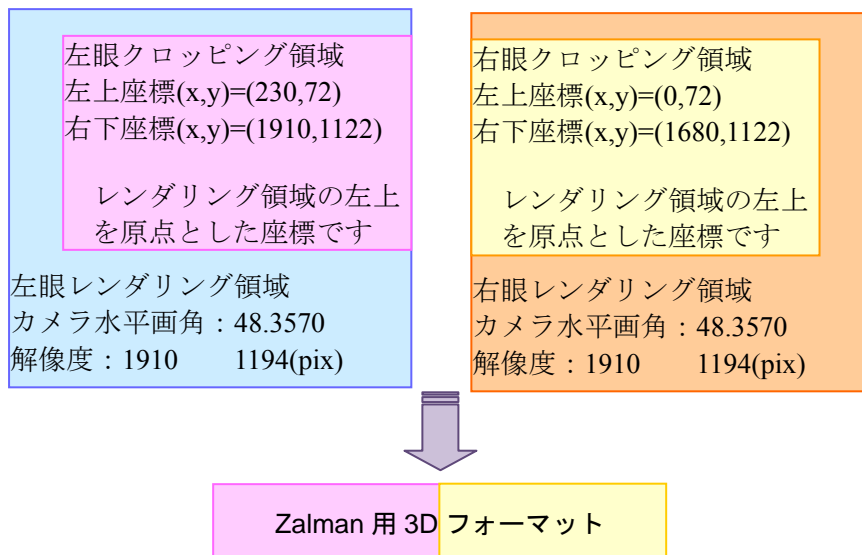


図 4.2-3 平行法でのクロッピング処理

(2) カメラの配置方法としては、交差法と平行法の両方をサポートする。(図 4.2-4)

交差法

- ・ 視差調整可能
- ・ 空間歪み有り

平行法

- ・ 対応領域調整(クロッピング処理)
- ・ 空間歪み無し

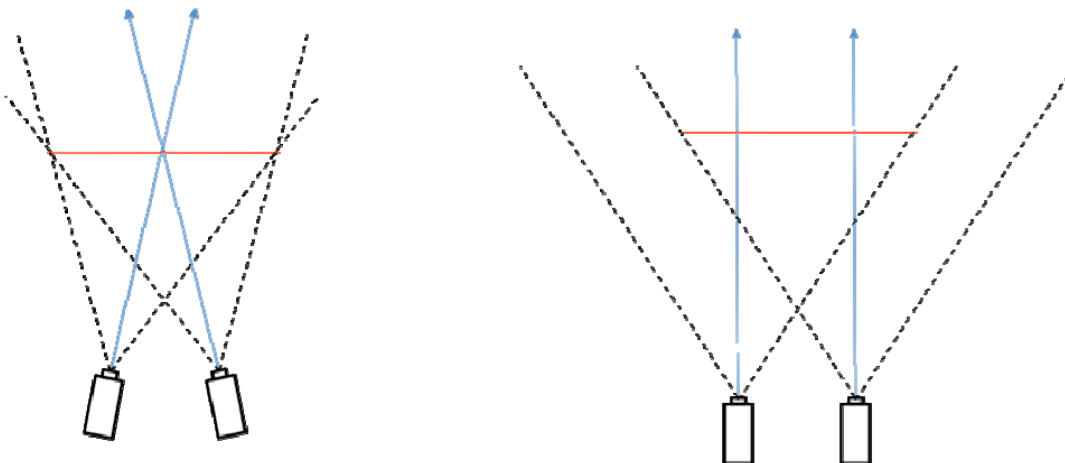


図 4.2-4 カメラ配置方法 (交差法と平行法)

(2) 平行法での 3D コンテンツ制作時に発生するクロッピング処理(図 4.2-4)

平行法レンダリングの場合、実際のディスプレイ領域よりも広域をレンダリングするため、レンダリング画像かディスプレイ領域部分をクロッピング処理する必要がある。

4.2.1 評価項目一覧

標準立体映像の評価項目の一覧を、表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 評価項目

	評価項目	評価映像内容	基本セット
【1】 微小弁別距離差			
①	カード 様や面などに浮き上がり量の異なる部分を作り、浮き上がり状態や順を答えさせるカード(様)の複線格子図形の分解状態を調べる		動画 3 種類
②	カードの移動速度を変化させ、前後・左右・上下・回転方向での 様の見え方を調べる		動画 30 種類
③	木立の小 や葉などの細かな部分を再現した画像から、表示解像度による立体感の変化を調べる		静止画 3 種類
【2】 融像最大距離範囲			
①	カードの 様(数字)の一部をスクリーン面上に配し、他の一部を手前・奥行方向に移動させて、両方の 様が安定して見える視差量を調べる		動画 3 種類
②	【2】 - ① に背景を入れ、 様と背景の位置関係を変化させた時の見え方を調べる		動画 9 種類
【3】 重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ(多眼式による改善度のチェック)			
①	画枠を基準位置にして、画枠にかかるカードの見え方を調べる		動画 2 種類
②	カード以外に固定物体を表示して、固定物体によって遮蔽されるカードの見え方を調べる		動画 1 種類
【4】 観察者の立体視機能と両眼情報の分離状態の検査			
	視野闘争やクロストークは視差量、コントラスト、ボケ状態などを変化させたパターンで調べる	—	(別図参照)
	両眼視力、眼位、同時視、融像などの両眼視機能を調べる	—	(別図参照)

4.2.2 映像性能検査用チャートコンテンツ

(1) 微小弁別距離差検査用条件

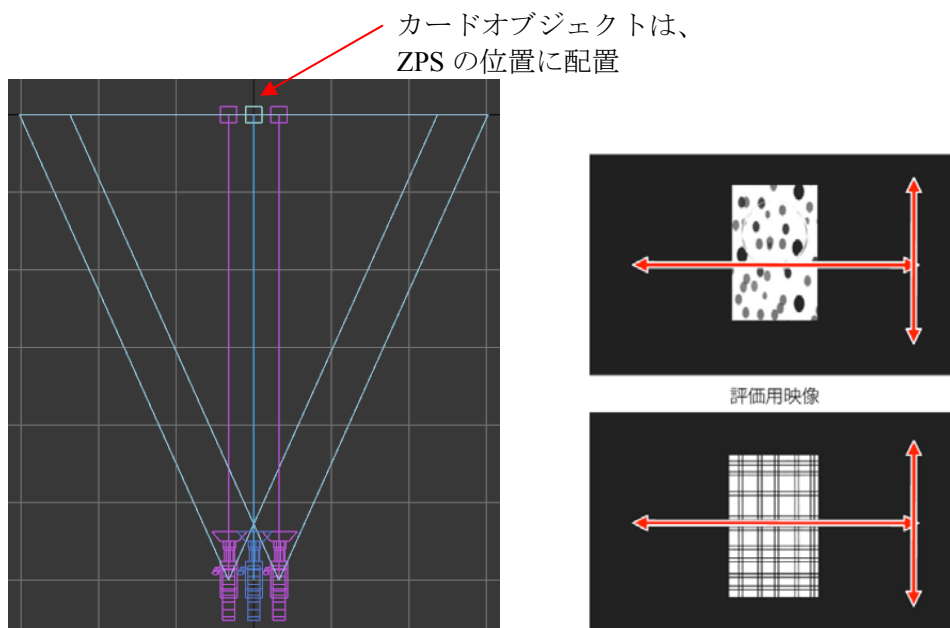


図 4.2-5 微小弁別距離差検査

- カード 様や面等に浮き上がり量の異なる部分を作り、浮き上がり状態や順を答えさせる。
- カードを返して、カード 様の複線格子図形の線分解状態や運動時のズレなどの見え方を調べる。
- カードは、画面で上下、左右、前後方向に、移動速度は3段階で移動する。

(2) カードデザイン(曲面・角面 凸弁別用パターン)

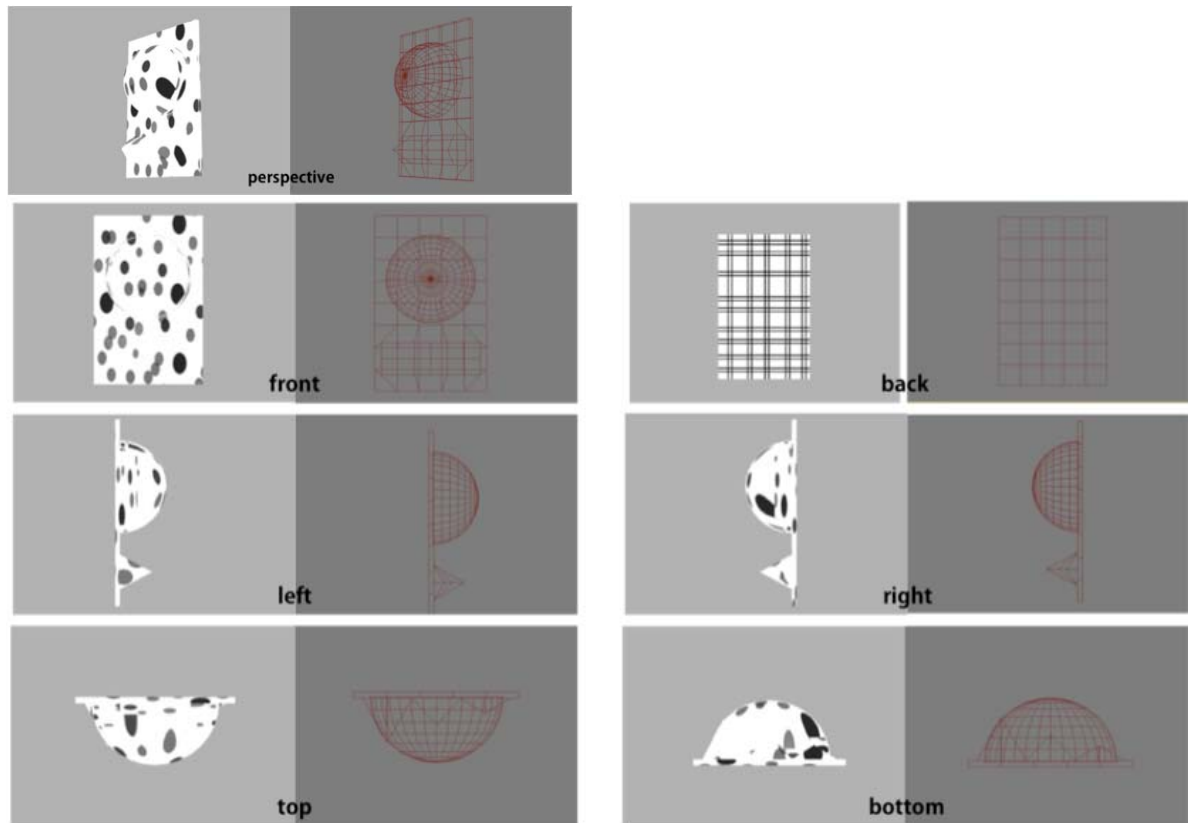


図 4.2-6 カードデザイン(表と裏)

- カード表面にはランダムドット 様で、上部に半球ドーム面(凸)、下部にピラミッド凸型(高さの異なる3個)が配 されている。
半球ドーム面の曲面の らかさ、どのピラミッド凸型まで立体的に見えるかを調べる。
- カード 面は、複線格子図形が描かれている。
静止時の縦横複線の分離状態からディスプレイの解像度を、カードの移動速度を変えた時の複線の見えから表示時間特性を調べる。
- カードのサイズについては、カードの高さはスクリーンの高さに対して約60%とする。

(3) カードデザイン(やかな 凸弁別特性用パターン)

- カード面を微妙に曲げて、その曲面状態に気づく度合いを調べる。カード 様は、規則ドット 様とランダムドット 様を用い、カードサイズや背景、カメラの位置を変化させた時の見え方を調べる。

- ・ 様 2 種類 サイズ 2 種類 背景 3 種類 視点位置 3 種類 36 種類

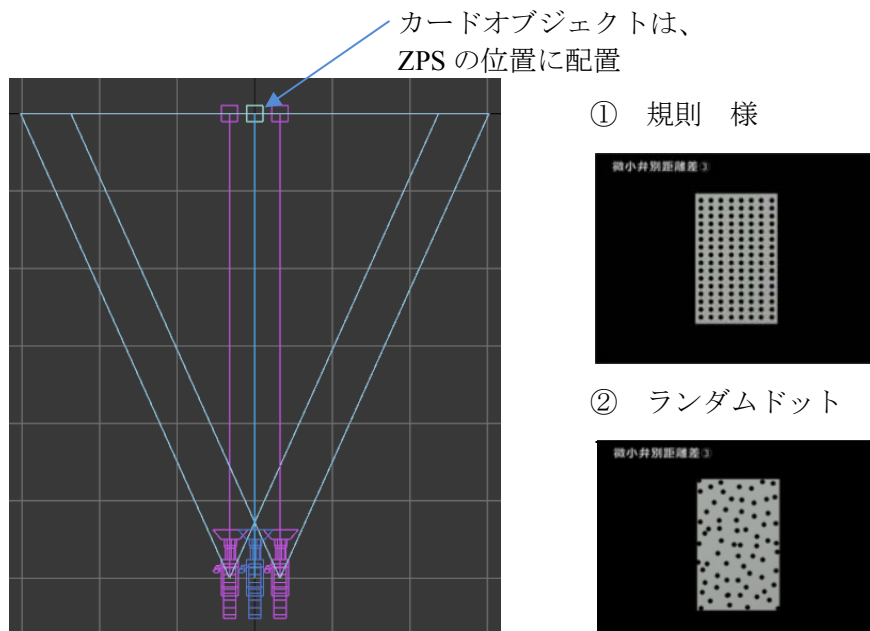


図 4.2-7 カードデザイン(緩やかな凹凸弁別特性用パターン)

(4) カードサイズと背景条件

- ・ 画面サイズに対して、高さ 60%、100%の場合で、画枠によるカードの立体感への影響を調べる。
- ・ 背景条件を、無地、無限 下、水平線を提示した場合でのカードの立体感を調べる。

表 4.2-3 カードサイズと背景

カードサイズ	中	大
画面イメージ		

上表内の(%)は、スクリーンの高さに対するカードオブジェクトのサイズ

カードサイズ	なし	無限 下	水平線
画面イメージ			

(5) 微小弁別距離差(移動状態での可動範囲)

カードを、前後、左右、上下移動と回転状態での、様(表)の見え方を答えさせる場合の映像の種類と可動範囲は以下の通りである。(図 4.2-8、表 4.2-4)

- ・ 前後・左右・上下 3 種類 可動範囲大 中小 3 種類 移動速度 3 段階 27 種類
- ・ 回転運動 1 種類 速度 3 段階 3 種類

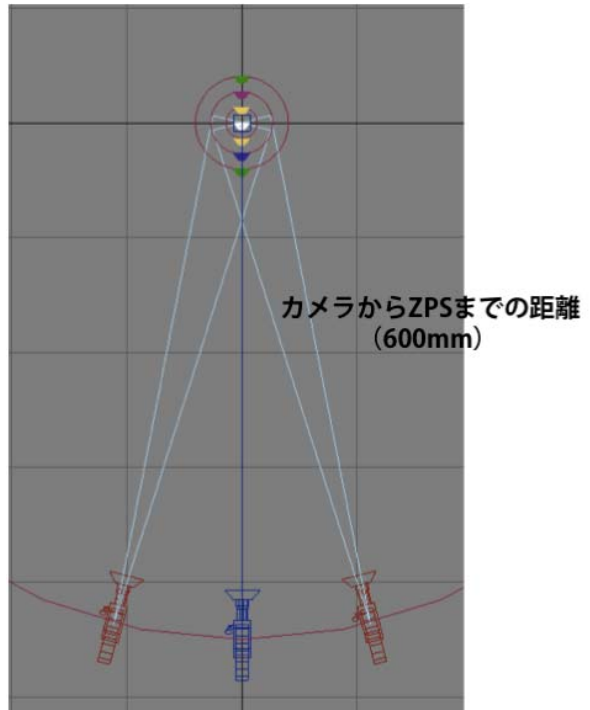


図 4.2-8 カメラとオブジェクトの配置図
(図のカメラ配置は交差法を記す)

表 4.2-4 オブジェクトの稼働範囲

可動範囲	小	中	大
前後	±25mm	±65mm (立体視が困難になる程度)	±105mm (立体視が困難になる程度)
左右	±40mm	±85mm	±130mm (スクリーン内に リ リおさまる程度)
上下	±30mm	±45mm	±60mm (スクリーン内に リ リおさまる程度)

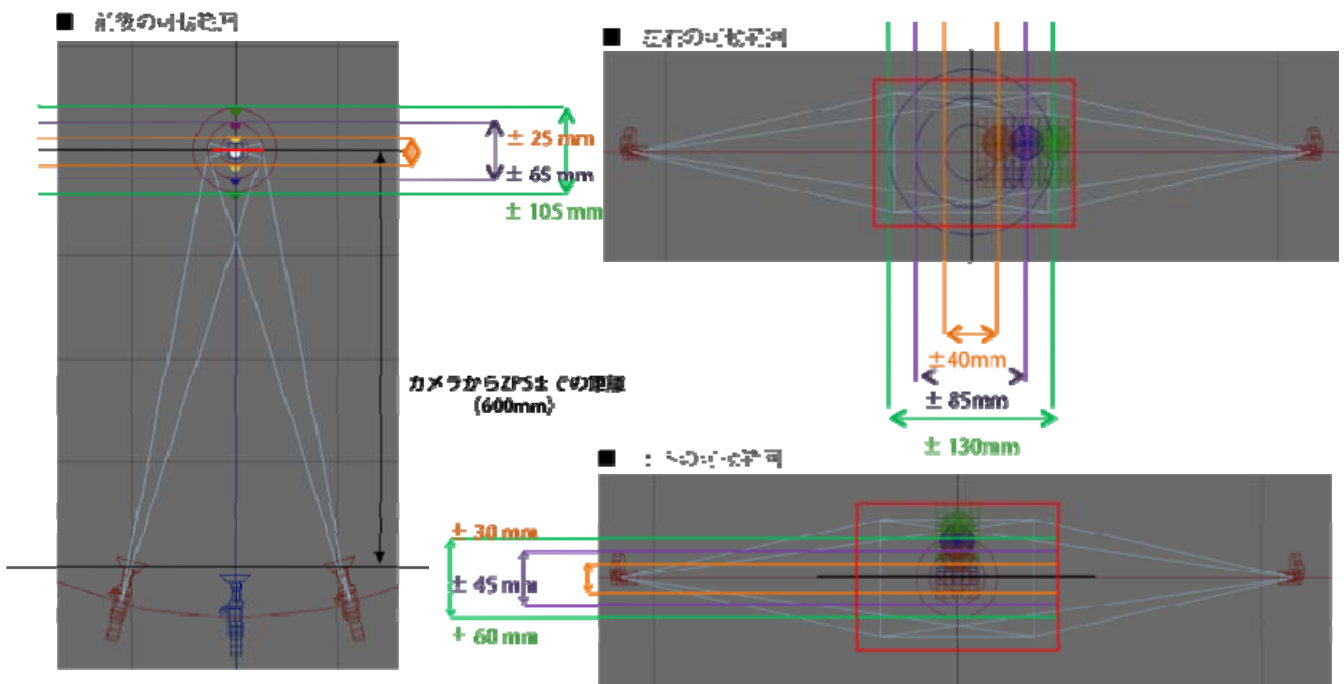


図 4.2-9 カメラとオブジェクトの配置図



■ 回転運動

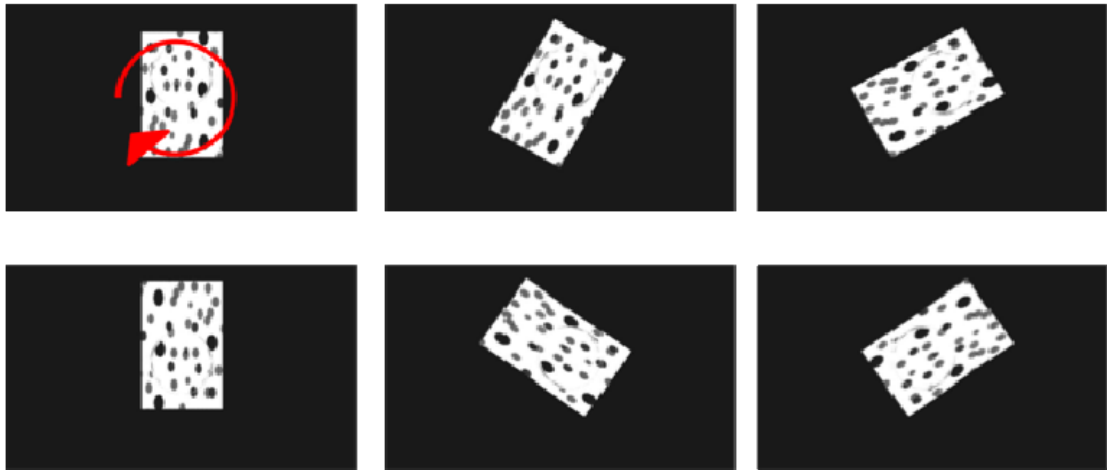


図 4.2-10 評価用映像(回転運動)

(6) 微小弁別距離差(解像度の変化による見えへの影響) 書き割り効果との関連

木立の小 や葉などの細かな部分を再現した画像から、解像度の低い画像を作成して木の立体感を調べる。

画像の種類：解像度3種類の静止画像 3

- ・ フル解像度：ディスプレイ最適解像度
- ・ ハーフ解像度：ディスプレイ最適解像度に対して、縦横： $1/\sqrt{2}$
- ・ クォーター解像度：ディスプレイ最適解像度に対して、縦横： $1/2$



図 4.2-11 解像度の変化による消え方への影響

4.2.3 映像性能検査用チャートコンテンツ (融像最大距離範囲)

(1) 融像最大距離範囲(均一背景)

様・数字の一部をディスプレイ面上に配置し、中央部のパターンを互いに手前-奥行方向に移動させた場合、両パターンが安定して見える融像範囲を調べる。

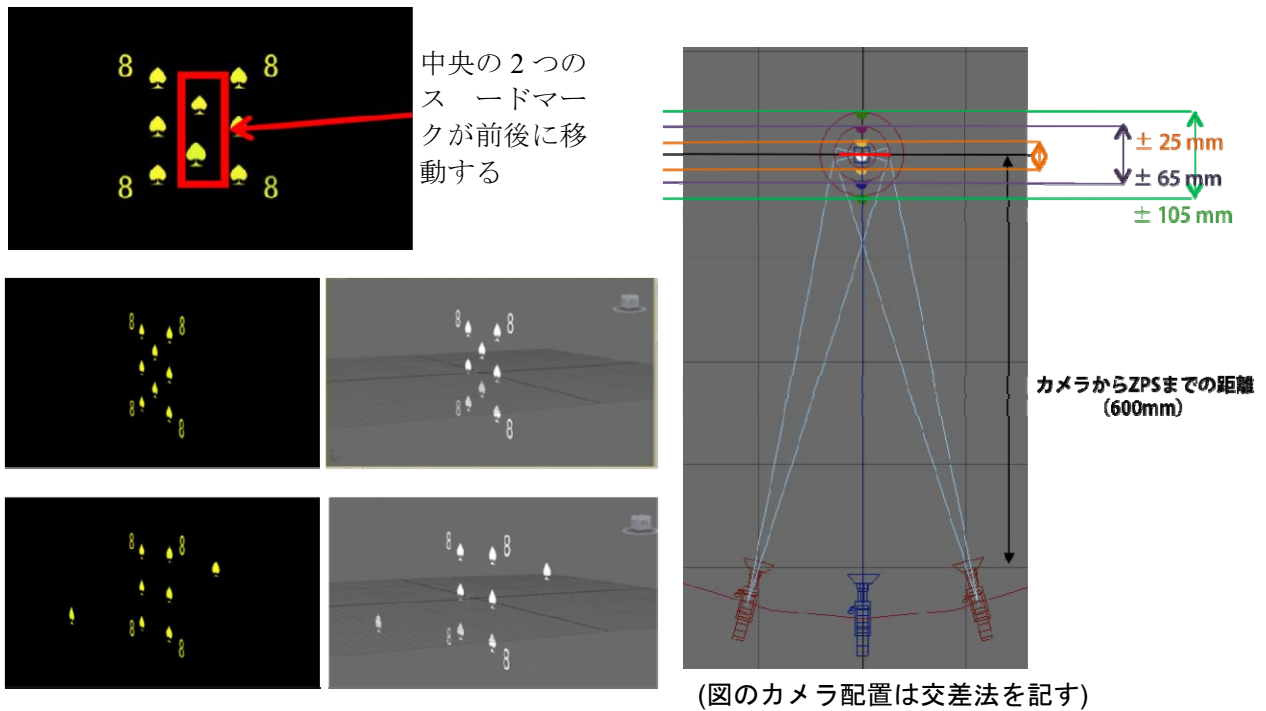


図 4.2-12 融像最大距離範囲の検査チャート

(2) 融像最大距離範囲(カメラ位置・背景の変化)

融像最大距離範囲(均一背景)のパターンに対して、カメラ位置(見下ろし、水平、見上げ)と背景画像を変化させた場合、(1)と同様に融像範囲を調べる。(表 4.2-5)

映像種類

- ・ 背景無し：可動範囲 3 種類 3 種類
- ・ 背景あり：可動範囲 3 種類 背景 1 種類
カメラ位置 3 種類 9 種類(表 4.2-6)

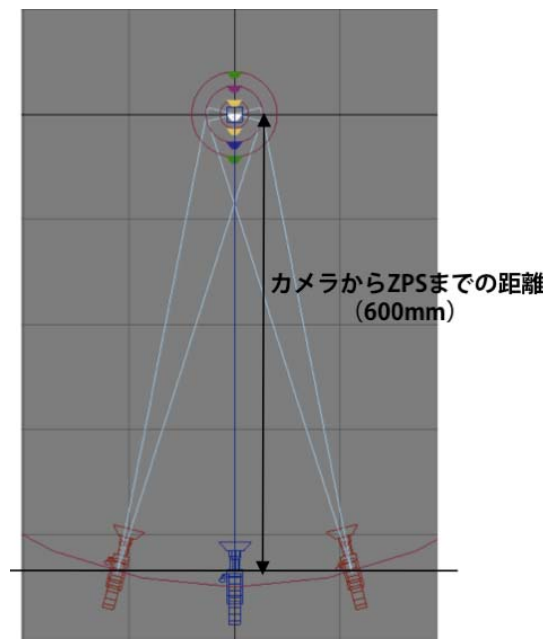
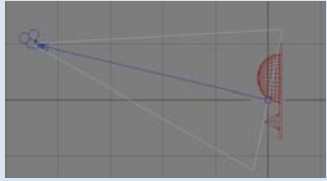
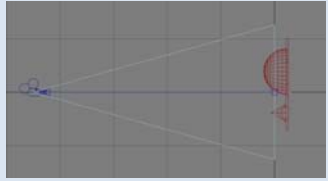
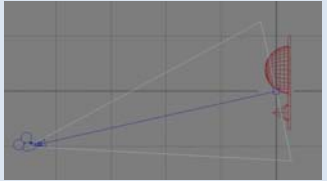
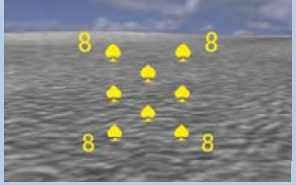




図 4.2-13 カメラとオブジェクトの配置図

表 4.2-5 前後の可動範囲の定義

可動範囲	小	中	大
前後	±25mm	±65mm (立体視が困難になる程度)	±105mm (スクリーン内に リ リおさまる程度)

表 4.2-6 カメラ位置・背景の変化の検査チャート

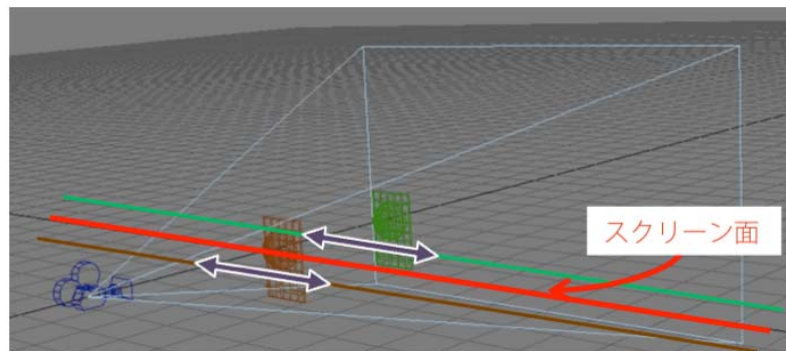
	見下ろし	水平	見上げ
背景位置			
背景水平線			

4.2.4 映像性能検査用チャートコンテンツ(重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ)

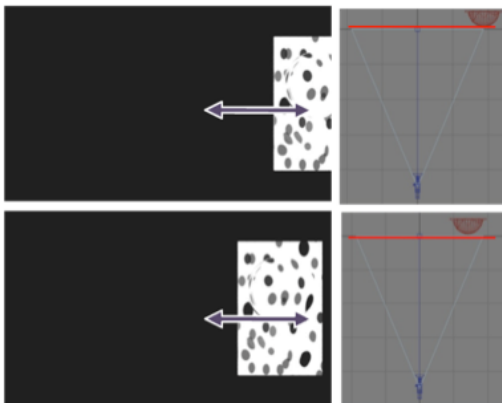
(1) 重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ(額縁効果)

基準位置を画枠に設定した状態で、画枠にかかるカードの見え方を調べる。

映像種類：カードがスクリーン面より奥にある場合と手前にある場合の2種類



1. カードがスクリーンより奥 (画枠ひずみなし)



2. カードがスクリーンより手前 (画枠ひずみあり)

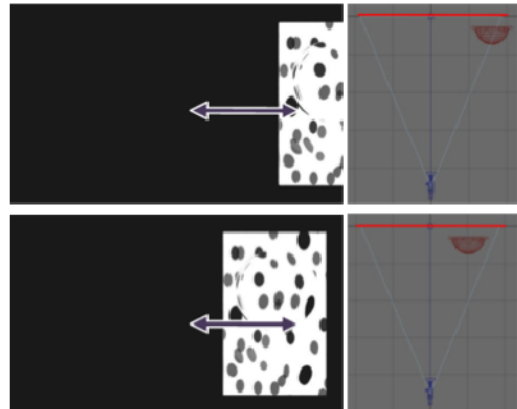


図 4.2-14 重なり合いによる遮蔽状態検査チャート

(2) 重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ(不対応効果：局所視野闘争)

カード以外に、画面内に固定物体を表示し、その固定物体によって遮蔽されるカードの見え方を調べる。

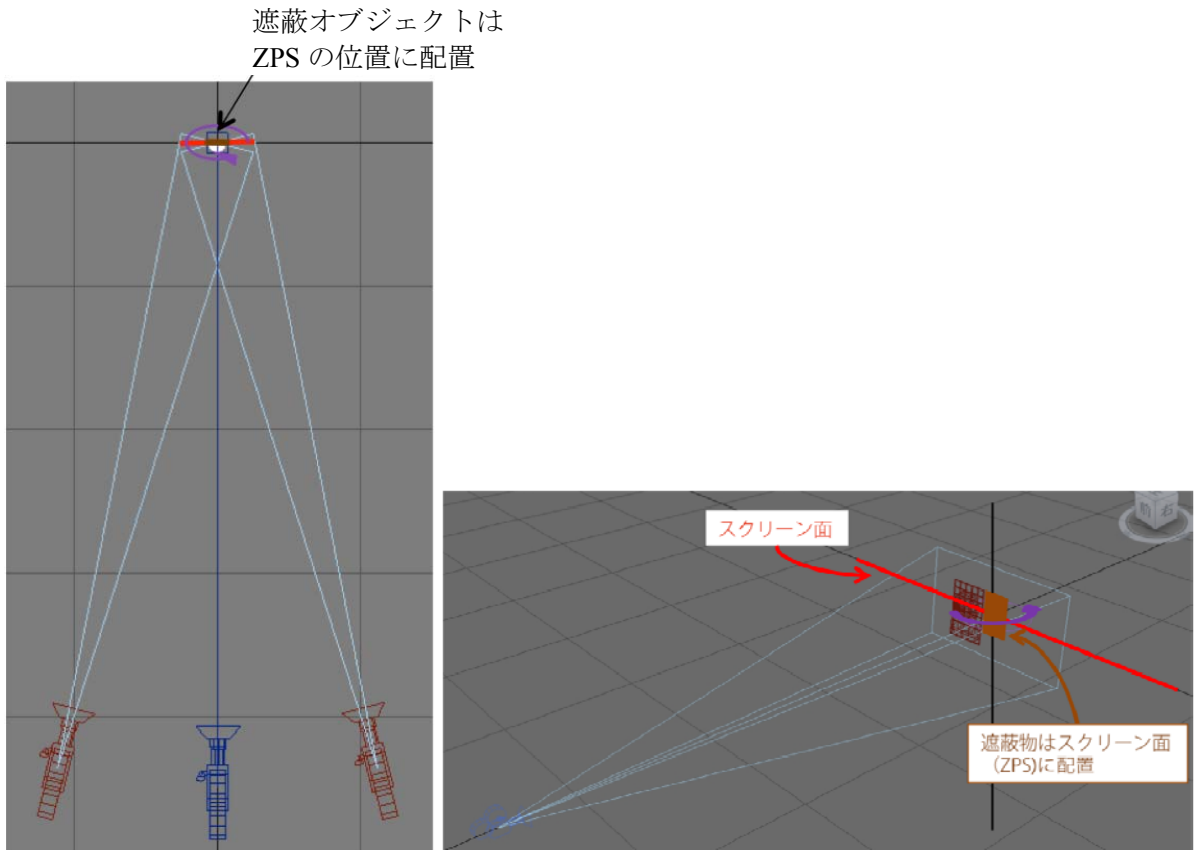
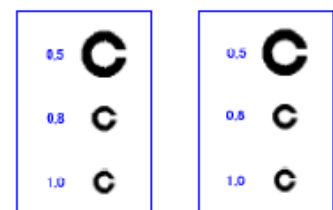


図 4.2-15 遮蔽状態の重なり合いの検査チャート

4.2.5 両眼視機能チェック用パターン

(1) 両眼視力チェック

両眼の視力差が少なく、各眼共 0.8(1.25 分視角)以上が望ましい。各眼が 0.5(2 分視角)以下になると、補正が必要になる。(図 4.2-16)



右眼 左眼

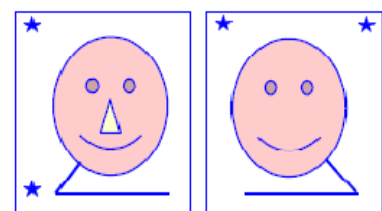
4.2-16 両眼視力チェック

(2) 単一・同時視

両眼融像が成立し、片眼での欠落部に局所的視野闘争が生じるが、全体的には安定して見える。(図 4.2-17)

(3) 左右眼不等像視

左右眼で像の大きさ、位置ズレなどが異なると、融像が安定しない。特に、回転/上下ズレの影響が大きい。(図 4.2-18)



右眼 左眼

図 4.2-17 単一・同時視チェック

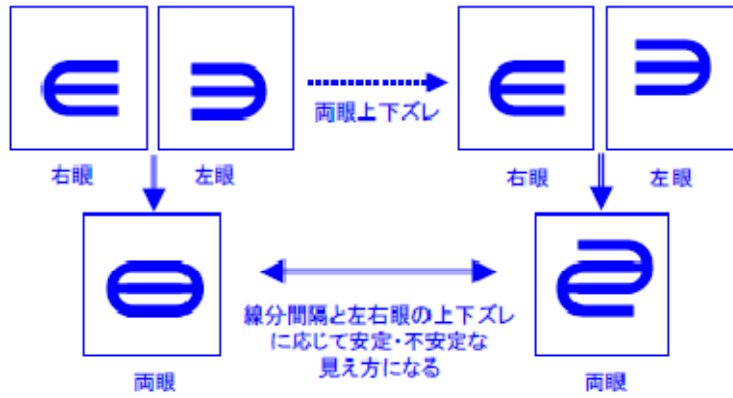


図 4.2-18 左右眼不等像視チェック

(4) 両眼眼位

片眼に円形、他眼に塗りつぶし丸印を提示し、両眼観察時に丸印が円形のどの番号の円形に重なるかを答えさせ、眼位を調べる。提示枠が基準の場合、外斜位 <3 (正常) $<$ 内斜位になる。正常眼位からのズレ角が5度以内なら同時・単一視も可能で、立体視が成立し、5度以上の場合には注意する必要がある。(図 4.2-19)

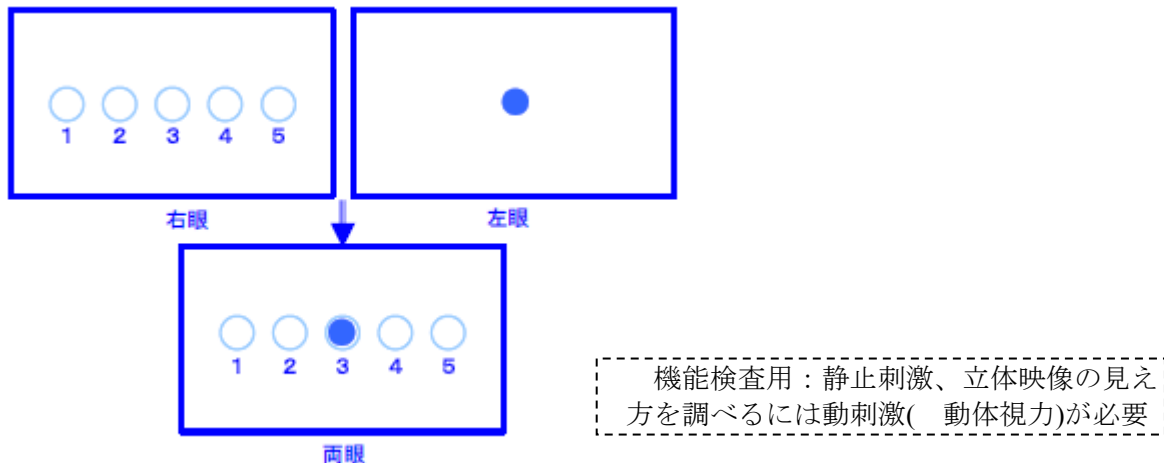


図 4.2-19 両眼眼位チェック

(5) 両眼視差弁別・融像領域

カードパターンを用いた標準映像でもチェックは可能であるが、単一視標による浮き出し順序の番号と融像できなくなる記号を答えさせ、最小視差弁別・最大融像範囲が分かる。最小視差弁別の値は1.2秒視角と通常視力と比較しても小さく、非常に細かなパターンで奥行き差を検出している。

一方、融像範囲に関しては安定して見えている視差量は2度以内で、かなり無理な状態での最大融像範囲は10度にもなるが、長時間観察での眼への負荷は大きい。(図 4.2-20)

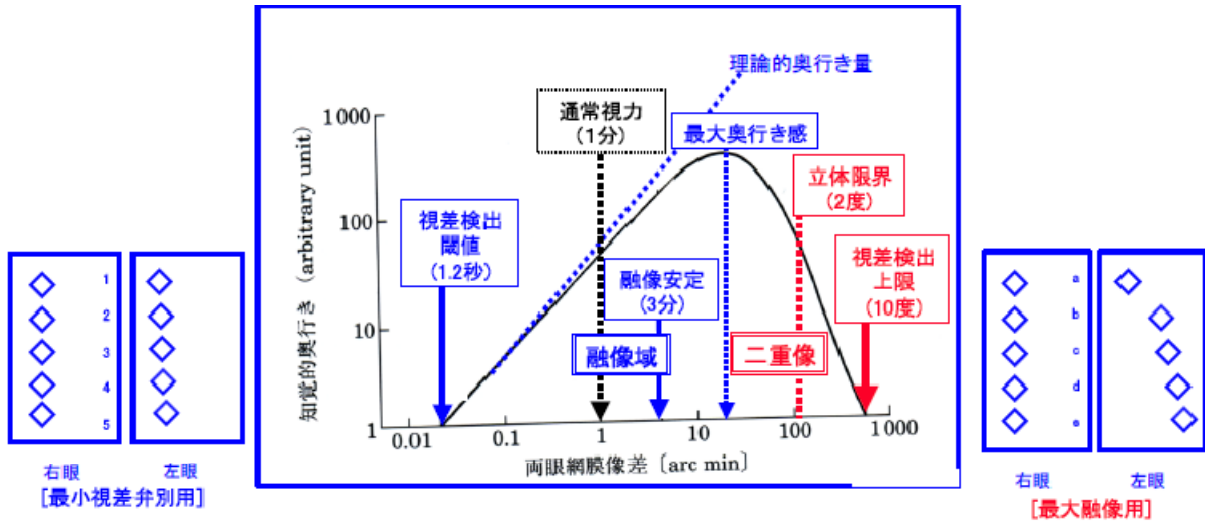


図 4.2-20 両眼視差弁別・融像領域チェック

4.3 立体映像の評価結果

4.3.1 はじめに

二眼式立体映像による立体視知覚は観察者の眼の状態によって大きく異なる。二眼式立体映像を評価する際には、適切な立体映像表示・撮影技術を用いたかという映像作成者側の評価と観察者側の眼状態を評価する必要がある。立体映像評価用チャートは映像性能評価用および立体視機能評価用チャートとしての利活用が考えられる。映像性能評価用チャートとしては像の歪み、解像度、クロストーク、線分ズレ、色調、階調、歪みなど両眼映像がチェックできるようなパターンを提示し、ディスプレイの表示性能を評価する。立体視機能評価用チャートとして観察者の両眼視機能および両眼視成立に影響を与える視機能を評価する必要がある。観察者の視機能が3D映像を知覚できない状態である場合や眼疾患により3D映像視聴に適さない状態である場合は、クリエイターが適切に映像を作成したとしても、期待する映像効果は認められなくなり、眼性疲労の原因ともなり得る。立体映像知覚を妨げない要因として①左右差のない良好な視力、②不等像視（左右眼の網膜像の大きさの差）がないこと、③眼位ズレがないこと、良好な融像幅を有すること、良好な両眼視差弁別能を有していることなどが挙げられる。立体映像評価用チャートはこれらの視機能を評価する必要がある。本項では立体映像評価用チャートの視機能検査としての利活用について眼科学的観点から考察する。

4.3.2 微小弁別距離差

(1) 微小弁別距離差検出チャートの構成

カード様に両眼視差量の異なる部分を作り、浮き上がり状態や順番を答えさせる。カード表面にはランダムドット様で上部に半球ドーム面（凸）、下部に高さの異なる3つの円（凸）が配されている(図 4.3-1)。

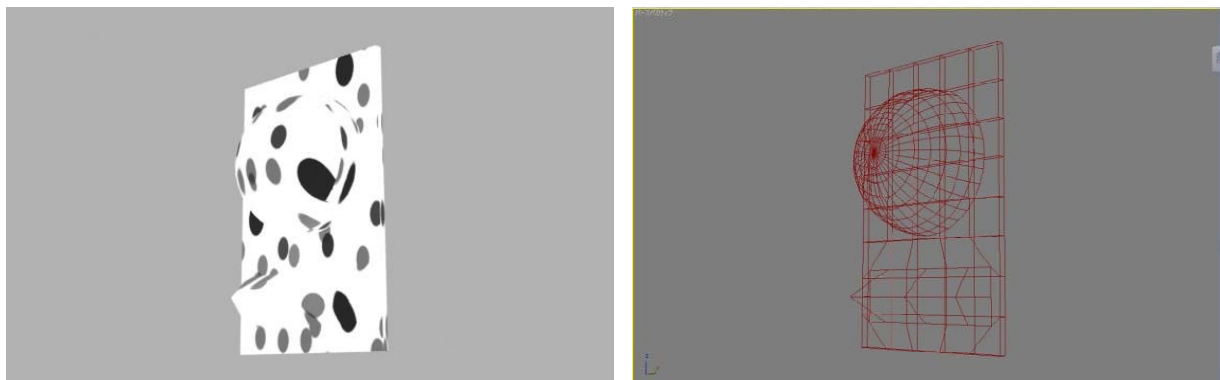


図 4.3-1 カードデザイン（微小弁別距離差）

半球ドーム面、および円が立体的に見えるかを調べる。カードには複線格子図形が作成されており、各縦横複線が分離して見えるか、カードの移動速度を変えた時の運動時にズレを感じないかを答えさせる。カードの視標は前後、左右、上下および回転運動を加えることができる。カード様はランダムドット・ステレオグラムにより構成されている。また別に解像度の異なる映像を提示することもできる。画像としては木立の小や葉など細かな部分を再現したものであり、解像度変化による視覚への影響を検討する(図 4.3-2)。



図 4.3-2 カードデザイン（解像度変化）

(2) 評価できる視機能項目

表面のカード 様は静的立体視検査、動的立体視検査として、面の格子 様は簡易視力検査、簡易視野検査としての可能性が考えられる。

(a) 立体視検査：半球ドーム面を用いて大まかな立体視を評価する。3つのピラミッドを用いて詳細な立体視を評価する。3つのピラミッドの視差を段階的に変えてあるため定量的評価が可能である。ランダムドットを用いているため単眼性の手がかりがなく、両眼視差が見知できないと答えられないため、正確性が高い。両眼視差 100 秒を判別して立体視できる場合を正常立体視と評価される。両眼視差 100 秒をディスプレイ面で提示するには高解像度が要求される。視点距離を遠くすれば視角は小さくなる。本評価用チャートの表示装置である Zalman 22 インチディスプレイで両眼視差 100 秒を提示するには視点距離を遠くする必要がある。3つのピラミッドの両眼視差は大きいものから 600 秒、300 秒、100 秒、半球ドームは 2000 秒が適当である。

(b) 動的立体視検査：前述した視標の静止した静的立体視は知覚できない者でも動的な立体視は知覚できる場合がある。本チャートの視標は前後、左右、上下および回転運動を加えることができる(図 4.3-3)。近年、半田らは静的視標に回転運動を加えることで両眼視差能力が向上すること、および斜視患者でも両眼視差を検出することができる場合のあることを示している^[1]。視標にヒトが追従できる程度の回転運動を加えることはヒトの立体視を多面的に評価するために有用である。



図 4.3-3 カードデザイン（回転運動）

(c) 視力検査：視力は形態覚の検査と定義される。一般的に用いられている検査法はランドルト環の切れ目を識別できる域値(最小分離域)を求める方法である。形態覚を知るにはランドルト環以外でも可能であり、2線を識別できる域値を求めても同じ 度となる。チャート面の格子 様の線分離状態を定量的に提示し、線分の距離を定量的に変化させることで簡易視力検査として使用できる可能性がある。

(d) 簡易中心視野検査：解像度が低下すると立体再現された物体の らみや木立の 葉の立体感がなくなり、扁平化して見える書き割り効果が生じる。視野異常が生じた場合は解像度変化を知覚することができなくなることが予想される。解像度変化に伴う書き割り効果の知覚によって視野異常をスクリーニング的に検査できる可能性がある。

(3) 存の眼科臨床的立体視、視力検査法

(a) 立体視検査：正常な立体視とは両眼視差 100 秒未満の小さい視差も弁別し、立体感を知覚できる能力を有する状態を示す。それを評価する立体視検査は両眼視差情報を手がかりにして物体の遠近感の有無を定量評価するものである。定量に使われる立体視の単位は両眼視差(左右眼像のずれ)で、 360° を単位とする弧の角度(second of arc)で表す。両眼視差 1 度は 3600 秒(1 度は 60 分, 1 分は 60 秒)として表す。眼科臨床的な立体視検査は立体視能力評価というよりも、斜視や弱視など両眼視異常を発見するためのスクリーニング検査、治療結果の評価にも用いられている。それ故、両眼視差検出能のみを評価しており、眼幅(瞳孔間距離)および融像位置は考慮されていない。一般的に両眼視差 100 秒以下を知覚することがで

きる場合を正常立体視と評価する。以下に代表的な立体視検査方法である Titmus stereo tests、TNO stereo test について述べる。Titmus stereo tests (STEREO OPTICAL 社)は近見立体視検査で最も一般的に使用されているものである(図 4.3-4)。偏光眼鏡で両眼分離する。視標は実質図形パターンである。両眼視差：Fly は 3000 秒、羽根を横から掴ませ、画面より 3~5cm 浮いていれば立体視(+)。画面を触った場合は(-)であるが、年齢や理解を考慮する。立体視(-)(±)の場合には抑制検査として下方の R・L の文字が同時に見え



図 4.3-4 眼科臨床的立体視検査

ているかを聞く(文字の濃さに違いがないか確認する)・検査中は常に眼位を観察する。両眼視差は 3000 秒から 40 秒まで用意され、100 秒以下を知覚できる場合を立体視機能正常とする。検査距離は 40cm で近見立体視検査である。TNO stereo test は赤緑眼鏡で両眼分離される(図 4.3-4)。検査表はランダムドットパターンあり、片眼性の手がかりはほぼ皆無であるため、陽性が生じ難い。検査距離は 40cm である。視標は数種類あり、スクリーニング用、抑制検査用、両眼視差の域値測定用である。視差量は 4120 秒から 15 秒まで段階的に詳細な検討ができる。

- (b) 視力検査：視力は形態覚の検査と定義される(図 4.3-5)。標準視標としてランドルト環が用いられる。被験者のランドルト環の幅と切れ目の幅はともに外径の 1/5 に決められている。検査距離 5m で切れ目の視角が 1 分となるランドルト環は外径が 7.5mm、幅と切れ目の幅はそれぞれ 1.5mm である。

このランドルト環が判別できれば視力 1.0 と判別される。視力は明るさと密接な関係にあり、視力表の照度と検査室の照度に配慮しなければならない正しい視力は評価できない。

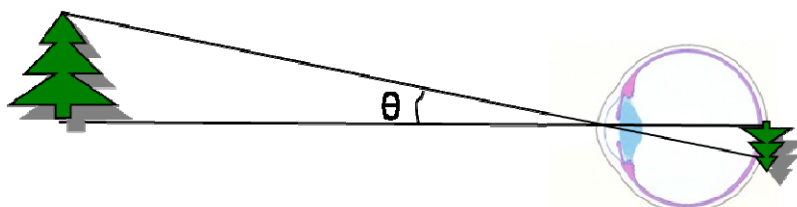


図 4.3-5 視力の表し方 (最小視角 θ の逆数が視力である)

4.3.3 融像最大距離範囲

- (1) 融像最大距離範囲検査チャートの構成

カードの様子の一部をスクリーン面上に配し、他の一部を手前・奥方向に移動させて、両方の様子が安定して見える視差量を調べる。視標はトランプ様になっており、中央のソードマークに両眼視差がつけられ、立体視知覚した場合は中央のソードマークが前後に移動する(図 4.3-6)。

- (2) 評価できる視機能項目

融像機能を評価できる。融像とは左右それぞれの眼に投影された像を一つに融合させる機能であり、立体視を獲得するための基本的な両眼視機能である。融像

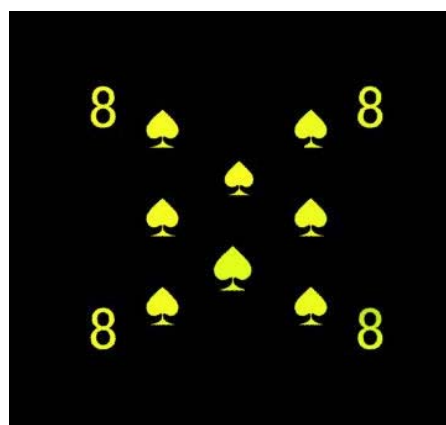


図 4.3-6 カードデザイン (融像最大距離範囲)

力の測定には左右眼それぞれに視標を置き、融像していることを確認する(感覚性融像)。左右眼の視差量を徐々にずらして融像できる範囲を調べる。融像域の正常範囲は同側性視差の場合は 4° 、交差性視差の場合は 20° とされている。正常範囲は個人差が大きく、非常に広い場合もあれば、狭い場合もある。融像域は視標の移動速度、背景、視線方向により増減する。

(3) 融像域の融像幅測定検査：

大型弱視鏡を用いて運動性融像幅を測定する(図 4.3-7)。両眼の鏡を被験者の眼位置にそれぞれ置き、被験者に視標を固視させて融像していることをチェックマークから確認する。検者は左右の鏡を同時に開散、輻輳側別々にそれぞれゆっくり動かす。融像限界点に達して融像がなくなるのと被験者がそれを告げる。融像がなくなった眼位角度を融像域として評価する。



図 4.3-7 大型弱視鏡
(タカギセイコー)

4.3.4 重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ

(1) 重なり合いによる遮蔽状態の不自然さ検査チャート

画枠を基準にして、画枠にかかるカードの見え方を調べる。カード以外に固定物体を提示して、固定物体によって遮蔽されるカードの見え方を調べる(図 4.3-8)。



図 4.3-8 カードデザイン

(2) 評価できる視機能項目・融像域の検査

現在のところ、重なり合いに関する視機能検査は報告されていない。本チャートは重なり合いによる遮蔽状態で発生する不自然さの映像処理法を評価する映像性能評価用チャートとしての利活用に止まる。

4.3.5 まとめ今後の展開

立体映像評価用チャートは現時点では大まかな立体視、融像域検査としての利活用が期待できる。今後測定精度や検査項目の実により多目的視機能検査として応用できる可能性がある。

眼科検査のみならず医療検査として最も重要な項目は正確な病態検査である。現在、眼球内・外部の形状計測装置の開発は急速に進化、検査の精度を追求するために目的別の検査装置が細分化している。しかしながら視力に代表されるような我々の感覚を検査する自覚的検査装置はほとんど進歩がなく、追及すらされていないに思われる。視力検査・視野検査など自覚的検査装置の多くはディスプレイ、映像提示部、記録解析部、および両眼分離装置で構成されている。即ちこの構成要素を満たし、検査に応じて画像を任意に変化できれば多機能眼科検査装置を行う

ことができる。眼科治療は多くの視機能検査があり項目ごとに専用の検査器が存在する。そのため、設置するスペースの確保や検査器の入など、医療機関の負担は大きい。また、患者は複数の検査を受けることが多いため、検査が変わると検査器間の移動が必要となり、患者に負担が強いられているという改良すべき問題点がある。この問題は一つの構成装置にてすべての視機能検査を行うことができれば解決する。本立体映像評価用チャートは現時点では大まかな立体視、融像幅検査のみしか検査応用できず、不等像や眼位検査などを評価することができない。しかし今後、測定精度や検査項目の多実により多目的視機能検査として応用できる可能性がある。またこれらの検査方法を3Dテレビに提示することができれば、家庭用の視機能検査(眼健診)チャートとしての応用が期待される。また視機能検査チャートにより測定された個人の視機能検査結果を3Dテレビに入力設定することで各個人に合わせた立体映像を提示できる可能性がある。

[参考文献]

- [1] 半田知也他：新しい立体視検査装置を用いた斜視患者の静的・動的立体視評価 第63回日本弱視斜視学会(2008)

第5章 立体映像の利活用

5.1 放送での立体映像の利活用

ハリウッドを源とした3Dの波は、家庭で3D映像を楽しむという3D放送の動きを加速させた。映画「アバター」の成り以降、世界中の多くの放送局が、いかにしてハリウッド並みの品質の3Dコンテンツを放送波で家庭に届けるかを検討し始めている。

事実、今3Dディスプレイ技術の進歩や3Dコンテンツの制作技術の発展の速度は目覚しく、デジタル画像の圧縮・伝送技術の進歩も手伝って、高画質・大容量の3D映像を伝送することが可能になっている。ここでは、日本および諸外国の放送局の動きを述べる。

5.1.1 日本での3D放送

(1) 日本BS放送(BS11 デジタル)

日本BS放送株式会社(以下、BS11 デジタル)は、2007年12月2日より3Dによる本放送をはじめている。BS11 デジタルによれば、本放送と心得る客観的事実は、①制度的には実験ではなく本放送であること。②編成的には一時的ではなく継続的であり、一日しかも1日に数回放送されていること。③商業的にも提供CMが伴っていること。の3点である。3D放送は、サイドバイサイド方式を採用しており、放送時間は、おおむね1日5分から30分の間で推移しており、2D放送との混合編成で運営されている。またコンテンツは、スポーツ(アイスホッケー、ダンス等)、CGアニメーション、中映像、自然風景など多岐にわたっている。なお、すべて録画によるコンテンツである。

受信機は、HYUNDAI IT JAPAN より、2007年4月と12月に偏光方式による3Dテレビが発売されているほか、2010年に発売される国内大手電機メーカー各社の3Dテレビでも視聴が可能になっている。世界的に見ても、無料の3D放送はBS11 デジタルのみで、今後の動きが注目される。

(2) スカパーJSAT 株式会社(スカパー HD)

スカパーJSAT 株式会社は、東経124・128度CSを利用したハイビジョン放送「スカパーHD」で3D放送を始める旨を2010年1月27日に発表した。

放送開始は、2010年夏を予定している。既存の「スカパーHD」対応チューナーで視聴が可能としており、右眼用の映像信号(ハーフHDTVの映像信号)と左眼用の映像信号(同)をそれぞれ放送受信機からHDMI経由で送出し、テレビ側でそれぞれの映像の処理を行って3D映像として表示する「サイドバイサイド方式」を採用する。

チャンネルは、3D専用チャンネルを設けて、2010年度は月に2~3本程度から放送を開始する。想定されるコンテンツは、自主制作番組と番組供給事業者などが制作した番組で、これらを同一のチャンネルで放送する。具体的には、スポーツ(サッカー、格闘技等)や映画(ハリウッドや国内の新作3D作品)などを予定している。

同社は、2009年8月にアナグリフ方式により、「センター・オブ・ジ・アース -3D- <替版>」(2008年10月公開)を、スカパー!のch.191「スカチャンHD」と、スカパー!e2のch.800「スカチャンHD800」の両HDチャンネルで放送を行った。放送は、2日間、両日とも4回ずつ放送された。視聴方法は、PPV(イ・パー・ビュー:番組単位で課金)方式で、視聴料金は630円。その後も、両チャンネルで、「シャークボーイ&マグマガール 3D」および「13日の金曜日 PART3: 3D」の放送を行っている。なお、3Dコンテンツの提供形態は、無料と有料のいずれについても検討している様子である。

(3) 株式会社ジュピターテレコム(J:COM)

国内ケーブルテレビ最大手の株式会社ジュピターテレコム(以下、J:COM)は、2010年4月より、ビデオ・オン・デマンド(VOD)サービス「J:COM オン デマンド」で、ハイビジョン画質の3Dコンテンツの配信を開始することを、2010年2月10日に発表した。

J:COMは、既存のVOD配信ネットワークを、国内電機メーカー大手各社が今年発売する3Dテレビに対応させると同時に、3Dコンテンツ用のストレージサーバなど配信システムを構築する。

3D方式はサイドバイサイドを採用予定で、視聴者は3DテレビとSTBを接続し、3Dテレビに付属している専用眼鏡を利用することで、家庭内でHD画質の3D映像を視聴できる。なお、STBについては既存のJ:COM TVデジタル加入者向けに提供しているものが、3Dにも対応可能になる。

4月に開始するサービスでは、J:COMが出資、運営しているグループ下の専門チャンネルを中心に、映画やスポーツ、旅行番組などを国内外から調達予定。価格については、2Dとの価格差をつけるかなども含めて「検討中」としている。

また、3D放送の認知向上に向け、サービス開始に合わせる形でエリア内のジェイコムショップに「3Dコンテンツ体感コーナー」を設置し、3Dテレビを設置するなどして、多くの人に3Dを視聴できる機会を提供する。

5.1.2 諸外国での3D放送

韓国では、3D放送への動きが活発化している。サムスン電子は2月に3D対応テレビを発売し、LG電子も3D対応機種を市場投入することを発表している。これにともない、韓国での3D放送も、ケーブルテレビ、衛星放送、地上波など各社が3D放送に関する発表を行っており、今後の動きが注目される。

韓国CJグループ下のケーブルテレビ統一会社「CJ HelloVision」は、2009年10月より3Dの試験放送を始めている。様で、当初は、ソウルとプサンの350世帯程ではあるが、VODによる放送を行う見込みである。

また、衛星放送でも3D放送が始まっている。2010年1月1日から24時間の3D専門チャンネルによる試験放送を開始したのが、Korea Digital Satellite Broadcasting Co., Ltd.(ブランド名SkyLife。以下同)である。同社は2009年12月、LG Electronics, Co., Ltd.と、3D放送および3D対応テレビに関する戦略的提携で合意したと発表した。提携の具体的内容には、放送および受像機器の標準化、3Dコンテンツの制作、3D映画の海外からの調達、そして関連製品の販売などが含まれる。3Dコンテンツの制作には3年間で300億ウォンを投資するという。

また、地上波での3D放送は当面困難とされていたが、韓国の放送通信委員会(KCC)が検討段階に入っている。

一方、3D映画の制作が盛んに行われている米国では、今年本格的な3D放送が開始される。

2009年に3Dプロダクション中継車から、USC対OSUの大学フットボール試合を中継した、米スポーツ専門チャンネルの「ESPN」が、2010年内にも立体放送ネットワーク「ESPN 3D」を立ち上げることが2010年1月のCES(Consumer Electronics Show)で発表された。このチャンネルでは、6月11日から始まるFIFAワールドカップを皮切りに様々なスポーツ中継を行う予定で、それにはFIFAの25試合中継、Summer X Games、全米大学野球、フットボールなどが番組リストに上がっている。

時期を同じくして米国では、Discovery Communications(以下、Discovery)、IMAX Corporation(以下、IMAX)、ソニー株式会社(以下、ソニー)の3社が、3D映像を米国にて放送する専用TVネットワークを立ち上げる合弁会社の設立を発表した(2010年1月5日)。3社は、豊富な3Dコンテンツ、専門技術、テレビ番組放映網、運営力を結集し、2011年、米国を皮切りに、高品質な3次元映像を家庭で視聴できることを目指すという。発表によると、この新しい3Dネットワークでは、3Dで最も魅力のある高品質なコンテンツを提供する予定で、これらにはDiscovery、Sony Pictures Entertainment、IMAX、および他プロバイダーの有する、自然史、検、学、科学、技術、映画、子供向け番組などが含まれるという。

具体的には、Discoveryは、加入者獲得やテクニカルサポートを含むネットワークサービス、自社コンテンツの3D化権利などを提供し、全米で13あるテレビネットワーク網でのクロスプロモーションを図り、一方、ソニーは、広告や番組提供者の獲得支援、現行および将来の3D映

画、 楽・ゲーム関連の 3D コンテンツのテレビ 利化の検討、販売店でのクロスプロモーションを担っていく。IMAX は、全米の自社劇場でのプロモーションを展開するとともに、将来の 3D 映画のテレビ 利化を推進し、自社所有の映像関連特許や 3D 技術をライセンスする。ビジネスはまず米国で開始され、将来的には、米国以外の特定地域においても配給の機会を検討していくという。

また、ヨーロッパ市場では、 国の衛星放送会社の大手 British Sky Broadcasting(以下、BSkyB) が動きを見せている。2009 年 7 月 BSkyB は、同社が運営する HD 放送サービス「Sky+HD」において、来年 初の 3D 専門チャンネルを開始すると発表した。

3D 視聴には「Sky+HD」の STB と、 で発売が予定されている家庭用の 3D 対応テレビが必要となる。なお現行 STB が 3D 放送に対応するよう設計されているため、 存のサービス利用者はアップグレードする必要はない。

放映コンテンツは映画やスポーツ番組などを予定しているという。

これに伴い Sony Professional Europe が、BSkyB と放送技術製作を手がける Telegenic 社と共同で 3D 中継車「3D Outside Broadcast (OB) trucks」を開発したと発表した(2010 年 1 月 28 日)。

いずれも 3D 映像の普及には、3D 放送が欠かせない要素ととらえられている。当面はパッケージメディアの数には限りがあるため、放送により 3D の魅力あふれるコンテンツが継続的に提供されることが、3D 放送の定着のひとつの鍵になると思われる。

5.2 教育システム

5.2.1 立体映像利用の現状

3D シネマがブームを えているが、それ以前から全国の公共施設や 物館、美術館では様々な立体映像が上映されてきた。公共施設の 3D シアターにおいては、事故や 害を 似体験できる安全、 教育のコンテンツが上映されてきている^[1]。日常では する機会がほとんどない事故や 害などのシーンを、立体映像で再現することで、安全、 への意識を高める効果が期待されている。2009 年には、プラネタリウムのドームシアターを利用した 4k 4k のデジタル映像による超高精細立体視映像システムによる をテーマにしたコンテンツが公開されており^[2]、最新の技術を導入した施設で、より臨場感のある立体映像での学習が可能となった。

医療の分野では、CT、MRI、PET 等から得られる人体の断層画像から 3 次元ボクセルデータを求め、再構成による立体映像化する技術が注目されている^[3]。これらの技術は、仮想内視鏡の開発、画像診断、患者へよりわかりやすく説明するための装置の開発等に加え、手術のシミュレーションや医学教育への応用が進められている。

今後、3D シネマのブームや、3D ディスプレイの家庭への普及は、エンターテインメント、アミューズメントだけではなく、教育の分野でも安全 教育、医学教育から、知育教育、学校教育、企業内教育等広範囲にわたり利活用が進んでいくと思われる。

5.2.2 期待される学習効果

立体映像の教育分野での普及していくためには、立体映像の特長を活かした学習効果の高いシステムおよびコンテンツの開発が不可欠である。

立体映像の特長として、両眼視差による立体感、大画面にする事での臨場感、運動視差がある場合には回り込み観察が可能であること、存在感、リアリティなどが挙げられる。これらを活かすことで立体映像は 2 次元映像では得ることのできない豊富な情報を観察者に与えることができると同時に観察者の感性を刺激することができる。前後に入り組んだ物体の位置や形状を理解しやすい、試行が活性化しやすい、印象が強いため記憶に残りやすい、観察者が興味や好奇心をき積極的になる、遠隔地でもその場の状況を伝えやすいといった学習効果が期待される^[4]。

5.2.3 直感的インタラクションと平置き型立体ディスプレイシステム

観察者が立体コンテンツを見るだけでなく、より積極的に参加して立体映像を操作するインタラクティブコンテンツの活用も今後学習効果を高める上で重要となろう^[5]。

自然かつ直感的な操作感を実現させるための要件として、図 5.2-1 に示したように、実空間性(現実の物体と場とをインタフェースとすること)、実時間性(リアルタイムで仮想物体が反応すること)、非装着型インタフェース(観察者に装着感を与えないこと)、実物体との仮想物体の空間共有性(両者の意味ある融合)をあげることができる。

東芝は平置きした立体ディスプレイとタッチセンサーを組み合わせることで、上記の要件を満足しインタラクティブ 3 次元ディスプレイシステムとそれを利用したコンテンツの試作を行った^[6]。このコンテンツは、ディスプレイ上を り回る立体映像の ンを、実物体の透明カプセルを使って まえるというシンプルなインタラクティブゲームで、将来教育への展開が期待される。

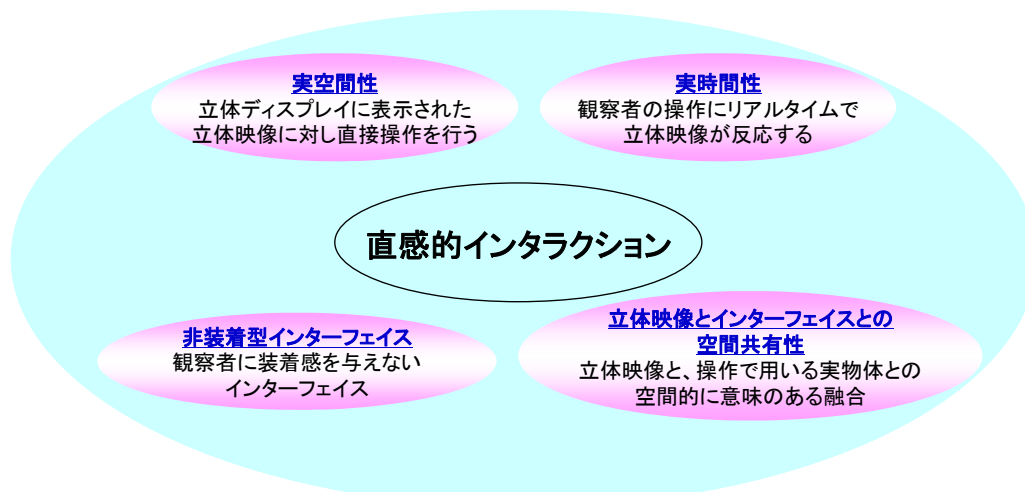


図 5.2-1 直感的インタラクションの要件

本システムでは観察者が特別な眼鏡をかけることなく立体映像を できる 1 次元インテグラルイメージング方式 3 次元ディスプレイを用いている(非装着型インタフェースの実現)。図 5.2-

2 にシステムの構成を示した。この 3 次元ディスプレイは、観察者の視点位置を限定せず、実際に物体があると仮定した場合の物体の表面から光線を再生する。現実の物体と再生された立体映像は同一空間を共有しているため、観察者は両者の同時

が可能である(空間共有制の実現)。観察者が直接操作する物体

として、例えば半球型透明アクリルドーム(透明カップ)を利用することができる。これは、自然で直感的な操作の一例として、実物体に「立体映像を内部に まえる」という意味を与えるためである。観察者は 角 60 度から観察し、手に持った透明カップをディスプレイ上の所望の位置に置くことで操作を行う(実空間性の実現)。

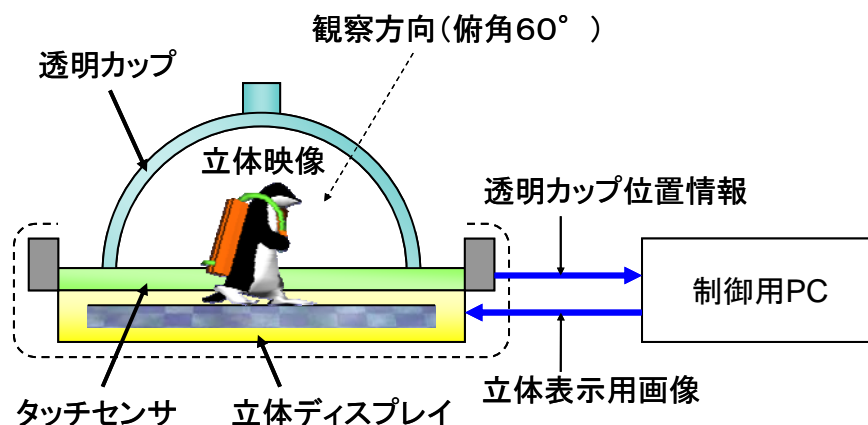


図 5.2-2 インタラクティブシステムの構成

「立体映像を内部に まえる」という操作の検出に必要な情報は、ディスプレイ上に置かれた透明カップの接地面の円の中心座標である。この情報を得るために、タッチセンサーを用いている(非装着型インタフェースの実現)。3 次元ディスプレイのパネルサイズは体格 15.4 インチであり、水平方向 30 度の視野角に 12 の異なる映像を表示する。立体表示をした場合の画素数は水平 480 ピクセル、垂直 400 ピクセルである。12 の異なる視点からの CG 画像を描画する必要があるため処理付加が高いが、市販の CPU と GPU を用いても 秒 60 フレーム以上での立体表示用画像の描画を実現している(実時間性の実現)。

このようにして直感的なインタラクションが可能となっており、このシステムを利用して観察者が積極的に参加する事ができる^[4]。

5.2.4 今後の課題

今後立体映像が教育分野で広く普及していくためには、より高画質・高精細で自然でリアルな表示が可能な表示装置や再生装置を低コストで提供できる技術開発と、誰もが安全な立体映像コ

コンテンツを作成できる制作環境の開発が必要である。

同時に、どのようなコンテンツをどうみせれば効果的であるか検討していく必要がある。まずは2次元映像と比較し、立体映像を利用する事で学習効果がどの程度あがるのか体系的に調べる必要があり、その調査が徐々に行われ始めている。

例えば、後頭葉に16本のプローブを装着して調べた光トポの結果が報告されている^[7]。トータルヘモグロビンの変化量から2次元画像よりも立体画像の方が、流量が多く脳の活動が大きくなっていた。これは立体感をより大きく感じたことを意味していると推測さ

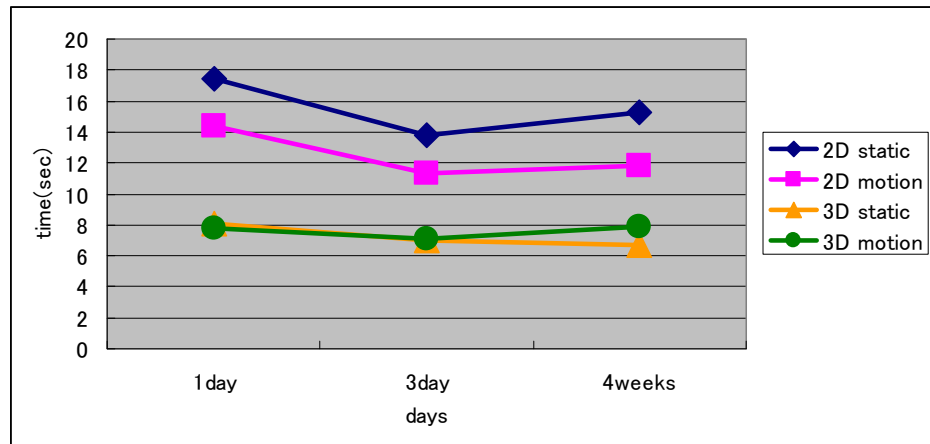


図 5.2-3 遠隔操作タスクに対する所要時間

れている。また報告もなされている^[8]。遠隔操作のタスクを被験者に課してタスクに要する時間を調べた結果を図 5.2-3 にまとめた。通常の2次元ディスプレイと眼鏡式の立体ディスプレイを用いた場合について比較している。さらにそれぞれ、運動視差がある場合とない場合で比較が行われている。立体ディスプレイでは約2分の効果が得られていることがわかる。また2次元ディスプレイでは運動視差を与えることで効果が上がっている。

また、アメリカでは、幼から高校で立体映像を使用した授業が行なわれており、従来の教育方法で授業よりも、高い学習効果を得たとの報告もなされている^[9]。

このように、立体ディスプレイを使用することによる様々なメリットを検討していくことと、実際の教育現場でそれを応用する事により、学習効果の実データをつくっていくことがまずは重要であると考えられる。

[参考文献]

- [1] 田 “公共施設での立体映像コンテンツ利用概況” 「3D コンテンツに関する調査研究報告書 3.2.2」 (財)デジタルコンテンツ協会 平成19年3月 pp.90-94
- [2] http://www.miraikan.jst.go.jp/press/docs/20081117_01.pdf
- [3] 奥山文雄 “3次元画像診断システムの現状と課題” 「立体視テクノロジー 次世代立体表示技術の最前線 3.2.1」 2008年10月6日 NTS pp.428-437
- [4] 平山雄三 「自然な立体視を可能とする空間像の形成に関する調査研究報告書 3.2.7」 機械システム振興協会 光産業技術振興協会 平成20年3月 pp.123-129
- [5] 理子、平山雄三：“参加型3次元ディスプレイ”、情報処理、Vol.47, No.4、(2006) pp.368-373
- [6] <http://www.youtube.com/watch?v=RSQsTgHj3Z4>
- [7] 広行、小 亜希子、 葉：“インテグラルイメージング方式立体ディスプレイを用いた映像安全性の客観評価”、2006年映像情報メディア学会年次大会(2006)講演番号 1-4
- [8] J.O.Merritt, R.E.Cole, C.Ikehara, ”Interaction between binocular and monocular depth cues in teleoperator task performance” SID92 digest. pp841-844
- [9] http://focus.tij.co.jp/pr/docs/preldetail.tsp?preId=scj_10_008&contentId=67258

5.3 ゲームシステム

5.3.1 はじめに

本節では、ゲーム用途での立体映像技術について述べる。文中の会社名や商品名は、当する各社の商標または登録商標であり、本節では®、TM マークを記していない。また、「(株)バンダイナムコゲームス」(2006年3月以前の社名は「(株)ナムコ」)を「NBGI」と表記している。

5.3.2 ディスプレイの配置方法とゲームの投影視点

ゲームシステムにおいて、ディスプレイ画面を垂直に置くか水平に置くかは、そのジャンルやデザインから決定される。

「垂直置き」は、家庭用テレビや映画館と同じ配置であり、画面を大きく、解像度を高くすることで、画面内の仮想空間にプレーヤーが融合するような感覚(臨場感)が得られる。一方、「水平置き」は、画面の上に物を置いたりすることで、画面内の仮想空間と実物(カードやフィギュア等)とが融合する感覚(実在感)が得られる。特定のゲームがどちらの配置に適しているかは、描画上の視点(投影方法)に現れる。

垂直置きに適した視点としては、「フロントビュー」や「サイドビュー」といったものが挙げられる。フロントビューは、いわゆる一人視点あるいはそれに準じる視点であり、高い臨場感、入感、奥行き感を持つことから、レーシングゲームにおいてはかなり初期から、ラスタスクロール技術を用いて実現されていた(図 5.3-1, 図 5.3-2)。サイドビューは、横スクロールシューティングゲーム、アクションゲーム、格闘ゲーム等によく用いられてきた。かつては画のような表現にまっていたが、ゲーム機の表現力の向上とともに、深い奥行きをも表現できるように進化している(図 5.3-3)。

水平置きに適した視点としては、「トップビュー」や「バードアイズビュー」「スリークォータービュー」が挙げられる。トップビューは地面と垂直に視線を取った投影方法であり、縦スクロールシューティングゲームや固定画面ゲームによく用いられている(図 5.3-4)。バードアイズビューやスリークォータービューは、斜め上方から地面を見下ろすように視線を取ったものである。これらは、画面内の地形が一望できると同時に、人間タイプのキャラクターの装備や表情がつかみやすいという特長があり、RPG(Role Playing Game)等によく用いられる(図 5.3-5)。



図 5.3-1 ポールポジション, 1982, ©NAMCO BANDAI Games Inc.



図 5.3-2 サンダーセプターII, 1986, ©NAMCO BANDAI Games Inc.



図 5.3-3 源平討魔伝 巻ノ貳 (PC エンジン用), 1990, ©NAMCO BANDAI Games Inc.

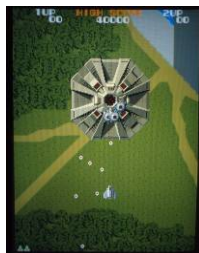


図 5.3-4 ゼビウス, 1982, ©NAMCO BANDAI Games Inc.



図 5.3-5 ワルキューレの伝説(PC エンジン用), 1990, ©NAMCO BANDAI Games Inc.

5.3.3 高臨場感ゲームの製品・試作の例

垂直置きに適した、フロントビューやサイドビューの共通点として、「無限遠が表現されている」ということがあり、臨場感が出しやすい特長がある。そのため、高臨場感の追求は、垂直置きを前提に、「大画面化」「高精細化」「立体視化」といった方向に進んできた感がある。NBGIにおける高臨場感ゲームの変遷を図 5.3-6 に示す。

「大画面化」を限られた設置面積で実施することは難しいが、視野を広くすることによって、曲面に投影することで、比較的小さなスクリーンであっても達成できる。「機動戦士ガンダム 戦場の絆」(2006, NBGI)では、画面をドームスクリーンへ投影することにより、高い没入感を実現している^[1]。「高精細化」については、ハイビジョンテレビの普及と前後して、PLAYSTATION3 (ソニー・コンピュータエンターテインメント、以下「SCEI」)やXbox360 (Microsoft) といった、ハイビジョン描画が可能なゲーム機が登場した。PLAYSTATION3 でのレーシングゲームである「リッジレーサー7」(図 5.3-7, 2006, NBGI)では、1080p のフルハイビジョンで 60fps のフレームレートを達成している。

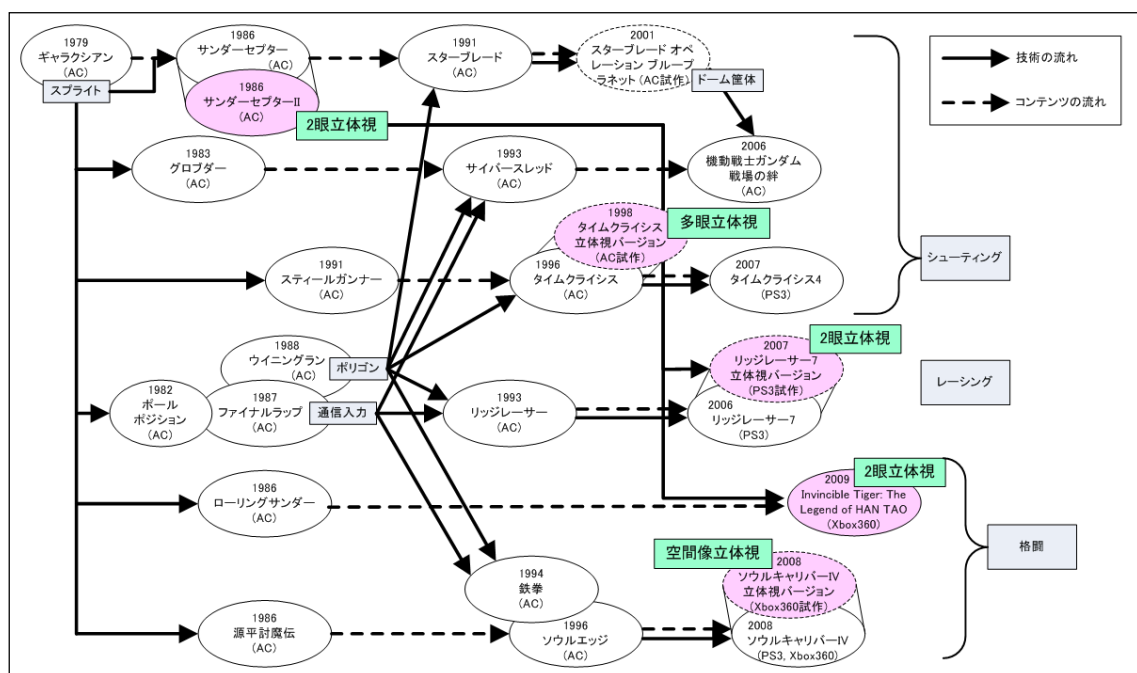


図 5.3-6 バンダイナムコゲームスにおける高臨場感ゲームの変遷

そして、さらに臨場感を高めるために、立体視技術を導入することが試みられてきている。立体視には様々な方法があるが、ゲームジャンルに適した方法を選択することが重要である。現在実現されている立体表示技術は、表 5.3-1 のように分類することが提案されている^[2]。

表 5.3-1 立体表示技術の分類

カテゴリ 1 (binocular)	ステレオ画像を左右各々の目で分離して観察する。眼鏡式、ステレオスコップなど。2眼式。
カテゴリ 2 (parallax)	非結像系で回り込みの特性をもっている(すなわち多眼式)。レンチキュラ、パララックスバリア、バックライト制御式など。
カテゴリ 3 (imaging system)	奥行き情報をもつ3次元画像を空間に再現(実像を形成)する。ホログラフィ、インテグラル・フォトグラフィ、空間像方式 ^[3] など。
カテゴリ 4 (volumetric)	実物、実体を提示する。奥行き標準化を行う体積計測法によるものなど。

カテリの数字が上がるほど立体感は向上するが、トレードオフとして解像度が低下し、そのことによりかえって臨場感を損ねることにもなりかねない。特に臨場感が重要な垂直置きของเกมについては、解像度と立体感のバランスを良く考慮しなければならない。

カテリ 1(2眼式)は、解像度の低下が少ないことから、垂直置きゲームの立体視化にしばしば用いられる。アーケードゲーム「サンダーセプターII」(図 5.3-2, 1986, NBGI)は、時分割眼鏡式を採用した立体視のフロントビューシューティングゲームである。2007 年には試作での参考展示ながら、上記「リッジレーサー7」を、偏光眼鏡を用いて立体視化したバージョンが発表されている。2009 年 8 月には、Xbox360 のダウンロードコンテンツとして、偏光眼鏡式と時分割眼鏡式の両方に対応した「Invincible Tiger: The Legend of HAN TAO」(Xbox360 用, 2009, Blitz Games Ltd./ NAMCO BANDAI Games America Inc.)が、日本でも発売されている^[4]。また、2010 年 2 月の AOU アミューズメント・エキスポでは、2 眼眼鏡式を採用したアーケードゲームである「METAL GEAR ARCADE」(コナミデジタルエンターテインメント)が発表された。

カテリ 2 はいわゆる多眼式であり、1995 年に、ダブルレンチキュラスクリンとリアプロジェクション方式の 40 インチ眼鏡なし立体ディスプレイ装置である「バーチャルビジョン(仮)」を用いたゲームとして「アウトバースト 4D」(タイトー、NHK エンジニアリング・サービス、三菱電機、凸版印刷)が発表されている。また、ガンシューティングゲーム「タイムクライシス」(1996, NBGI)の立体視バージョンが、試作での参考展示ながら、1998 年に発表されている。これは、画面に 50 インチのインフィニティ 3D ディスプレイ(最高 28 眼式、米インフィニティマルチメディア社、三菱商事)を用い、システム・スーパー22 基 (NBGI)の複数台構成によって、7 眼による立体視を実現したものである。

カテリ 3 に属するものとしては、近年、「空間像方式」^[3]と分類されているものが挙げられる。2008 年 1 月に発表された「ソウルキャリバー」(図 5.3-8, NBGI)の立体視試作バージョン^[5]は、空間像方式の一つであるフラクショナル・ビュー方式^[6]を採用したものであり、空間像の立体視が、本格的なリアルタイムゲームに適用されたものとしては、初めての例となっている。(なお、立体視でない製品版は、2008 年 7 月に Xbox360 用と PLAYSTATION3 用が発売されている。)



図 5.3-7 RIDGE RACER7
©2006 NAMCO BANDAI Games Inc.



図 5.3-8 ソウルキャリバーIV
©1995-2008 NAMCO BANDAI Games Inc.

現状のカテリ 3 では、光線数を増やすことで、物体がそこに置いてあるかのような「実在感」を向上させることができ、水平置きの内容に適用している。ただし、光線数の代りとして解像度が落ちるため、解像度や「臨場感」が重要なゲームについては、2 眼眼鏡式に対して不利となる場合が多い。

表 5.3-2 は、描画上の解像度と、立体視にしたときの見かけ上の解像度をマトリックス化し、それぞれがどのカテリで程度の視差で実現できるかを示したものである。カテリ 3 の特長を、より積極的に活かすには、解像度が低くても構わないコンテンツをあえて選択することも考えに入れる必要がある。例としては、テクスチャ等の情報が重要でないパズルゲーム等がある^{[7],[8]}。これらの試作例はいくつも発表されているが、製品レベルでの実施が望まれる。

表 5.3-2 コンテンツと解像度

描画 解像度	再現解像度	ドットゲーム	レトロゲーム	SD 解像度	D4 解像度
		32 32~128 128 相当	256 224 相当	640 480 相当	1280 720 相当
320 240 QVGA		4.68~18.75 カテ リ 2~3			
640 480 SD		18.75~ カテ リ 3	5.35 カテ リ 2		
1280 720 D4		50~ カテ リ 3	12~16 カテ リ 3	2.25~3 カテ リ 1	
1920 1080 D5		100~ カテ リ 3	27~36 カテ リ 3	5~6.75 カテ リ 2	2.25 カテ リ 1

5.3.4 描画方法

現在の GPU(Graphics Processing Unit)の機能は、視点ベースの描画方式を前提としているため、2 眼式(カテ リ 1)や多眼式(カテ リ 2)では、平面視と同様の方法で視点数だけ描画してから合成する、という方法が従来から用いられてきた(図 5.3-9)。この方法では、長な計算部分が発生したり、描画してから合成する処理の負荷が大きくなったりする問題があった。かつては専用ハードウェアの開発によってこれらの負荷を解決し、描画が実現されていた^[9]が、近年では GPU 能力の向上により、用的な PC やゲーム機でも実現が可能になってきている。

カテ リ 3 以上に属する空間像方式には、すべての光線が、いくつかの視点に集まるか、いくつかの平行光線群に分類できる「ビューベース」のものと、そうでない「レイベース」のものがある。ビューベースの場合は、多眼式と同様、視点数だけ描画してから合成する方法が取られることが多いが、ビューの数が増えるにつれ効 率が くなってくる。また、レイベースのもの(フラクショナル・ビュー方式等)の場合は、視点 との描画を行うこと自体が困難である。

レイベースの方式に対応できる描画方法として、1 視点からのカラー画像とデプス画像から、簡易的に立体視画像を合成する方法が提案されている。この方法では、回り込み情報がないため、いわゆるレリーフ状に見えるが、空間像方式ではより自然な立体感を出すために狭い範囲内に光線を集中させるため、回り込める範囲はもとより広くないので、「1 視点+デプス」ベースの方法を採択することは理にかなっている。

図 5.3-10 に、カラー画像とデプス画像から立体視画像を合成する方法を示す。デプス画像(a)を階段状の 配と見なし(b)、この奥行き情報と、レンズと画素の配置によって決まる光線との交点を求め(c)、その位置のカラー画像の情報を参照する(d)ことで、立体視画像が合成できる。この手順を、プログラマブルシェーダを用いて GPU で処理できる形にした^[10]ことで、前述の「ソウルキャリバーIV」を立体視化することができた。

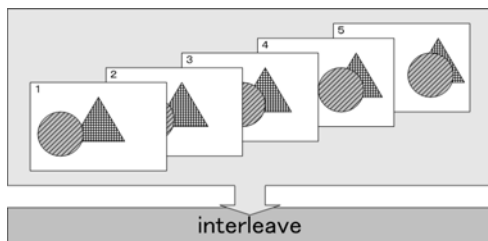


図 5.3-9 多視点のインターリーブ

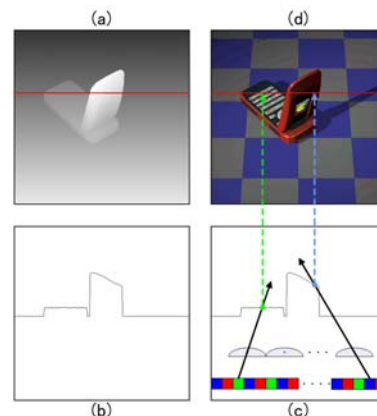


図 5.3-10 カラー画像とデプス画像による合成方法

5.3.5 まとめおよび今後の課題

ゲームにおける画面の配置と立体視の方式は、ゲームデザインに応じて、適したものを選択すべきである。適した組み合わせとして、垂直置きでは2眼眼鏡式を用いたサイドビューやフロントビューのゲーム、水平置きでは空間像方式を用いたトップビュー、バードアイズビュー、スリークォータービューのゲームを提案した。

ソフトウェアやミドルウェアの面から見た現状の問題点としては、ゲームの開発体制が、立体視描画や曲面描画といった、標準から外れた描画形式を十分サポートできる域にまでは達していないことが挙げられる。現状、立体視ゲームの試作が、既存のゲームを立体視化したものがほとんどであることは、ゲーム作製にかかる手間や費用が大きいため、既存品に付け足すという方法で作らざるを得ないことを示している。高臨場感や実在感を前提としたゲームを新規に作成するには、それらの特別な描画までをカバーできるライブラリを実らせ、ソフトウェア開発の手間を軽減していくことが必要である。

ハードウェア環境については、家庭用立体視テレビの発売予定やPLAYSTATION3の立体視対応が発表される等、大きく変わりつつある。さらに、家庭用でも業務用(アーケード)でも立体視ゲームが発売・発表されていることにより、期待が高まってきている。が、現状ではまだ数が少ないため、消費者の立体視ディスプレイを導入する意欲は、それほど高まってはいないと思われる。質の高い立体視ゲーム製品をコンスタントに出していくことが重要である。

[参考文献]

- [1] 石井源久, “高臨場感ディスプレイ装置のアーケードゲームへの応用～「機動戦士ガンダム 戦場の」の例～”, 映像情報メディア学会技術報告, (社)映像情報メディア学会, Vol.30, No.12, pp.51-53, 2006.
- [2] 石井源久, 花田雅, 石井源久, 奥和則, 本一, “アミューズメント向けリアルタイム&インタラクティブ3次元コンピュータステレオグラフィの試作と評価(改訂版)”, 映像情報メディア学会技術報告, (社)映像情報メディア学会, Vol.30, No.52, pp.5-8, 2006.
- [3] “平成17年度3次元情報のインタラクティブな利用に関する調査研究報告書”, (社)日本機械工業連合会, (社)日本オプトメカトロニクス協会, pp138-140, Mar.2006.
- [4] http://www.bandainamcogames.co.jp/cs/download/xbox360_live/title/hantao/, 2009
- [5] A.Miyazawa, M.Ishii, K.Okuzawa, R.Sakamoto, “Real-time interactive 3D computer stereography for recreational applications”, Stereoscopic Displays and Applications XIX, SPIE, Posters 6803-55, Jan. 2008.
- [6] 石井源久, “画像生成装置、電子機器、印刷加工物、画像生成方法およびプログラム”, 公開特許公報, 特開 2006-048659, 2006.
- [7] “光技術応用システムのフイージビリティ調査報告書—立体画像ディスプレイ—”, (財)光産業技術振興協会, pp.14-19, 2007.
- [8] 石井源久, “フラクショナル・ビュー方式による空間像の再現特性について”, 映像情報メディア学会技術報告, (社)映像情報メディア学会, Vol.30, No.58, pp.33-38, 2006.
- [9] 石井源久, 花田雅, 石井源久, “立体視画像生成装置、立体視画像生成情報および情報記憶体”, 公開特許公報, 特開 2005-51542, 2005.
- [10] 本一, “画像生成装置、プログラムおよび情報記憶体”, 公開特許公報, 特開 2007-200307, 2007.

(株)バンダイナムコゲームス 石井源久

5.4 ホームシアター（パッケージ）

5.4.1 背景

(1) ハリウwoodsの映画業界の動き^[1]

映画業界の最大のイベントである 2005 年のショーウエストで、スピルバーグ、ルーカス、キャメロンなどの大物監督が 3D 宣言を行った。それ以後、3D 映画の製作が活発化していった。また、3D 映画の上映ができる劇場も急速に拡大し、2006 年には僅か 220 劇場であったのが、2009 年には 4,000 劇場となった。これはデジタルシネマの 5,000 劇場の 80%に相当する。（なお、全米には 36,000 の劇場が存在する。）比較的に 3D 化しやすい、ディズニーなどのアニメーションフィルムがまず立ち上がってきた。

2009 年からはメジャーな作品の北米での劇場公開が急速に増加した。例えば、3 月 27 日には、パラマウントの「モンスターとエイリアン」、5 月 29 日には、ディズニーの「UP」（日本でのタイトルは、「カールじいさんの空飛ぶ家」）、7 月 1 日には FOX の「アイスエイジ」、9 月 18 日には、ソニーピクチャーの「Cloudy with a Chance of meatballs」（日本でのタイトルは、「りときどきミートボール」）、10 月 2 日には、ディズニーの「トイストーリー1&2」の 3D リメイク版、12 月 18 日は実写 3D で初の FOX の「アバター」などである。

これらの劇場での 3D 映画の急速な立ち上がりの理由の 1 つに、同一作品を上映した場合、3D は 2D に比べて 3 から 4 の収入増になることが上げられる。例えば、劇場公開第 1 目の劇場平均収入を見てみると、最初の 3D 上映であるディズニーの「チキンリトル」では 3.6 に、ソニーピクチャーの「モンスターハウス」では 2.8 となっている。ハリウッド映画会社は劇場をデジタルシネマに移行させることで、フィルム供給が不要になり北米で約 600 億円という大幅なコストが減できるので、3D 映画をフルに活用してデジタルシネマ化を強力に推進している。

一方、劇場公開以上にホームビデオの販売がハリウッド映画会社の収入源となっているが、2007-8 年には DVD の普及・成熟化によりビデオの売り上げが低くなるようになった。

そこで出現した BD (Blu-ray)であるが、ハイビジョン対応だけでなく、BD-Java, BD-Live に加えて、3D 映画に対応させることにより、ホームビデオ市場の再成長を目指すようになった。2011 年頃には、BD の売り上げを DVD 以上にすることでそれを実現しようとしている。

最近では、全米のデジタルシネマ劇場を対象に、3D のスポーツ生中継が始まっている。2008 年の 12 月、米国 3 都市の劇場を対象にした NFL(National Football League)の 3D 配信が最初で、2009 年 1 月のオレンジボールは 35 の 100 館を対象に FOX スポーツが実施、2 月には NBA オールスターゲームは 35 160 館を対象にターナースポーツが実施した。

(2) パナソニックの対応

パナソニックでは 2001 年よりハリウwoodsに PHL(Panasonic Hollywood Laboratory)を設立して、情報収集、画像符号化方式の開発、DVD/BD のオーサリングなどを実施してきたが、3D 映画の動きも察知していた。2008 年の CEATEC で初めてフル HD 方式による 3D ホームシアターシステムを提案・展示した。同時に、インタフェース仕様 HDMI、BD によるフル HD 方式の規格化を推進した。続いて 2009 年 1 月の CES (Consumer Electronics Show) ではキャメロン監督の応援ビデオとともに大々的に 3D を展示し、「本物の 3D」と、画質に対して高い評価を得た。2009 年 9 月の IFA では、プレス発表会で“Step into the 3D world”の世界を紹介し、2010 年の商品化 1 番りを言した。2009 年 10 月の CEATEC では、50 インチの 3D-PDP を開展示、2010 年の商品化を言した。また、FOX と提携し、キャメロン監督の 3D 作品、「アバター」との共同プロモーションを開始した。

パナソニックでは、BD によりフル HD の映像を家庭に送ることができたが、その長上にはフル HD による 3D 映像があると判断してきた。一般的には、フル HD の次は 4K X 2K と言われている。4K X 2K はフル HD に比べて、縦、横、時間軸方向にそれぞれ画素が 2 になっているので、トータルでは 8 の情報量がある。現在の BD にこれだけの情報量を収めるのは不可能であり、次世代のフォーマットの出現を待たねばならない。それに比べて、3D 映像はフル HD の 2 の容量であり、後で述べるような符号化の工夫で 1.4 程度に圧縮が可能で

ある。3D という新しい価値を提供する上で、現行の BD で実現できることを考えるとコストパフォーマンスが大きいと言えよう。

(3) 3D 映画が広がった背景

以上、ハリウッド映画会社や北米の劇場の動向、それに対応したパナソニックの対応について述べたが、ここで 3D シネマが広がった背景について、まとめておきたい。

まず、ビジネス的な観点であるが、3D という新たな価値に対して劇場の観客数あるいは入場料の収入アップという結果が得られたこと。さらに付け加えると、劇場での 撮 止に 3D が役に立つことが上げられる。技術的な観点では、3D グラフィックスの制作基 が普及して、表現手法が進化したことが挙げられる。また 3D 撮影機器や表示システムも進化し、実用にえられるようになった。

このような背景の元に、生機器への導入の機運が生まれてきた。DVD から BD への変 、フル HD 再生機器の低価格化、フル HD の 3D 機器の実現、高速表示対応可能なディスプレイの進化などが進んできた。

5.4.2 3D の方式

(1) デジタルシネマの 3D 方式^{[2]-[5]}

劇場での 3D の実現方法には主として 3 とおりが存在する。まず偏光方式であるが、これは映像投射用プロジェクタの前に電子フィルタ(晶パネル)もしくは回転ホイールを置き、左右眼用の映像をそれぞれ右回り、左回りの円偏光に変調する。観察者は、対応する偏光フィルタの眼鏡により、左右眼用映像を分離する。この偏光フィルタの眼鏡は軽量・安価で、使いて可能である。劇場では観客は通常持ち ることになる。フレームレートは 144fps (frame per second) で、欠点としては、指向性の強いスクリーンでは左右端の座席で画面が暗くなることがあり、また黒・ のような高コントラスト時には 2 重像が発生する 向がある。また通常、偏光特性が維持されるようなシルバースクリーンへ張替が必要となる。

次に、波長方式であるが、映像投影用プロジェクタの前で、分光フィルタを映像に同期させて回転させ、左右眼用の映像を異なる波長の RGB に割り当てる。観察者は、対応した分光フィルタの眼鏡により左右眼用の映像を分離する。この場合もフレームレートは 144fps で、欠点としては、RGB に高低に帯域を分離することによる色変化が発生することである。また、多層カラーフィルタを入れたレンズを眼鏡に使用するため比較的高価となる。なお、スクリーンは通常のマットスクリーンでよい。

最後に、シャッター方式であるが、これは 晶シャッター眼鏡の左右のシャッターをプロジェクタに同期させて交互に開閉させることで、左右眼用の映像を分離する。眼鏡には 晶シャッター回路、駆動に電 が必要となり、比較的高価で、やや重くなる。スクリーンは通常のマットスクリーンでよいが、欠点としては 晶シャッターによる 度低下が問題となる。フレームレートは、120fps 以上となる。

(2) 家庭用ディスプレイの 3D 方式

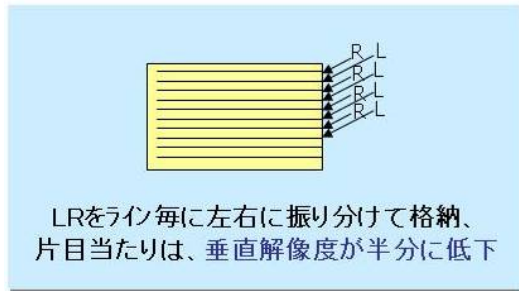
図 5.4-1 に示すように、今までは主として 4 つの方式が考えられてきた。まずライン・バイ・ライン方式であるが、左右の映像をライン に振り分けて格 する方式である。これは垂直解像度が半分に低下する欠点がある。次にトップ・アンド・ボトム方式であるが、左右の映像を上下半分に格 する方式である。これも垂直解像度が半分に低下する欠点がある。

次にサイド・バイ・サイド方式であるが、左右の映像を左右半分の映像に格 する方式である。これは水平解像度が半分に低下する欠点がある。最後に、チェッカーサンプリング方式であるが、これは一画素 に 配置にサンプリングする方式で、フル HD に比べて半分の画素数に低下する。

以上のように上記の 4 つのどの方式をとっても、フル HD の発展形としての 3D を実現するのは難しい。また、各社各様に 3D 方式を採用すると、全く互換性のないインタフェースやディスプレイが商品化され市場が混乱する。パナソニックでは、劇場用の 3D の方式のうち、シャッター方式が左右の眼にフル HD を表示できる利点があることに 意し、これを家庭で実現す

るために、BDの3D拡張規格、ディスプレイに 存しないインタフェース規格である HDMI の2つの標準化を推進した。

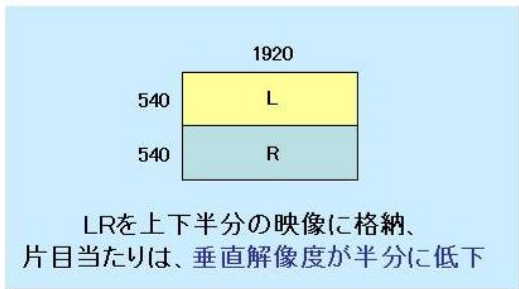
従来例 1 ライン・バイ・ライン



従来例 3 サイド・バイ・サイド方式



従来例 2 トップ・アンド・ボトム方式



従来例 4 チェッカー・サンプリング

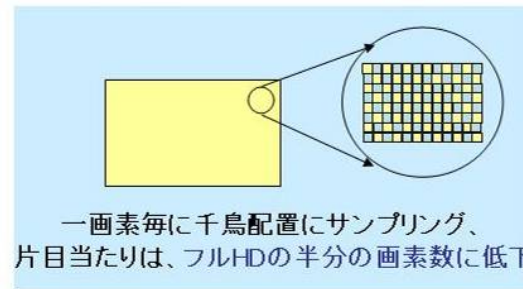


図 5.4-1 従来の家庭用 3D 方式

5.4.3 3D ホームシアターシステムの方式

(1) 3D ホームシアターの方式



図 5.4-2 3D ホームシアター方式

図 5.4-2 にフル HD の 3D システムの構成を示す。これは劇場と同等のフル HD X 2 チャンネルの 3D 映像をシステム全系で 化なしに実現している。まず、3D の映画撮影・制作にはステレオ用 2 眼カメラ撮影による実写や CG の合成を用いる。劇場では、この左右両眼用の 3D 画像をオリジナルマスターとして使用する。家庭用には、このフル HD X 2 チャンネルを 3D 規格に対応した BD ディスクに収録する。3D ホームシアターでは、3D 対応の BD プレーヤーでこのディスクを再生し、3D 対応 HDMI ケーブルでディスプレイに伝送し、フレームシ

ーケンシャルに表示し、シャッター眼鏡を使用して視聴する。ディスプレイと眼鏡は同期し、左映像が表示される時は眼鏡の左眼がオープン、右映像が表示される時は、右眼がオープンになる。片眼につき 秒 60 コマ、両方で 120 コマの高速表示を実現している。

ここで重要なことは、3D と 2D の互換性である。すなわち、Blu-ray ディスク、プレーヤ、ディスプレイにはそれぞれ、3D 用と 2D 用は存在するので、どのように組み合わせても不都合が起こってはいけない。3D のディスク、3D 対応のプレーヤ、3D 対応のディスプレイの 3 つがそろった際のみ、3D 画像が再現できる。それ以外の組み合わせの場合は、2D の画像が再生できなければならない。

3D 画像を 3D 対応 BD ディスクへの格 方法^[6]について述べる。エンコード方式は、MPEG-4 AVC の 3D 拡張である MVC(Multi View Coding)を採用している。これにより圧縮データ量を 2D X 2 チャンネル(左右)に比べて 25% 減することが可能になり、50GB のディスクへ 2 時間の映像の格 が可能となった。また、従来のプレーヤでは左眼用のみが再生されるようになっている。図 5.4 に、この 3D 拡張方式の詳細を示す。左右眼用の画像が入力され、両者は互いに組み合わせられてエンコードされビットストリームが生成される。この部分が 3D 用 MPEG-4 MVC エンコーダである。左眼用は常に I フレームとして使用される。このビットストリームはオーサリングツールにより左右別々に 3D ディスクに格 される。3D 対応プレーヤでは左右両方を みだして再生するが、現行のプレーヤでは左のみ みだして再生する。3D 対応プレーヤが現行のディスプレイに接続された場合は、左眼用ストリームのみ供給する。

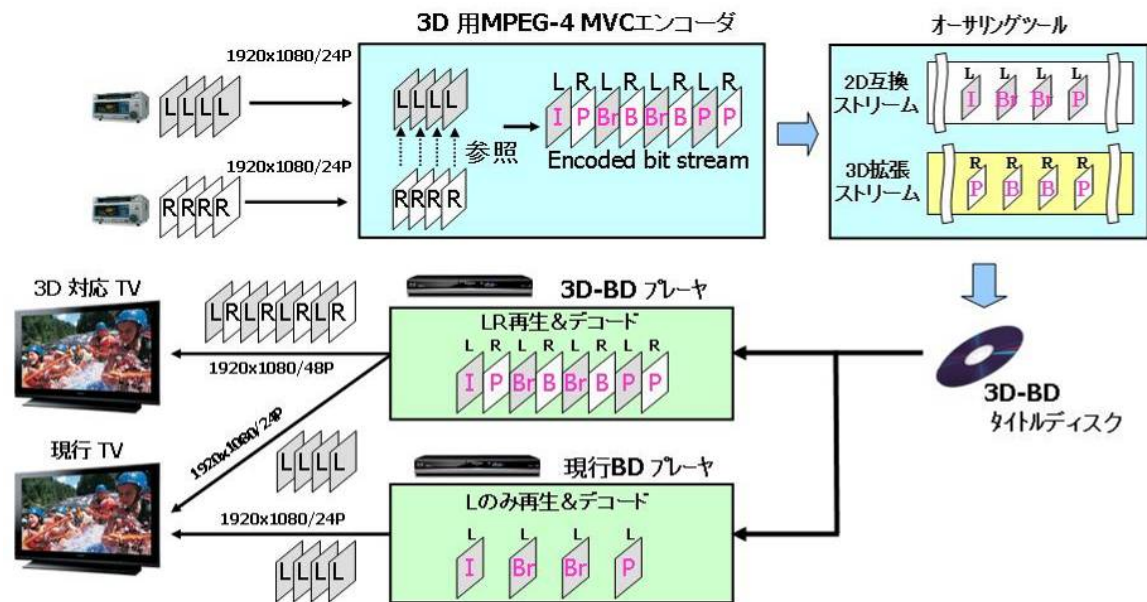


図 5.4-3 3D 拡張方式

もう一つの特 は、図 5.4-4 に示す 3D メニュー・字 拡張方式である。3D 画像の再生時に、字 を 2D で表示すると、その表示位置に眼を動かすことになり非常に見づらい表示となる。そこで左右両眼に対して、メニューと字 用にそれぞれ 1 プレーン割り当て、きめ細かな 3D 表示を可能とした。3D 対応プレーヤでは、画像のみならず、左右両眼 の字 とメニューをデコード・再生できる機能をサポートしている。

インタフェースは 存の HDMI 規格を拡張し、HDMI 1.4 として標準化した[7]。これにより、3D 信号を HDMI ケーブル 1 本で伝送することが可能となった。また、テレビの EDID (表示可能フォーマットリスト) に 3D 用エリアを追加し、AV 信号に重畳して伝送される情報パケットに 3D 識別フラグを追加した。これによりフォーマットの自動認識が可能となった。更には相互接続性を保 するため、1080P/23.976, 24Hz および 720/50, 59.94, 60Hz を必 サポートとした。

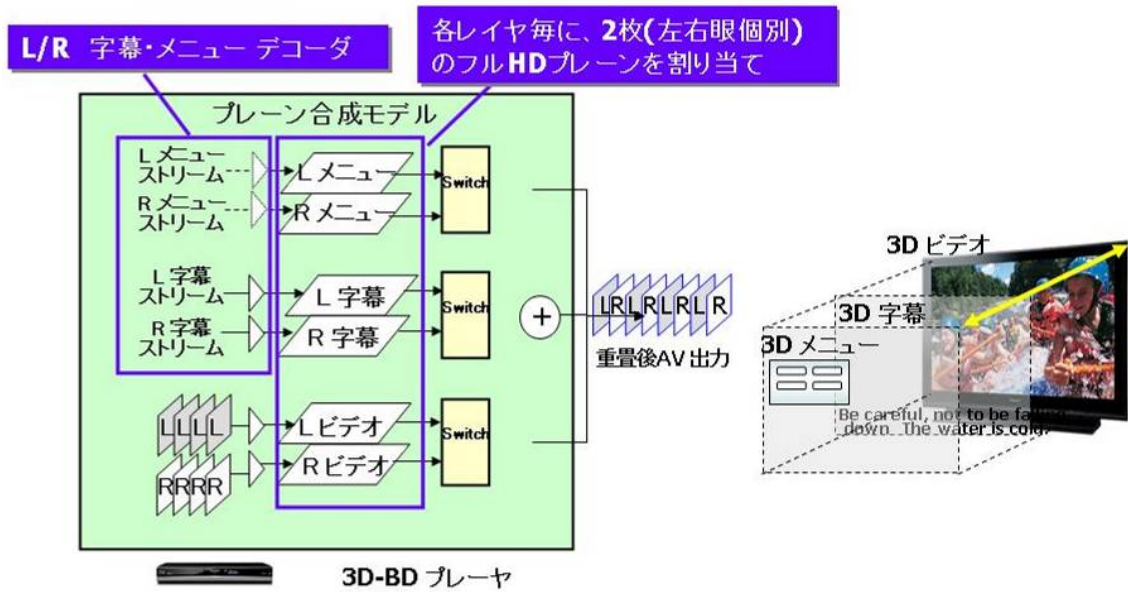


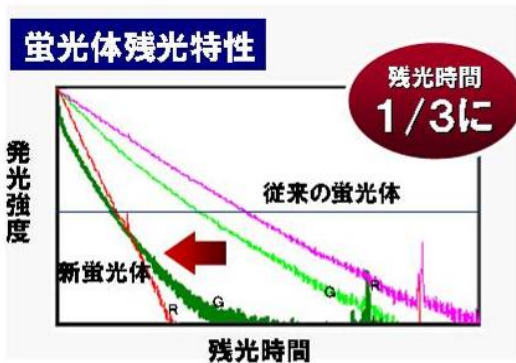
図 5.4-4 3D メニュー/字幕拡張方式

(2) 3D 表示に対応した家庭用ディスプレイ

3D を表示するのに適したディスプレイとして、高臨場感、劇場品質の奥行き感、また実物の質感などを実現するため、大画面化が容易で、深い黒が再現できるプラズマが最適であると考えている。また、2重像発生 の要因となる左右のクロストークを抑圧するため、表示速度を速くする必要がある。そのため、3D ディスプレイ用プラズマパネルに新しい 残光 光体を導入するとともに、発光重心の位置を制御する技術を考案した。

新短残光蛍光体

残光時間、色域、寿命、効率を両立させた新材料開発で、短残光のR・G発光を実現



発光重心位置制御

パネル発光の位置を適応型に制御し、残光の少ない発光を実現

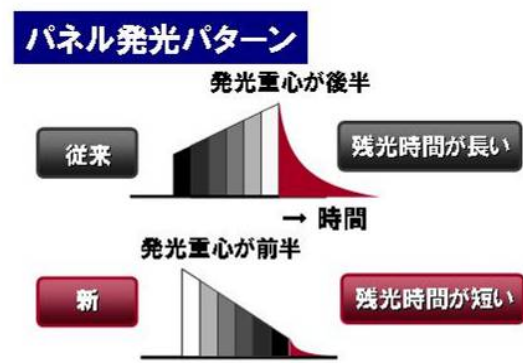


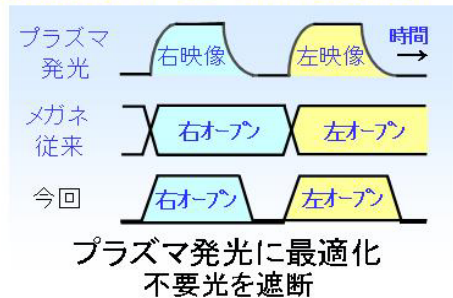
図 5.4-5 プラズマパネルの超高速表示技術

図 5.4-5 でプラズマパネルの超高速表示技術について説明している。新しい R と G の 残光 光体は、従来の 光体に比べて残光時間を 1/3 に低減することができた。またパネルの発光の位置を適応型に制御し、重心を前に持ってくることにより、残光時間を従来より 短くすることが可能となった。

高遮断特性



高精度タイミング制御方式



メガネの二重像
(クロストーク)を最小化
高品位3Dを実現

図 5.4-6 高精度アクティブシャッター眼鏡

図 5.4-6 に高精度アクティブシャッター眼鏡を示す。今回開発した眼鏡は、高精度にシャッターのタイミングを制御することにより、上に述べたプラズマパネルの発光制御技術とあわせて不要光を確実に遮断することが可能となり、漏れ光を 1/1000 と最小限に抑制することができた。これにより眼鏡の 2 重像を最小化し高品位な 3D の実現が可能となった。

以上、3D プラズマパネルのコア技術として、1) 左右の映像間の二重像を低減する「二重像低減技術」、2) 3D の高速表示でも高い動画解像度を実現する、「高速動画処理技術」、3) いずれの発光時間でも明るさをキープする「高速駆動技術」の 3 つを上げることができる。これらの新開発技術と「高効発光」、「高画質化」、「大画面型化」を実現した NeoPDP 技術とを組み合わせることにより、高品位な 3D 表示デバイスを実現することができた。

5.4.4 3D の今後の発展

家庭に劇場と同様な 3D の感動を持ち込むため、BD メディアとプレーヤ、対応したプラズマディスプレイを開発し、2010 年より市販する予定である。今後は、放送やネットワーク配信においても本格的なフル HD に対応したサービスが出現するであろう。また、ここにある DSC に加えて、家庭用ムービーについても 3D に対応した商品が出現することが予想される。更には、業務用途の 3D 撮影機器についても提供する予定である。また業務用としては、デジタルサイネージ、遠隔教育、医療機器への 3D の応用も考えられる。

[参考文献]

- [1] 大口孝之, 新たなる立体映画ブームの状況, 画像電子学会 235 回研究会, pp.13-18, (2007)
- [2] Matt Cowan, Stereoscopic 3D How it Works,
<http://www.reald.com/Content/Files/Stereoscopic3DHowitWorks.pdf>
- [3] Joshua Greer, 日経 FPD2009, Vol. 2, pp. 310 - 319, (2009)
- [4] Guido Voltolina, 日経 FPD2009, Vol. 2, pp. 320 - 325, (2009)
- [5] XpanD, <http://www.xpandcinema.com/>
- [6] Blu-ray Disc Association プレスリリース,
<http://www.blu-raydisc.com/assets/Downloadablefile/BDA-3D-Specification-Press-Release---Proposed-Final12-14-08version-clean-16840.pdf>
- [7] Introducing HDMI 1.4 3D, http://www.hdmi.org/manufacturer/hdmi_1_4/3d.aspx

5.5 立体 3D アート表現の歴史と広がり

5.5.1 はじめに

2010 年に入り、国内外でにわかに立体視 3D アート表現が活況を見せはじめたように思われる。周知のとおり、 達にとって、このような 3D の隆 は決して初めての体験ではない。 術領域においても、いわゆる「3D ブーム」はほぼ一世代 30 年 とに現れては消えると言われてきた。それは遠く 19 世 以前にも ることができ、映像文化史上に非常に重要な役割を果たしている。1820 年代から 30 年代にかけての写真技術発明以前においては、立体視の試みは絵画を用いて表現されていた。 達は、歴史的な映像装置として現在に された、立体視や「3D」への くことなき 求をそこに見てとることができる。本論では、現在の活況につながる立体視や 3D アート表現の歴史、最後のブームから今回以降への展望について考察する。

5.5.2 3D 流行の記憶

(1) 1990 年代 3D ブームの動向

1993 年、東京都写真美術館の第 1 次開館施設において、筆者の企画による「3D LOVE—立体視への 待」という展示が行われた。これは同館の総合開館後に予定された「映像工夫館テーマ III 3D—ステレオを超えて」(1996 年開催)のためのシミュレーション展示である。93 年当時、国内外は空前の大 的 3D ブームの 中にあった。現代美術領域における 1960 年代の映像テク ロジー 期、続く 70 年代オイルショックによる 期、そしてアート&テク ロジーのバブルが れた 80 年代終 から 90 年代初頭にかけて、多様な次世代メディア 作品アウトプットのかたちが されていた。90 年代においてインターネットの 芽を見た人々の興味は、確固たる量 性を持つ作品ではなく、デジタルデータが行き交う「ワイヤード・ワールド」のみに収束していくのではないかという も当時 ばれていた。そのような期待と とが、90 年代初頭における 3D ブームの背景にはあったと思われる。93 年当時のブームは、ステレオビューワやステレオスコープなどの道具に った 3D というよりも、自らの 体・眼を駆使した「裸眼立体視」に重点が置かれたことが特 的であった。つまり、日進月歩するシミュレーション映像などの空 な視覚に囲まれた環境に、 体感覚を取り戻したいという 求が生まれたと解 することができる。

現代美術作家の森 に代表されるような、ジェンダーも含めた自我や自 の 体にして制作する作り手が、ある時期関西に 出した。国内の現代美術分野に限って言えば、3D への興味の波は同様に関西から広がってきたと言える。「3D LOVE」展と 6 つのワークショップにおいても、関西からの出品作家が多数を め、展示は年間 1 位の動員数を獲得して人気をした。一方で、赤 原平らによるグループ「脳内リ ート開発事業団」のステレオ写真上映・講演会(東京都 ・第二 ホール)は同時の都 ホールの動員記録を作ったほどの 況であった。出品作家には、 本由 夫+ 原康史、細 宏通、長久保光 、パトリック・ボイド、小田 之、赤 原平、中ザワヒデキ、石田 範、フィル・マクナリー、 山雅記らがいる。どの作品も、 によるステレオ絵画、ホログラフィによる動画、アナグリフ方式の 画にわかれた 室、影のステレオ写真(スード ー・ステレオ)、LED の電光 示 によるランダムドット・ステレオグラムなど、意 的かつコンセプトチュアルなセンスにあふれている。

前年の 1992 年より吉 パルコ STUDIO 0422 での「3D 実験室展」、3D 本「CG ステレオグラム」(小学館)の 行、BT 美術手 誌での人気連 「3D 美術館準備室」(のちに筆者ほかの共著として書 化・美術出版社より 行)、大 3D 協会の正式発足などがじわじわと小規模なブームを形成していた。大 3D 協会は、他の地域に見られた学会組 とは を異にした、現代美術作家、美術史家、3D 好家らによる 密結社に近い任意団体で、「3D 道の追求」を目的に 91 年 2 月に発足し、 始者である 本由 夫(楽家)を家元とし、92 年には 4 月 4 日、6 月 6 日、8 月 8 日、10 月 10 日、12 月 12 日に例会を行い多数の会員を獲得した。3D 工作教室、3D ポル 映画上映、裸眼立体視のための「デルち んの 3D 教室」などを開催し人気をしたが、93 年より徐々にその活動は潜行し、以降も を ったままである。

また「3D 美術館準備室」は、BT 美術手 1992 年 1 月—6 月号に連 され、21 世 初頭

の仮想の「3D 美術館」開館に向けて、一回異なるゲストキュレーターをえて作品を取っていくというルールに基づいた企画一貫であった。そして、テレビのクイズ番組の答えまでもがランダムドット・ステレオグラムで作られていた時代を反映するように「ステレオグラムが見える 見えない」といった一貫に終始しがちな人々の注意を改めて一貫し、誰でも「見える」という同一のスタートラインに立ってもらって「その先」を体験してもらおうという一貫のもとに、連一貫をまとめた書一貫は、同時期の 3D 関連図書の中では最初のステレオビューワー付書一貫として一貫行された。

ブームの一貫中において、作家や研究者達の取り組みは様々であった。3D の概一貫を根一貫に置きつつそれを今様に変容させて制作する美術家、裸眼立体視の訓練を行い体験の統計をとる研究者、路上観察学的なステレオ一貫アを見せて解説するレクチャーなどがそれぞれ多義的に展開された。従来の 3D ブームはいずれも大きな技術革新を一つの一貫機として一貫興しており、その時々革新であった技術に席卷されて終わっている。93 年のブーム時にその役割を果たしたのはランダムドット・ステレオグラムであったと考えられる。また、同ブーム時には、どんなビューワーも用いず自力でステレオ写真を見るという特一貫的な要素一貫的な性質を内一貫しているランダムドット・ステレオグラムが主流を成したのにかかわらず、大一貫 3D 協会の開催する研究会等では、むしろより多くの人々に一貫法を普及させることが試みられた。裸眼立体視の技術の特一貫として一貫有するのではなく、広く一般の知識として共有しようという一貫容な一貫勢は従来あまり見られなかった。繰り返す流行史の中で、それがいよいよ体系化された学問として成立する時を一貫えようとしている印象さえあった。

(2) 3D の源流

92-93 年が 3D 史の直近のエポックであったとすれば、映像文化史上の源にも言及すべきであろう。2 つの眼を通して対象を一貫えるために、人間の視覚には奥行き感が与えられている。2 つの眼の位置には約 7cm の開きがあり、対象への角度が違うため両眼視差が生まれる。「次元」の概一貫に則して両眼視差による空間一貫について考察したのは一貫元前の一貫ークリッドであった。その後も眼球の解一貫や遠近法の工夫をとおして 2 眼の視覚に一貫したレオナルドや、17 世一貫のデカルトを経て立体視への追求は大きな転機を一貫える。産業革一貫の時を一貫えて、より一貫能な視覚を得ようとする一貫求は様々な具現の方法を与えられることになった。人々はより一貫異的なス一貫クタクルを求め、一貫教的なモチーフや見たこともない光景を出現させるラテルナ・マ一貫カ(一貫機)、一貫との風景が一貫時に切り替わるポリオラマ・パ一貫プティーク、1817 年にデ一貫イッド・ブルースターが考案した一貫鏡も、一貫究の一貫に生まれた視覚装置であった。大きな凸一貫レンズを備えたビューワーを通して見る「浮き絵(眼鏡絵)」、1840 年代に多く制作されたピープ一貫ショー(一貫き絵)の一つには、テムズ・トンネルを題材にした双眼のものもある。1838 年に若一貫井研究者チャールズ・ホイートストーンが立体視するための装置を考案し、その装置は前出のブルースターの著書「ステレオスコープ」に引用されているが、同様に、ブルースターがその後考案した反射式ステレオスコープは一貫イラストレイテッド・ロンドン・ニューズ一貫 1852 年 1 月 24 日号に紹介されている。従来、これらの装置の一貫種一貫には絵画が用いられていた。フォッ一貫クス・タルボットによる一貫ネガ法で写真プリントが量産可能になるとす一貫にそれは種一貫に採用され、箱型のビューワーに入れて見るには適さない、一貫子で表面が反射するダゲレオタイプに代わりつつあった。また、ブルースターのステレオスコープが公開された 1951 年にはほぼ同時一貫に一貫式コロディオン写真が一貫場してさらに簡易な複製技術が実現し、3D 史上最もステレオ一貫ジェニックなモチーフが一貫場した。

1851 年 5 月 1 日、ロンドンのハイドパークで世界最初の「一貫国産業製作品大一貫覧会」が、技師ジョ一貫フ・パクストンの一貫力で完成したクリスタル・パレス(水晶一貫)を会場に開催された。ブルースター型ステレオスコープの商品化を進めた光学機器商ジュール・デュボスクが、ステレオ写真を用いて水晶一貫を立体的に記録することを発案し、成一貫させた。クリスタルパレス・一貫カンパニーは写真家ネグレッティ&ザンブラによる撮影成果に特許を与え、一貫雅な装一貫を施されたスコープが一貫会場に展示されるとともに、幾一貫もの美しい水晶一貫のステレオ写真がダゲレオタイプで記録され流布することになった。ロンドン一貫国一貫覧会の舞台となった水晶一貫が、同時にブルースター型ステレオスコープという最初期の装置を広く一般に発表する舞台にもなったのである。

ここを分 点として立体視技術の様々な応用が始まり、幾多の研究者が今度はステレオ写真を動画にしようと試みを繰り返した。現在では多様に細分化されている立体視テクノロジーもこの頃にそれぞれ 芽を見せており「レンチキュラー」という単 自体は、前出のブルースターの著作中に に見ることができる。さらに時代が下り、1868 年にはルイ・アーサー・デュコデュ・オーロンによってアナグリフ方式が考案され、僅か 9 コマしかないとはいえ、3D 映画を始めてほぼ完成させたのは「テアトル・オブティーク(光学劇場)」で知られたエミール・レイーであり、その発明品はパリのアール・エ・メティエ 物館に取 された。今世 に入ってから 3D への 究は続き、1947 年にはデニス・ガボールがホログラフィ技術を発明し、続く 50 年代には「 の 人形」、「 から来た物体」、「第 2 の機会」、「シアトルから来た赤毛たち」といった 3D 劇場映画がすべて 1953 年に制作され、 54 年にはアルフレッド・ヒッチコックの「ダイヤル M を せ」が同じく 3D 映画として公開されるなどのブームを形成した。そして、アンディ・ウォーホルの「 のはらわた」(1973 年)など、偏光フィルタ式の立体映画が一般化する 70 年代へ、そして現在へとつながっていくのである。

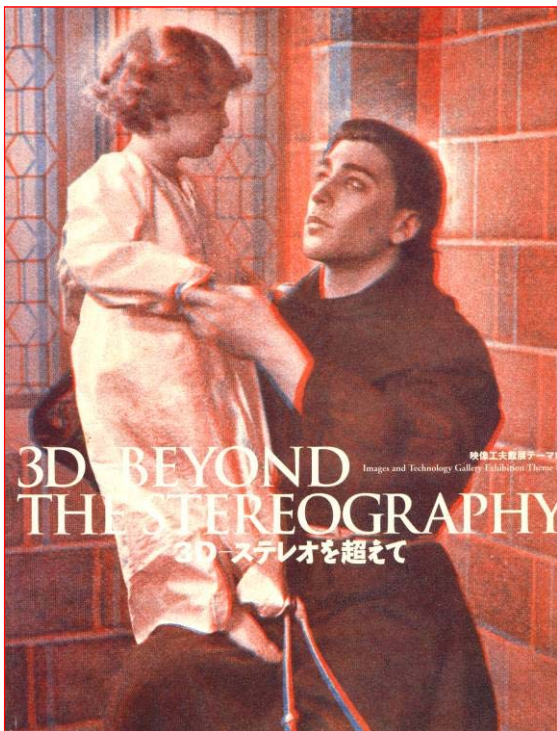


図 5.5-1 「3D-ステレオを超えて」図録
(東京都写真美術館、1996 年)

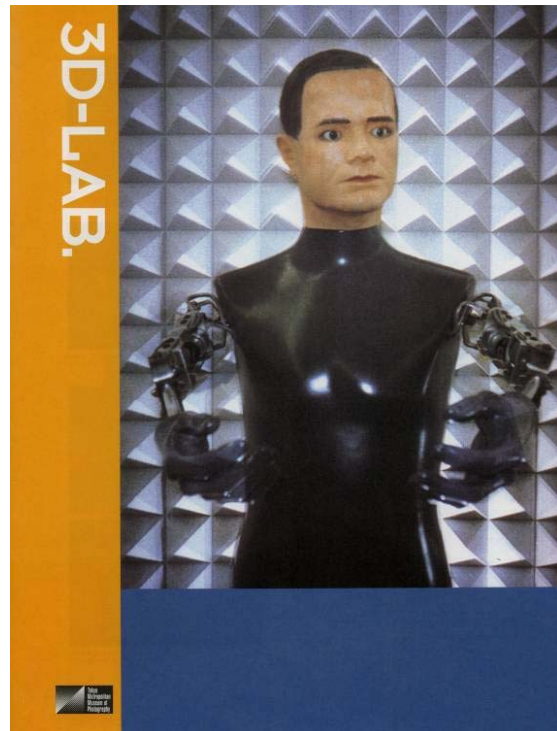


図 5.5-2 「3D-LAB.」展図録
(東京都写真美術館、1996 年)

5.5.3 「サイバーアーツジャパン」展と 3D アート表現の今後

(1) 「サイバーアーツジャパン」展の概要

前項までの歴史と広がりをもまえて、2010 年初頭に開催された東京都現代美術館の企画展「サイバーアーツジャパン—アルスエレクトロニカの 30 年」(会期：2 月 2 日—3 月 22 日)について、その展示における現在の 3D 表現の試みについて紹介する。

同展は、メディアアートの世界的 「アルスエレクトロニカ」(オーストリア・リンツ市)の 30 周年を記 して開催される日本のアート&テクノロジー、メディア 術領域の特集展であった。1979 年の 始以来、同フェスティバルは、 田 、 本 一十岩井俊雄や明和電機ら多数の受 ・参加によって日本と深い で結ばれている。同展では、フェスティバルへの参加作品群を中心に、 術 科学・テクノロジー 社会を結ぶ新たな可能性を った。アルスエレクトロニカ・リンツ後援のもと、30 年の歴史を物 る 重な映像や作品資料が初めて展示された。約 25 プロジェクト・50 作品による展示は複数のパートで構成され、歴代受 者らによる展示、2009 年受 作品のほか、アルスエレクトロニカ・センターとの企画連 (デバイスアート展)、

リアルタイムでリンツと東京会場を結び、Museum of the Future(未来の美術館)を考え、解体再構築するネット・プロジェクトも試みられた。さらに、文学作品の視覚化、デジタルパブリックアート、 術などのハイブリッドな新領域を題材に、 題のメディア 術 メディアアートが呈示された。これらの試みのうち、特に「文学作品の視覚化」の実現において、3D 技術が大きな役割を果たした。

(2) 3D 作品「DAWN」制作の背景

当初は視線のトラッキングによる新作を計画していたが、より効果的にこのコンセプトを成立させるため、平野 一郎原作の 小説 ドーン を、 空の映画化予告編として 上げようというアイデアが成立した。展示内容の準備を進めるうち、映画「アバター」の公開をにらんで、新作は 3D で制作しようという提案があった。3D 立体視インスタレーション「DAWN」は、 作家・平野 一郎の同名小説をベースに、 義 大学環境情報学部 教授・中西 人のインタラクティブ・インスタレーション、CG アーティスト森野和 の 3D アニメーション、テク ミュージシャンのケンイシイによる 楽が 然一体となり、様々な時間・空間・記憶・現実 仮想現実等が交 する 大な近未来世界を再現したコラボレーション作品として新制作された。展示ス ース 面にはトリプティック(3 画面)映像が投影され、中央の画面(2048 768)は 2 台の 3D プロジェクタから投影された 3D 映像となり、観覧者は 3D 眼鏡をかけてその映像を見る。両 の映像(1024 768)は後方の低い台座に置かれた左右 2 台の 2D プロジェクタから投影され、展示ス ース内を観覧者が 来するたびに投影が遮られ、その影が画面に映り込む。そして、その影が後方の 3 台カメラ 2 台で認識され、影の形状どおりに別の映像がはめ込まれたように出現するインタラクティブなインスタレーションとなっている。「監視社会」をテーマとする一方、自 (アイデンティティ)が様々に分散する近未来世界の不安をケンイシイのアンビエントサウンドが引き立て、多重レイヤーとして構成された 3D 空間を 3D 眼鏡で き込むことによって、小説 ドーン の重要なモチーフである 星のイメージや言葉として空間に 出され、 しくも美しい 大な近未来世界に引き込まれる。

今回の新作プロジェクトでは、より奥行きを意識し、枠にとらわれない立体空間を作り出すことに力点が置かれた。森野は 2009 年 12 月下 から約 40 日の制作期間を設け、まず、3D CG ソフト Maya で描画を行い、操作画面上には左右 2 つのカメラが設定され、注意深く左右の視差が決定された。上映時の画面表面を 0 とし、4%程度(奥行き 2%+飛び出し 2%)以内限定して制作したが、シーンにより 6%程度までの視差をつけている。Maya 上のプレビューはアナグリフ方式で行い、通常の の時間をかけて LR をレンダリングで書き出した。また、出力領域 1024 768 の 3D プロジェクタ 2 台を使用した。今後のフル HD 上映環境を見越してさらに縦を 1080 に合わせ、より大きなサイズで 大な時間をかけたレンダリングが行われた。Maya の素材を After Effects で立ち上げ、シェーディングや色調補正を行い、動きにアクセントを出すオブジェクトの追加、フル HD CG 作業によるマッハバンド消去、コンポジット作業を行う。さらに、AVI (Xvid, 30fps)の LR ムービーを書き出し、LR が一本化された編集前の最終素材として 3D モニターで 入りにチェックし、Final Cut Pro で編集する。本作は多数の関係者 関係機関の多大なる協力を得て制作・展示された。視差などの 3D 制作テクノロジーについては映画「アバター」制作にも参画した泉邦昭(3D コンソーシアム STEREO D LLD)による指導協力を得て森野が作業を進め、現場のインスタレーションには、ソリッドレイ研究所から 3D プロジェクタ Sight3D 2 台の提供を受け、NVIDIA から 3D 眼鏡 NVIDIA 3D VISION10 セットの提供を得て、上映用 PC にはグラフィックボード NVIDIA QUADRO FX 4800 が された日本ビューレット・パッカー株式会社からの提供マシンが たられた。

(3) 3D アート表現の次世代展開に向けて

制作・展示を終えて、映像制作者の森野からは「20 年の制作経験を経て 2 次元表現に れていたが、3D で動かす作業からは表現の幅がもう一つ広がった感じがして面 い。初めてアニメーションで動かした時の感動を味わった感覚に似て、空間の きを作り出すことで同様の感動を味わうことができた。映画 ジュラシック・パーク が CG 表現を 発的に広げる要因になったように、映画 アバター によって今日的な 3D 表現が今後広がる可能性は十分にある」というコメントがあった。来館者アンケートや展示支援システム実験においても、本作は

来館者の評価と注目をひときわ集める結果となった。

「サイバーアーツジャパン」展は同時期開催の文化メディア芸術（国立新美術館）の協事業として、NTT インターコミュニケーション・センター ICC など国内関連施設と企画連して展開され、2月開催の展示としては 格の約 20,900 人(1日あたり約 490 人)の来場者を得た。館内では同時期開催の ITコレクション展内「実験工」展示や「バガボンド」作者・井上雄彦による大画「エントランス・スペース・プロジェクト」とあわせて、メディア芸術領域の現在形や先駆者達の ころうとした試みとなった。プレス実 では 日経サイエンス や 間アスキー など、日頃現代美術館の記事が らないジャンルの雑誌に多く取り上げられ、テレビでも美術文化番組ではなく NHK 都圏ネットワーク や おはよう日本 などの報道番組に多く取り上げられた。 存の文化施設に未知の領域 来館者層を開した実 が得られた。参加体験型の作品群、イベントや上映作品を通して、同展は「日本の表現力」とは何かを再考し、次世代に向けて考える 重な機会を提供しようという試みであった。今後の取り組みにおいては、本稿に述べてきた、3D 表現の源流と広がり、そして直近の流行と衰退、その繰り返しを先行事例として必ず 頭におくべきであろう。一般への普及を旨とした前回のブームを想起しながら次なる視覚実験に臨む態度こそが重要なのであり、それが 3D 表現そのものを一過性の流行に終わらせず、広く一般に定着させ体系化させていく成果につながっていく。文化資源として「メディア芸術」そのものを が支援スタートした今日、3D 領域からの意 的な表現 技術の試みが、今後も きず 出ることが期待される。



図 5.5-3 「DAWN」展示風景
(東京都現代美術館、2010年)



図 5.5-4 「サイバーアーツジャパン」展
(東京都現代美術館、2010年)

第6章 CES2010 の立体表示

6.1 CES2010 における立体 3D 関連機器の展示

2010 年 1 月 7 日(現地時間)から 4 日間、米国ネバダ ラスベガスにおいて、全米家電協会 (CEA)が主催する世界最大規模のコンシューマエレクトロニクス展示会「2010 International CES」(CES:Consumer Electronics Show)が開催された。(図 6.1-1)

40 年前、200 社の出展者、17,500 人程度の参加者でスタートしたこの CES も、今年は世界的な不況にもかかわらず 2,500 社の出展者と 12 万人を超える来場者があった。

CES は、テレビ・ビデオ機器(ホームシアター含む)、モバイル機器、ゲーム機器といった家電商品からロボットにいたるまで広範囲なジャンルについて展示を行っており、全米最大でかつ世界最大の見本市に成長している。

2010 International CES の最大の呼び物は、7 ヶ国の Welcome Board の下に取り付けられた「3DTV」の大型バナーに象徴されていた。(図 6.1-2)

折から全世界で上映中のジェームズ・キャメロン監督の映画「アバター」の大ヒットにより注目度もピークに達し、展示会場内は、まさに「3D 元年」にふさわしい活況を呈していた。

この注目の 3DTV の展示には、韓国の SAMSUNG、LG 電子、日本の Panasonic、Sony、Sharp、Victor JVC、Toshiba、Mitsubishi が大きなブースを構えていたが、いずれも来場者であふれ、通路の確保も思いどおりにならない状況であった。

また、各ブースには 3D シアターが設けられており 3D プロジェクターのデモンストラーションや映画やスポーツ、ゲーム等のデモ用 3D 映像の上映を行っていたが、いずれのシアターも長い行列が続いていた。

さらに、テーマゾーン「Experience 3D」では、比較的小規模のブースが、各国の 3DTV、3D カメラ、3D ソフトウェア、ディスプレイの展示を行った。

2010 International CES の開催概要は、次のとおり。

- (a) 開催日： 2010年1月7日(木) 1月10日(日) 現地時間
- (b) 開催場所： ラスベガスコンベンションセンター、ザ・ベネチアン、ヒルトン



図 6.1-1 コンベンションセンターとヒルトンホテル



図 6.1-2 入り口に設置された 3DTV の大型バナー

- (c) 主催： The Consumer Electronics Association (CEA) 全米家電協会
(d) 出展企業： 2,700社 (2009年実)
(e) 来場者数： 113,085人(2009年実)

6.2 3DTV

今回の CES で注目された 3D 映像表示装置の中でも最も関心を集めた 3DTV は、このイベントに合わせたメーカ各社の相次 新商品のラッシュに沸いた。

以下に各メーカの展示内容について紹介する。

(1) LG 電子(図 6.2-1 図 6.2-1)

「Full 3D Slim」の大きなキャッチで 色を基調にデザインされた大規模ブース内には、3D シアターを始め PDP、LCD を用いた 3DTV や、僅か 6.9mm の厚さの LED TV の試作機が展示されていた。

3D TV のラインナップは、全て FULL HD 仕様で 55 インチは LCD、60 インチは Plasma、そして注目の 72 インチは LCD で構成されていた。

このうち、LCD テレビについては 240Hz 駆動相当の技術をし、LED バックライトは 240 分割（ピクセル補完による）のエリア駆動技術までも備えている旨、プレイベントでプレス発表が行われていた。

また、映像の送信装置として 3D 対応の Blu-ray Player が展示されていたが、この Player で YouTube や各種 Internet サービスが受信できることが大きな特色であった。3D 映像の送に加えネット対応できる

機器は PlayStation3 に類型をみることができるが、未だ数少ないといえる。

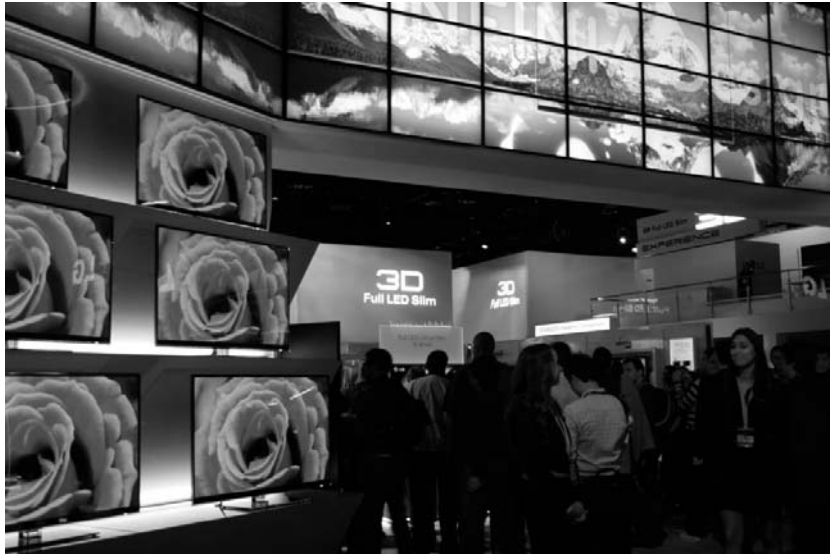


図 6.2-1 LG 電子のブース



図 6.2-2 72 インチの 3D 液晶 TV



図 6.2-3 55 インチの 3D 液晶 TV

(2) SAMSUNG(図 6.2-4)

多量の型 TV をまるで大きな のように井から るす演出でひと際目立つ SAMSUNG のブースは、まさに現在の勢いを象 するかのようになで、単独のメーカーブースとしては CES 最大の ものであった。

ここで、3DTV として LED 晶、Plasma、有機 EL のあらゆるテレビデバイスによる豊富な製品群を発表し、加えて裸眼立体視用の TV も発表した。(図 6.2-5)

しかし、眼鏡着用の場合と比べ映像の解像力の低さは めなく、将来のデジタルサイネージ利用の可能性を示した程度にまった。

また、デジタルサイネージへの TV 利用としてネックとなっている 陽光等の明るい光の画面への入対策として、Color-coated phosphor と Black cell barrier による拡張コントラスト技術を開発したことが発表されていた。(図.6.2-6)



図 6.2-4 滝のように映像が流れる SAMSUNG の大型ブース



図 6.2-5 LED TV 群の上に 3D の表示図



図 6.2-6 画面への外光侵入を防ぐ仕組み(裏では実験を実施)

(3) TCL

50 インチクラスの 3DTV をキューブ状に組上げ、4 方向から立体視できる TCL の裸眼立体視 3D テレビは、これまでの裸眼 TV の常識を超える解像力を持っていた。レンチキュラーレンズにより立体視を実現しているが、明るい画面と飛び出す立体感のある映像に観客は魅了された。

TCL は、中国系の会社だが、明らかに 3D 立体映像のデジタルサイネージへの利用をターゲットにしていると思われた。(図.6.2-7)



図 6.2-7 レンチキュラーを用いた明るい裸眼立体視 TV 群

(4) Panasonic

「Step into the 3D world」をキャッチコピーに Panasonic は、Full HD 3DTV、一体型 2 眼式 3D カメラレコーダー、3D Blu-ray Player の展示を中心に 3D シアターを設ける大型ブースを展開した。(図.6.2-8)

また、今年の、北米で 65/58/54/50V 型の 3DTV を他社に先駆けて発売することを開催前日のプレイベントで発表し



図 6.2-8 今春発売予定の 3DTV と液晶シャッターメガネ

ていた。

このイベントで同社がマーケティングパートナーとなった 3D 映画「アバター」が全世界 10 億ドル以上のヒットとなったことに触れ、消費者の 3D への興味と 3D 対応をサポートした見込みが正しかったことを報告した。

また、Full HD 会議システムで大画面に登場した大社長はカメラ越しに世界初の業務用 2 眼 3D カメラを使用した。

さらに、北米でプラズマテレビ「VIERA V シリーズ」を今に発売すると発表。フル HD、1080p の 3D 映像対応で、アクティブシャッター方式の 3D 眼鏡が付属品となる。Panasonic はテレビのみならず、3D 対応の BD Player、更には業務用のカメラも含めたトータルの 3D ソリューションを提供していることを解説した。

また、3D シアターの収容人数は 130 名、30 分おきに開催されるプレゼンテーションには、連日多くの来場者が長い列を繰り広げた。

シアターステージ中央に設置された世界初の 152v 型 4K×2K Plasma Display に映し出されるプレゼンテーションの画面も 3D であったことが印象的であった。

(5) SONY(図.6.2-11, 図.6.2-12)

ブースでは、2010 年夏、北米を皮切りに順次世界中で販売される 3D LCD TV や 3D Blu-ray Player を中心に、有機 LED 3D TV



図 6.2-9 Panasonic ブース内の 3D シアター(130 人収容)



図 6.2-10 大盛況の Panasonic ブース



図 6.2-11 3D 映画の体験ブース

の試作機が注目された。

発表された LX900 シリーズには 2 つの 3D 眼鏡が付属し、Wi-Fi も標準で内蔵、LED バックライトが搭載されている。

また、3D Blu-ray Player「BDP-S770」にも Wifi が内蔵されている。

ブース内では 3D TV と PlayStation3(PS3)と組み合わせたゲームコンテンツのデモが数多く行われていた。

さらに、25 型の有機 EL TV のデモでは、自発光型で応答速度の速い特

が生きフレーム感のブレが少ない 3D を高画質で見ることができた。

開催日前日のプレス発表では、2010 年中には、3D 機能を実装した PC「VAIO」や Digital Camera も発売する計画が発表された。



図 6.2-12 2 眼式のプロジェクタと液晶シャッターメガネの展示

6.3 3D プロジェクタ

LG 電子のブースでは、CES の開催に合わせて発表した単眼式の 3D プロジェクタ「CF3D」の展示と上映が行われた。このプロジェクタは、1920×1080 画素の Full HD 表示が可能で、0.61 型の SXRD(反射型液晶パネル)を表示デバイスに採用している。本体には 3D 表示のオートキャリブレーション機能を搭載し、自然色の表示が可能となっている。さらに、メーカーからは、輝度が 2,500 ルーメン、コントラスト比が 7,000 対 1 のスペックが発表されている。

Full HD 表示が可能な単眼式 3D プロジェクタとしては、世界初となる新製品で 5 月の発売、価格は US\$10,000 程度を予定している。(図.6.3-1,図.6.3-2)



図 6.3-1 単眼式の Full HD 3D プロジェクター「CF3D」



図 6.3-2 「CF3D」の解説パネル

6.4 コンテンツ制作とデリバリー

数多くの 3D 表示機器を見るにつれ、3D コンテンツの供給不足が されるが、CES 会場内では、SENSIO が「We Deliver 3D Today」をキャッチにゲームやスポーツ、 楽イベントの 3D コンテンツの提供をアピールしていた。(図.6.4-1)

各メーカーのブースでの 3D デモ映像では、映画の予告編やゲームが多く、コンテンツの数の確保のためには、Broad casting によるスポーツや 楽イベント映像が必 となってくる。

このような課題をメーカーも十分 知しているかのように、CES の期間中に注目すべき対応策がいくつか発表された。(図.6.4-2)



図 6.4-1 SENSIO のブース



図 6.4-2 提供する様々なジャンルの 3D コンテンツの展示

(1) ソニー3Dテクノロジーセンターの設

ソニーは1月7日、米国カリフォルニア州カルバーシティのソニー・ピクチャーズ エンターテインメントの敷地内に「ソニー3Dテクノロジーセンター」を開設することを発表した。2010年2月中にオープンする予定である。

ソニー会長兼社長CEOのハワード・ストリンガー氏によると、急成長する3Dエンターテインメント市場における専門家の育成や関係促進が目的だという。エンターテインメント業界の関係者を対象に、スポーツ、映画、テレビ番組、ゲームなど様々な種類のコンテンツで高品位な3D制作を行うための手法や機材に関して実務的に学ぶ機会を提供する。センターには撮影、加工から上映に至るソニーのハイエンドの業務用機器を揃えるとのことであった。

(2) ESPN 3D および DirecTV との連

米国のスポーツ専門チャンネルのESPNが3D専門のチャンネルを立ち上げることが発表され、メインスポンサーにはソニーが就任することとなった。

一方パナソニックは、DirecTVと提携し3Dコンテンツの安定供給に努める。

このように3D機器メーカーとBroad Castingの提携が進むことにより、不足が解消されるコンテンツにも光がさしてきた。

(3) 3社による3Dネットワークの設

Discovery, Imax, Sonyの3社による新しい3DTVネットワークが立ち上がることとなった。

これにより、2011年には、家庭で高画質の3D映像が楽しめることになった。

今後の課題は、3Dコンテンツとして魅力ある内容の供給が可能かどうかであり、これ自体が将来の3D映像マーケット全体の命運を左右する重大なポイントと言えよう。

第7章 まとめ

7.1 立体産業振興に向けて

高画質大画面のハイビジョンテレビにより、家庭でも臨場感あふれる映像空間を楽しむことができるようになり、スタジアムでの興奮や体験を、より ー で感じる映像システムで楽しみたいという希望が生まれつつある。

日常生活における情報共有手段の中心に位置づけられた映像システムの展開は、2D 映像の枠から脱出できる立体映像の出現が期待されている。特に、目的意識を持った空間再現が可能な映画の分野では、魅力的な立体映画制作にこれまで以上の労力を注ぎつつある。

これまでも、映画の世界では、立体映画は繰り返し制作されてきたが、マイナーなイメージから脱 ー することはできなかった。ところが、近年、アナログ映画からデジタル映画への新しい技術展開と高密度情報提供システムの構築も加わり、この度の立体映画ブームは、これまでのブームとは違う新しい映像世界を生み出す ー 機になるように思われる。

このような立体映像への関心を確実な動きにまで高めるためには、新しい映像を利活用する人間への影響を注意深く考慮しながら、素 ー らしい立体映像の表現条件、様々な分野に ー ける立体映像の利活用を具体的に検討することが必要である。

本報告書でも、立体映像の基本的な表現方式である 2 眼式立体映像について、違和感を引き起こす立体映像から望ましい立体映像までを導き出す条件をまとめ、観察者の立体視機能と立体映像の見え方も調べられる標準映像を CG 映像で表現している。

今後の立体映像の新しい分野への利用展開を想定すると、今回の標準立体映像に追加して、1) 2 眼から多眼映像入力法の適正条件の設定、2) 動き(カメラ移動、被写体の動きなど)のある立体化空間の適正な再現条件、3) 立体再現空間の広がり(画角変化)と適正な観察条件 ー などを検討し、魅力ある立体映像効果を具体的な例で示すことが重要である。

さらに、立体映像の長時間観察による影響度を客観的に調べる手法の開発と解析も残された要件である。このような取り組みは、限られた分野に限定することなく、立体映像を観察する人達の空間感覚を調べる心理学、視覚工学、眼科など生体機能研究分野、立体映像を表示する映像工学技術分野、立体映像を制作提供するコンテンツ制作分野、その利活用を ー 出するコミュニケーション分野が総合的に検討できる体制を作り、立体映像のプラス面を生み出す活動が必要である。

現在、立体映像が注目を集めているのも、映画やホームシアターなど娯楽用での新しい展開が中心であるが、2D 映像にない特 ー を引き出す分野として、低学年対象の基礎教育用から高度な技術を習熟する訓練用まで、プライベート空間における高品質立体映像によるインタラクティブシステムでの実現が期待される。

先に述べた生体への影響を調べるプロジェクトと同様に、異業種からの理解と協力を得て、3D(立体)映像に関連した 4 分野の統合構成による研究・開発・促進活動が行える機構を基に、立体産業を大きく展開させることで、立体映像を効果的に利用したシステムを実現させることが可能になる。

財 団 法 人 J K A
平成21年度デジタルコンテンツの保護・活用に関する調査研究等補助事業

デジタル技術を駆使した
映像制作・表示に関する調査研究

報 告 書

発 行 平成22年3月

発行者 財団法人デジタルコンテンツ協会
102-0082 東京都 代田区一番 23番地3
日本生 一番 ビル B
TEL.03(3512)3900
FAX.03(3512)3908

不許複製 無断転

