

平成16年度  
立体映像表示に関する  
調査研究報告書

平成17年3月

社団法人日本機械工業連合会  
社団法人日本オプトメカトロニクス協会

日機連  
16先端  
18

平成16年度  
立体映像表示に関する調査研究報告書

平成17年3月

社団法人  
日本機械工業連合会  
日本オプトメカトロニクス協会

平成 16 年度  
立 体 映 像 表 示 に 関 す る  
調 査 研 究 報 告 書

平成 17 年 3 月

社団法人 日 本 機 械 工 業 連 合 会  
社団法人 日 本 オ プ ト メ カ ト ロ ニ ク ス 協 会

## 序

戦後の我が国の経済成長に果たした機械工業の役割は大きく、また機械工業の発展を支えたのは技術開発であったと云っても過言ではありません。また、その後の公害問題、石油危機などの深刻な課題の克服に対しても、機械工業における技術開発の果たした役割は多大なものでありました。しかし、近年の東アジアの諸国を始めとする新興工業国の発展はめざましく、一方、我が国の機械産業は、国内需要の停滞や生産の海外移転の進展に伴い、勢いを失ってきつつあり、将来に対する懸念が台頭しております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題が山積しているのが現状であります。これらの課題の解決に向けて従来にもましてますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界あげて取り組む必要に迫られております。我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要が高まっております。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして社団法人日本オプトメカトロニクス協会に「立体映像表示に関する調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成 17 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会  
会 長 金 井 務

## は し が き

我々にとって映像技術は身近であり、重要な情報源であると共に様々な認識、思考の源となっています。

近年の急速なコンピュータ技術、情報通信技術等の発展、また種々の立体映像技術に関する研究開発の結果、かなり満足度の高い立体映像表示を行うことが可能となりました。しかしながら、立体映像表示に期待される大きな可能性から観ると、現状ではその応用範囲は限定された分野にとどまっているといえます。

立体映像表示を支える関連技術は、光学技術、機械技術及び電子・通信・情報技術を含む総合的技術であり、立体映像表示を広範な範囲に普及させ、立ち上がりつつある立体映像ビジネスを大きく育てることは、幅広く機械工業界の発展にも資することになります。

このような背景と現状を踏まえ、当協会は、平成 16 年度に社団法人日本機械工業連合会から委託を受けて調査を実施いたしました。本調査では、立体映像表示の技術的な研究開発動向及びニーズ等について調査を行い、立体映像産業発展の方向性を見出すための基礎的資料を得ることを目的としています。この調査は、液晶素子を初めとする平面映像表示分野で優位にある我が国が、立体映像表示分野においても世界的な主導権を握るためにも非常に重要であります。

本調査の実施にあたっては、協会内に「立体映像表示に関する調査研究委員会」を設置し、委員長には千葉大学教授本田捷夫先生に就任していただき、また委員には、会員会社を含む各方面の学識経験者をお願いをいたしました。本報告書の作成にあたられました本田委員長はじめ委員各位、並びに種々ご指導をいただきました経済産業省、社団法人日本機械工業連合会その他関係者の皆様方には厚く御礼を申し上げます。

本報告書が参考になり大いに活用されますことを期待する次第です。

平成 17 年 3 月

社団法人 日本オプトメカトロニクス協会  
会 長 櫻 井 正 光

## 平成 16 年度立体映像表示に関する調査研究委員会委員名簿

委員長	本田 捷夫	千葉大学 工学部 情報画像工学科 教授
幹事	高木 康博	東京農工大学 工学部 電気電子工学科 助教授
幹事	山内 真	独立行政法人 産業技術総合研究所 光技術研究部門 光計測制御グループ 主任研究員
幹事	岩田 藤郎	元凸版印刷(株)
技術分科会長	本田 捷夫	
委員	岸本 康	凸版印刷(株) 総合研究所 材料技術研究所 副主任研究員
委員	北村 満	大日本印刷(株) 研究開発センター オプティカルデバイス研究所 エキスパート
委員	末廣 晃也	日本ビクター(株) 技術開発本部 コアユニット 技師
委員	竹森 民樹	浜松ホトニクス(株) 中央研究所 第4研究室 主任部員
委員	土居 篤博	富士写真フイルム(株) R&D 統括本部 機器開發生産本部 機器商品開発センター 主任研究員
委員	中村 伸司	日本ビクター(株) 技術開発本部 コアユニット 主幹研究員
委員	西田 修造	シャープ(株) 技術本部 技術戦略企画室 企画グループ 副参事
委員	吉川 浩	日本大学 理工学部 電子情報工学科 教授
応用分科会長	中嶋 正之	東京工業大学 情報理工学研究科 教授
委員	足立 純一	(株)アペックス 専務取締役
委員	金山 秀行	三洋電機(株) 技術開発本部 デジタルシステム技術開発センターBU(ビジネスユニット) ビジュアルインフォメーション研究部
委員	河合 隆史	早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科 助教授
委員	澤田 一哉	松下電工(株) システム技術研究所 サイバースペースグループ 主幹研究員 参事

委員	島野 健	(株)日立製作所 研究開発本部 ストレージ・テクノロジー 研究センター 第1部 Optical Drive Technology 研究ユニットリーダー
委員	関谷 尊臣	ペンタックス(株) R&D センター 技術戦略室
委員	曾根原富雄	セイコーエプソン(株) 研究開発本部 映像技術開発室
委員	高梨 伸彰	日本電気(株) SOG 研究所 主任研究員
委員	松木 則夫	独立行政法人 産業技術総合研究所 ものづくり先端技術研究センター 副センター長
委員	山内 康司	独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門 治療支援技術グループ 主任研究員
関係者	陶山 史朗	日本電信電話(株)
関係者	服部 知彦	(有)シーフォン
関係者	平山 雄三	(株)東芝
関係者	松島 恭治	関西大学
関係者	宮下 崇	カシオ計算機(株)
関係者	山田 千彦	日本工業大学
関係者	結城 昭正	三菱電機(株)
オブザーバ	梅沢 茂之	経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐
オブザーバ	猪鼻 俊男	経済産業省 製造産業局 産業機械課 精密機械一係長
事務局	市塚 洋輔	(社)日本オプトメカトロニクス協会 専務理事
事務局	高岡 孝徳	(社)日本オプトメカトロニクス協会 業務部長
事務局	中野 正人	(社)日本オプトメカトロニクス協会 技術部長

(敬称略、順不同)

# 目 次

序 文

はしがき

委員会名簿

## 第 I 章 序 言

1	はじめに	1
2	調査概要	3
2.1	委員会の開催状況	3
2.2	報告書の概要	5
3	第 II 章 立体映像表示技術の概要	6
4	第 III 章 立体映像の利用分野の概要	7
5	第 IV 章 立体映像のシステム化技術等の概要	9

## 第 II 章 立体映像表示技術

1	立体映像表示とは	11
1.1	立体映像表示の目的と必要性	11
1.2	立体感を引き起こす要因	14
1.3	立体映像表示の技術関連の課題	16
2	立体映像の種類と観察形態	18
2.1	立体映像表示方式の種類	18
2.2	立体映像の観察形態	22



3	立体映像表示の先端技術	27
3.1	ホログラフィックプリンタ	27
3.2	動画ホログラフィ	34
3.3	裸眼立体モニター	39
3.4	超多眼立体映像表示	50
3.5	大型立体ディスプレイ	57
3.6	その他の技術	66

### 第Ⅲ章 立体映像の利用分野

1	製造分野における立体映像の利用	73
1.1	はじめに	73
1.2	立体映像利用の取り組み	73
1.3	おわりに	78
2	ロボット分野における立体映像の利用	79
2.1	はじめに	79
2.2	産業分野のロボット応用への立体映像表示系適用事例	79
2.3	対人サービス・人間共存ロボット応用への立体映像表示系適用事例	82
2.4	おわりに	84
3	医療分野における立体映像の利用	86
3.1	はじめに	86
3.2	診断における活用事例	86
3.3	治療における活用事例	87
3.4	医学教育・研究における活用事例	89
3.5	おわりに	89
4	土木・建築系シミュレーション分野における立体映像の利用	92
4.1	はじめに	92
4.2	現在の活用事例	93
4.3	おわりに	97

5	印刷・出版分野における立体映像の利用	100
5.1	3D グレーディングイメー、ステレオグラム	100
5.2	透明ホログラム、体積型ホログラム	102
5.3	計算機合成ホログラム	104
5.4	レンチキュラー方式	105
5.5	ランダムドットステレオグラム	109
5.6	アナグリフ、その他最近の情報	110

6	その他の分野における立体映像の利用	113
6.1	はじめに	113
6.2	娯楽分野における応用	113
6.3	映画・映像分野における応用	115
6.4	教育分野における応用	115
6.5	文化・芸術分野への応用	116
6.6	健康・福祉分野における応用	117
6.7	おわりに	118

#### 第IV章 立体映像のシステム化技術等

1	立体映像入力機器	121
1.1	はじめに	121
1.2	視差方式	121
1.3	干渉方式	123
1.4	モデリング技術	124
1.5	断層画像の積層	124
1.6	おわりに	125
2	立体映像の情報量	126
3	三次元映像生成・処理技術	131
3.1	三次元 CG による映像生成技術	131
3.2	画像・映像の 2D→3D 変換技術	136

3.3	立体映像情報圧縮技術	139
4	立体映像情報の保存・伝送	144
4.1	はじめに	144
4.2	保存メディア要求仕様	144
4.3	保存メディア・装置の現状と可能性	145
4.4	伝送方式の現状と可能性	147
4.5	おわりに	148
5	立体映像の標準化	149
5.1	フォーマットの必要性について	149
5.2	視差型のフォーマット	149
5.3	視差型の映像フォーマット	150
5.4	標準化の今後	152
6	立体映像の安全性とガイドライン	154
6.1	立体映像表示と視覚負担	154
6.2	国内における取り組み	155
6.3	国際的な取り組み	157
6.4	おわりに	158
7	立体映像表示の海外動向	161
7.1	海外技術動向	161
7.2	エンターテインメント分野	166
第V章 結 言		
1	立体映像表示の現状認識と今後への期待	175
2	立体映像表示の短期的課題	176
3	立体映像表示の将来展望	176
4	産業活性化へのプランと政策への提言	177

## 付 録

1	立体映像機器一覧	179
2	立体映像関連情報	183
2.1	特許関連情報	183
2.2	学術論文関連情報	184
2.3	書籍関連情報	186
2.4	学会関連情報	187
3	専門用語、略語、単位、規格	190
3.1	専門用語の解説	190
3.2	略語の解説	191
3.3	単位	192
3.4	平面映像の規格	192

# 第 I 章 序 言

1	はじめに	1
2	調査概要	3
3	第 II 章 立体映像表示技術の概要	6
4	第 III 章 立体映像の利用分野の概要	7
5	第 IV 章 立体映像のシステム化技術等の概要	9

# 第 I 章 序言

## 1 はじめに

人が見ているのは「3次元空間」である。しかし、現実の3次元空間を見ている「立体像を見ている」という意識はない。

人と機械との情報のやりとり（ヒューマン・インターフェイス）の中で、最も情報量が多いのはディスプレイを通してである。ディスプレイは液晶ディスプレイをトリガーとして、この数年で大きく技術開発が進み、大画面・高精細、多色カラー表示のディスプレイが、いわゆるフラット・パネル・ディスプレイ（Flat Panel Display）として続々と開発・販売されている。このように「高臨場感」ディスプレイが実現されると、それだけで「奥行き感」あるいは「立体感」を感じる。

話は変わるが、大越孝敬先生（元東京大学教授、その後産業技術総合研究所初代所長；参考文献で挙げてある「三次元画像工学」の著者；故人）は、1985年頃までは、「立体映像表示技術」の研究を精力的にやっていたが、それ以降はとやめて、「光ファイバー通信」の研究にシフトした。1992年頃に、ある会合で大越先生と会う機会があり、前記のように研究をシフトした理由を伺ったことがあった。その時の大越先生の返事が、以下に述べるように、強く私の記憶に残っている。

” 立体映像技術を含む三次元映像技術の研究を10年位やってきたが、三次元映像が実用化されるためには、その信号の入力・生成能力、処理能力、通信能力、記録能力などのプラットフォームである技術インフラがあまりにも貧弱であることを痛切に感じた。まずそれらの技術について研究・開発を進めるべきと考え、「光ファイバー通信」に研究をシフトさせた。これらの技術インフラができた暁には、再度「三次元画像工学」の研究を手がけたい” という内容であった。

2005年の現在、これらのプラットフォーム技術は、その当時（1985年頃）に比べてはるかに進み、いわゆる“情報”の生成、処理、記録、伝送の能力は加速度的に向上しており、この流れは将来にわたって更に伸びていくことは明らかである。このように「三次元画像工学」は、実用化できるインフラ（技術）は整いつつある。

この調査では「三次元画像工学」のうちの「立体映像表示」にターゲットを絞り、その技術・利用分野について、現状を調査する。そして、これから10年後の産業として大きく育つための情報・データの提供をすることが、本調査の目的である。

立体画像・映像が“立体”ということなく自然に使われるようになって初めて、立体画

像・映像が本物になる。音の分野を見ても、現在では殆んどの音楽はステレオであり、わざわざ「この音楽コンテンツはステレオです」と言うことはない。またパッケージに”ステレオ”と書いてある CD などは見ない。即ち、ステレオが当たり前になっている。

音の立体化が、左右 2 チャンネルで実用化（最近の DVD に記録してある映画コンテンツでは、5.1 チャンネルもあるが）され、その効果がけっこうあるのに比べて、画像・映像の自然な立体映像化はそう容易ではない。その主な原因は、視力およびその信号の脳内での処理（いわゆる視覚）が非常に高度であり、実の 3 次元空間をみるのと非常に近い（立体）映像表示をしなければ、その表示の欠点が目立ってしまうことにある。即ち自然な立体像表示のための技術は技術インフラが整っただけでは、実用化されない、ということである。

広く実用化されないもう一つの理由は、3 次元空間を認識するための手がかり (cue) は、一つではなく、第 II 章の 1.2 で述べているように多くあることである。その手がかりの一つとして「立体像表示」がある、ということである。即ち、立体映像表示が大変（技術的および経済的に）ならば、大部分の表示では、「立体像表示」は使われず、ということになってしまう。

このような背景はあるが、普通の（平面）映像より、（自然に見える）立体映像が効果的であることは明らかであるから、映像も将来には音楽と同じように、「立体像表示があたりまえ」になることは間違いない。そのようになるためには、「立体像表示」に関連するハード技術およびコンテンツの入力・生成（技術）を更に進めることが不可欠である。まずは、必要な分野から少しずつ使われることが定着していく。

この調査報告書が、利用分野も含めて、これからの立体画像・映像の普及に役立てて頂ければ、この調査は意義があったことになる。

最後に、忙しい中、この報告書の作成に大変協力して頂いた、幹事・委員・関係者のみなさんにお礼を申し上げます。

（本田捷夫）

## 2 調査概要

### 2.1 委員会の開催状況

本調査は、平成 16 年 6 月 21 日付けで、社団法人日本機械工業連合会から社団法人日本オプトメカトロニクス協会が委託を受け実施したものである。

調査の実施にあたっては、協会内に「立体映像表示に関する調査研究委員会」（委員長・本田捷夫 千葉大学教授）を設置し調査を実施した。

本委員会の開催、検討状況は、次のとおりである。

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 第 1 回委員会                   | 平成 16 年 7 月 21 日（水）   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 委員紹介</li><li>・ 本委員会の趣旨、調査概要説明</li><li>・ 今後の予定等について</li></ul>  |
| 第 1 回幹事会                   | 平成 16 年 8 月 24 日（水）   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"><li>・ アンケート結果の報告について</li><li>・ 調査内容（報告書目次案）の大枠について</li><li>・ 第 2 回委員会の進め方について</li><li>・ 平成 17 年度委託調査について</li></ul>  |
| 第 1 回技術分科会及び<br>第 1 回応用分科会 | 平成 16 年 9 月 13 日（月）   |
|                            | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 講演「松下電工(株)における没入型ディスプレイへの取り組み」<br/>(松下電工(株) 澤田一哉 氏)</li><li>・ アンケート調査の結果報告等について</li><li>・ 報告書目次案について</li><li>・ 今後のスケジュールについて</li><li>・ 報告書の執筆担当者の割り当てについて</li></ul> |
| 第 2 回技術分科会                 | 平成 16 年 10 月 21 日（木）  |
|                            | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 東京農工大学 高木康博 工学部助教授研究室見学</li><li>・ 調査項目の確認について</li></ul>   |



- ・ 報告書の執筆担当者の割り当てについて
- ・ 今後のスケジュールについて

第 2 回応用分科会

平成 16 年 10 月 26 日（火）

- ・ 松下電工(株)汐留サイバードーム見学
- ・ 調査項目の確認について
- ・ 報告書の執筆担当者の割り当てについて
- ・ 今後のスケジュールについて

第 3 回技術分科会及び

平成 16 年 12 月 16 日（木）

第 3 回応用分科会

- ・ 講演「レンチキュラー板 3D ディスプレイの歴史と技術」  
（日本工業大学 山田千彦 氏）
- ・ 立体 Expo04 について
- ・ 報告書執筆・依頼の進捗状況報告
- ・ 今後のスケジュールについて

第 2 回委員会

平成 17 年 2 月 3 日（木）

- ・ 報告書（案）の概要説明及び審議

第 2 回幹事会

平成 17 年 2 月 25 日（金）

- ・ 報告書とりまとめ
- ・ これからのタイムスケジュール
- ・ 3 月 2 日の委員会の確認

第 3 回委員会

平成 17 年 3 月 2 日（水）

- ・ 報告書取りまとめ
- ・ 講演①「シーフォンで開発している 3D ディスプレイ」  
（(有)シーフォン社 社長 服部和彦 氏）
- ・ 講演②「立体映像の生体安全性に関する標準化動向」  
（独立行政法人 産業技術総合研究所 氏家弘裕 氏）

## 2.2 報告書の概要

本報告書では、

- ① 委員が持つ資料を活用して最新の情報を盛り込む。
- ② 将来の立体映像産業発展に役立つものにする。

ことを編集方針とした。

立体映像表示において何よりも重要なものは、立体映像を表示するためのハードウェア技術である。そこで本報告書ではまず、第Ⅱ章として立体映像表示技術を取り上げた。第Ⅱ章の内容は主として立体映像表示技術分科会において議論され、外部執筆者にもお願いして、最新技術を系統的に記述することに主眼を置いた。結果的に、既存の参考文献では触れられていない技術を、まとまった形で入手できる貴重な資料とすることができた。

第Ⅲ章では立体映像の利用分野を取り上げ、立体映像応用分科会が中心となってまとめた。立体映像表示がどのような場面で利用されているのか、個別の報告事例は数多くあるが、広範な分野における取り組み事例をまとめた報告はこれまでなかったと思われ、今後立体映像に携わる人々にとって貴重な資料となるものと確信する。

第Ⅳ章では、立体映像表示を産業として発展させるために不可欠である周辺技術に焦点を当て、分科会合同の形で、立体映像のシステム化技術等という表題にまとめた。第Ⅳ章には、立体映像表示を行うに当って避けて通ることのできない、生体安全性に関する話題を含めた。これまで、立体映像表示に係わるこのような周辺技術をまとめた例はなく、本報告書の有用性を際立たせるものとなった。

なお、本報告書に挿入されている図面の中で、原図面がカラーのものを白黒印刷としたため、多少見づらくなっているものがあることをご容赦願いたい。本報告書の電子版が(社)日本機械工業連合会 <http://www.jmf.or.jp>、及び(社)日本オプトメカトロニクス協会 <http://www.joem.or.jp>のホームページに掲載されており、自由にダウンロード可能となっているが、電子版では原図面のままカラーで掲載されているので、合わせてご利用いただけると幸いである。

(山内 真)

### 3 第Ⅱ章 立体映像表示技術の概要

第Ⅱ章では立体映像表示技術についてまとめてある。

すなわち、まず、立体映像表示とはどういうものかを、目的、必要性から論じているが、その中では歴史、価値、役割などについても触れている。

次に人間が立体感を感じずる各種の要因について、生理的・心理的要因、感度、メカニズムの点から簡単にまとめている。

また、この技術の問題点についても触れている。

次に立体映像の種類と観察形態について、眼鏡あり二眼式立体映像表示、眼鏡なし二眼式立体映像表示、多眼式立体映像表示、超多眼式立体映像表示、体積型立体映像表示、ホログラフィに分けて、それぞれの方式について解説し、各方式の比較を一覧表としてまとめている。

次に立体映像をその観察形態、すなわち、配置、目的・機能、観察形態と表示方式の対応からまとめている。

更に現在、開発が進んでいる立体映像の先端技術についてその現状を解説している。

すなわち、ホログラフィ関係では計算機合成ホログラムにおいて計算した干渉縞を描画するいわゆるフリンジ・プリンター、視差画像から立体像を合成するステレオグラムタイプについてまとめている。

また、ホログラムは干渉縞の強度分布を透過率、屈折率の変化として記録しているが、これを実時間で書き換え可能な空間光変調器に入力して立体動画を実現できる動画ホログラフィについても現状をまとめている。

更に眼鏡を必要とせず裸眼で立体像を観察できる立体モニターを各社が開発している色々の方式について解説している。

これは立体錯視現象を利用した方式、フィールドシーケンシャル液晶を用いて左右の像を切り替える方式、パララックスバリアー方式、目のトラッキングを行って観察者が動いても良好な立体像を得る方式、液晶を用いたパララックスバリアー方式、レンチキュラーレンズを用いる方式、及びバックライトをスキャンして左右画像を切り替える方式などで、いずれも 2D 像と 3D 像の切り替えが容易にできるように工夫しているものが多い。

次に日本で生まれた優れた立体映像表示技術である超多眼立体映像表示について説明している。

これは立体像の観察時における目の疲労を解決する方式として有望であると言う事と、これを実現する FLA 方式、FAPO 方式、変形二次元配置等のいくつかの方式について解説

をしている。

次に大型の立体ディスプレイの各方式についてまとめている。

すなわち、2分割、あるいは時分割の大型平面ディスプレイ、実写映像の大型映像システムとして将来的に有望なシステムとなっていて、現在、国内でも多くのシステムが導入されている CAVE 型ディスプレイ、CAVE 型スクリーンに比べて視点追従が正しくない位置から見ても歪みの違和感が少ない方式である球面ディスプレイについて解説している。

最後にこれまで触れた各方式に分類できない方式について触れている。

すなわち、いずれも偏光眼鏡を用いるが、2台のプロジェクターを用いる方式、時分割方式、マイクロボールを用いる方式などの偏光眼鏡方式、3次元画像自体を空間でサンプリングする方式で、バリフォーカルミラー、回転スクリーン方式、液晶スクリーン方式などを用いる体積方式、全周表示が可能な全周表示方式、実際には立体像表示ではないがレンズ系を用いて、空間に像を結像する空中像方式などを解説している。

(岩田藤郎)

#### 4 第Ⅲ章 立体映像の利用分野の概要

第Ⅲ章では産業分野毎に、立体映像の利用に関する事例調査に基づき、各分野での立体映像利用の特徴、要求仕様等を明らかにした。また、立体映像表示を用いるメリットと問題点を明らかにすると共に、今後の普及度合いを推定して大胆な市場規模予測を試みた。

製造分野では、企画設計、生産準備、生産、メンテナンスの4段階に分けて立体映像表示の利用例を調査した。その結果製造分野では、3次元計算機援用設計(3DCAD)における設計イメージ表示装置としての立体映像の利用を中心として、広範な取り組みが行われており、早く、安く、高品質な製品を製造することに役立てられていることが分かった。製造分野では、3DCADに付随する立体映像表示装置に関しては一定程度普及しており、今後共かなりの市場が見込める一方で、生産準備以降の段階では立体映像を利用する取り組みが始まったばかりであり、現段階でその将来性を推測するのは困難であった。

ロボット分野では、大きく産業分野のロボット応用と、対人サービス・人間共存ロボット応用の2つに分けて、立体映像表示の利用例を調査した。その結果ロボット分野では、遠隔操作装置の表示系としての立体映像応用事例が多く、実写立体映像を表示すること、リアルタイムフィードバックへの要求が大きいこと、また移動操作においては特に足元の広視野が重要であることが分かった。ロボット分野では、今後パーソナルロボットの普及に伴い、小型立体ディスプレイという新しい市場の創出が期待される。

医療分野では、診断、治療、教育・研究の3つの場面において立体映像表示が利用されており、個別事例について調査を行った。その結果医療分野では、画像診断等古くから試行され、その有効性が確認されているにも係わらず広範には普及していないものと、内視鏡手術ロボット付随装置のように、比較的最近開発された技術であり今後大きな発展が期待されるものが混在していることが分かった。また、正確な色再現と高解像度が望まれるといった特徴や、医療行為の報酬と責任の問題等、医療分野特有の問題点が多いことが明らかになった。医療分野では、立体映像表示を教育、訓練用に用いる取組が盛んであり、手術用のものと合わせて今後も確実に立体映像表示の利用が進むものと期待される。

土木・建築系シミュレーション分野では、住宅設計、屋外景観デザイン、安全性シミュレーションの3タイプについて立体映像表示の利用状況を調査した。その結果土木・建築系シミュレーション分野では、スクリーン投影による実寸大、等身大の立体表示システムが多く利用されており、また表示物体の形状を認識するためだけではなく、その使い勝手を確認したり、日照、音、気流等の外部環境を体感したり、表示空間内を自由に移動したりといったことを実現するため、インタラクティブ性を有し臨場感の高いバーチャルリアリティシステムを活用する事例が多いことが分かった。3DCADを用いた設計物を立体表示するという意味で、この分野は製造分野との類似点がある。土木・建築系シミュレーション分野における3DCAD自体の市場規模は製造分野に比較して小さいが、個別のシステムは大型となるため、一定規模の立体映像市場を形成するものと考えられる。

印刷・出版分野は、最も古くから立体映像の産業化に成功しており、現在既に相当額の売り上げがある。そのためこの分野では、比較的新しく、製品化されている技術を中心に調査を行った。その結果印刷・出版分野では、立体映像を楽しむための製品群と、セキュリティ用途の製品群があることが分かった。立体映像を楽しむための製品群の歴史は古く、多少の波はあるにせよ、今後も持続的な市場が見込まれる。一方セキュリティ用途は、2004年から我が国の紙幣にも取り込まれる等、今後飛躍的な市場の成長が期待される。

最後にその他の分野における立体映像の利用として、娯楽分野、教育分野、文化・芸術分野、健康・福祉分野の4つについて調査を行った。娯楽分野においては、距離感や位置関係を分かりやすく表示できるという立体映像の持つ機能を利用するため、シューティングゲームの事例が数多く見受けられた。教育分野では、初等教育における立体映像利用の取り組みは実験的段階であり、また高等教育では医学教育における事例が中心であることが分かった。文化・芸術分野では、文化遺産等のデジタルアーカイブ、民族芸能の保存、音楽コンサートのライブ配信等の事例があるが、比較的少数の取り組みであった。健康・福祉分野では、病院や介護施設に加えて、職場や家庭など身近な場面で立体映像が利用さ

れていることが分かった。娯楽を除くその他の分野における立体映像の利用は概ね活発な取り組み状況にはなく、今後の発展には、立体映像を用いることによって生じる効果を実証するためのデータの蓄積が必要である。

(山内 真)

## 5 第IV章 立体映像のシステム化技術等の概要

立体映像の普及には優れた三次元ディスプレイの開発が重要であることは言うまでもないが、それを取り巻くインフラ技術の開発も重要であるとの観点から、第IV章では立体映像の入力、処理、保存、伝送技術などのシステム化技術について調査した。また、新しい技術の幅広い普及のためには欠かせない標準化、人間に与える影響に関する安全性とガイドラインについて調査した。さらに、海外の動向についても調査した。

三次元ディスプレイに実在の三次元物体を表示するために必要な立体映像入力機器について調査した。その結果、二眼式立体ディスプレイ用には、ステレオカメラや既存のカメラに取り付けて用いるステレオアダプターなどが既に製品化されていて、多眼式三次元ディスプレイの今後の普及に合わせて多眼式カメラの開発も進められていることがわかった。ホログラフィー方式としては、CCDなどの撮像素子を用いた電氣的な撮影方法が開発されているが、現状では動画への対応や表示方式などの点に問題があることがわかった。

立体映像の情報量は、従来の二次元映像に比較して大幅に増加することが予想されるが、情報量について理論的考察を行い、その削減法についてまとめた。例として100 mm×100 mm×100 mmのサイズの三次元物体を取り上げて、それ自体がもつ情報量を約30 MBとする。三次元表示方式としてホログラム方式を用いる場合の情報量は約28 GBとなり、視差方式を用いる場合は約561 MBとなる。垂直視差を捨てると、ホログラム方式では約85 MB、視差方式では約22 MBまで情報量を削減でき、有効な情報削減が可能であることが判明した。

三次元映像生成・処理技術としては、三次元CGによる映像生成技術、2D→3D変換技術、圧縮技術について調査した。三次元CGに関しては、基本ソフトウェア、ハードウェア、アプリケーションソフトの現状について調査した。つぎに、三次元映像コンテンツの早期充実のために必要な二次元映像から三次元映像を作り出す2D→3D変換技術について調査した。既に複数の製品や変換サービスが存在するが、静止画に関しては半自動的な変換が実現できているのに対して、動画像に関しては現状ではオペレータの介在が必要でありリアルタイム変換は難しいことがわかった。立体映像の圧縮方式としては、MPEG-2

マルチビュープロファイルが既に標準化されており、他にデプス・マップを用いた方式の研究開発が進められていることが示された。

立体映像情報の保存・伝送では、将来性が最も高いと思われるレンチキュラ方式の多視点立体ディスプレイを想定して、要求されるスペックと実現の可能性について検討した。その結果、現行標準 DVD 画質で視点数が 9 点であれば、ハイビジョン録画に対応した最新の光ディスク製品を用いて、MPEG-2 画質で 3 時間、他の圧縮技術の併用で 8 時間程度の録画再生が可能であるとの見積もりが得られた。また、伝送路として、BS デジタルハイビジョン放送、地上デジタル放送、ADSL、光ファイバー、ケーブルテレビ回線を用いた場合に実現できる視点数についても明らかにした。

立体映像の安全性に関しては、立体映像観察時に感じる視覚疲労は輻輳と調節の矛盾が主要因であることを明らかにし、これらに関する視覚分野での研究例を紹介した。立体映像に関するガイドラインとしては、国内では JEITA によってまとめられたガイドラインが有名であり、最新のものとしては 3D コンソーシアムで策定されたガイドラインが存在することがわかった。国際的なガイドラインとしては、ISO の映像の安全性に関する標準化作業が現在進んでいる。これは、立体映像に起因する眼精疲労、映像酔い、光過敏性発作を中心とした総合的な評価方法を扱うものである。

立体映像の標準化に関しては、従来の三次元機器で用いられる記録フォーマットと標準化の動向について調べた。記録フォーマットとしては、IMAX 方式に代表されるフィルム方式と、インターレース方式に代表されるビデオ方式に分類し、それぞれで用いられているフォーマットについてまとめた。また、符号化方式として、ステレオ映像に対して既に標準化が行われている MPEG-2 の方式、自由視点映像に対して策定が進められている MPEG-4 の動向について調査した。立体映像の標準化に関しては、まだまだ不備な状態である。映像の符号化は機器間の互換性を確保する上で重要であるが、映像機器のインターフェイス規格などのハードウェアの標準化も今後の課題である。

(高木康博)

## 第Ⅱ章 立体映像表示技術

1	立体映像表示とは -----	11
2	立体映像の種類と観察形態 -----	18
3	立体映像表示の先端技術 -----	27



## 第Ⅱ章 立体映像表示技術

### 1 立体映像表示とは

#### 1.1 立体映像表示の目的と必要性

##### 1.1.1 立体映像表示の歴史 <sup>1),2)</sup>

何故モノが立体的に見えるかといった問題は、古代より関心があったと考えられ、紀元前 280 年にはユークリッドが両眼で見る時の左右の画像が視点の違いにより異なること、それらを同時に見ることによって立体感が得られることを認識していた。一方で二次元画像による立体表現として、絵画の長い歴史の中で陰影表現、遠近法などが発展し、1500 年頃のレオナルド・ダ・ヴィンチの時代にはパースペクティブという絵画技法が完成された。1600 年頃には手書きの両眼視差画像による立体視が試みられ、1800 年代に入って写真の発明とともに、両眼視差を用いた各種立体写真の発明時代を迎えた。1900 年代に入ると眼鏡を使わないパララックスバリア方式、レンチキュラ方式などが開発された。さらに 1948 年にはガボールによってホログラフィーの原理が発見され、1960 年のレーザの発明等によって立体光波面再生を用いる各種ホログラフィー方式が開発されてきた。近年になると、画像の電子化、画像の取り込みおよび表示デバイスの革新、情報技術の飛躍的進歩等が相まって、今までの立体画像表示原理がより実用的なものとして具現化されることとなった。更に最近では、脳内活動の計測技術の発展とともに急速な進展を見せている脳科学により、映像が視覚系で捉えられ立体として認識される仕組みが解明されつつあり、立体映像表示技術は単なる画像情報の忠実な再現だけではなく、人間に役に立つ情報を有効に、かつストレス無くインプットする手段として研究・開発される段階に入ったと考える。

##### 1.1.2 立体映像の価値と目的

###### (1) 情報の中味・構造について

立体映像表示の基本は立体空間の物理的「物」または（および）「光」の場を規定し、情報として記述し、光の物理量として表現することであり、人間の視覚に捉えられて情報表示としての意味を成す。立体情報は二次元画像に対して 1 つ次元が加わったことになるが、奥行き方向の全ての情報は扱っていない場合が多く、情報量として厳密には 1 未満（例え

ば 0.3、または 0.5) の次元の増加として扱う方が適切なケースも多い。また立体情報は位置関係、立体形状、表面特性、観察系(視点、照明系など)との相互作用性などと分類して捉える事が出来る。

## (2) 情報の活用について

従来からの活用の目的は、「見る・鑑賞する」および「観察・計測する」であり、今日でも主流である。しかし今後の焦点は、デジタル情報空間と人間とのインターフェイスとして「相互の入出力機能を果たす」「臨場感、感性、記憶、想像力等を想起させる」という観点の活用展開に移っていくものと考えられる。

## (3) 二次元画像との本質的違い、立体動画の考え方

立体映像は情報量が一次元加わった二次元画像の延長線上と考えられるが、同時に現実の世界を記述することに飛躍的に近づいたとも捉えられる。この点が今後、二次元画像に無かった立体映像表示技術に固有の新たな潜在価値の創造に繋がるポイントでもある。また、情報量の増加は計算・表示装置等に対して飛躍的に高い機能・性能を要求することになるが、観察する人に負荷を増やす訳では無い。逆に現実人間が行っている行動（すなわち立体空間の全体または一部を見ながら、その中の意識に応じて注目点を選択し、そこから必要な情報を抽出し、認識している）という機能を再現できるため、本質的に人に優しい技術となりうる点も重要である。

立体映像の動画は、映画のように連続して変化する映像を見る場合、バーチャルリアリティのように静止状または動画状の立体映像を見る側の視点またはアクションに応じて変化させながら表示を変えていく場合とに分けて考えられる。いずれも、立体映像を時系列に並べたものと捉えられるが、静止画像では得られなかった立体感および情報獲得を生み出す。特に人間のアクションに応じて映像を変化させて表示することは観察者がその場で望む立体情報および立体感が獲得出来るため、今後更に大きな発展が期待される。ただしこの効果については、二次元画像表示でも発揮出来る機能であることに注意を要する。

### 1.1.3 今後の立体映像技術の役割と必要性

#### (1) 現状

「人間は日常三次元で物を見ているので、三次元ディスプレイは必要である」という一般論的な考え方が有るが、一方で「人工的に造られた立体映像と日常生活で見ている立体

とではかなり違和感がある」という現実もある。また、色々な立体映像表示技術が考案され具体化されているが、ビジネス的に成功している例は稀である。厳密に現実と同じ情報を再現させる立体映像表示は、現在の技術では実現していないし、将来技術が開発されたとしても、コストの面で実用的ではないだろう。一方で人間の視覚にとってほぼ満足できる機能・性能の立体表示技術を追求し実現出来たとして、用途が飛躍的に拡大するのか、といった疑問も払拭出来ていない。

後述のように立体視には色々な要因があり、それぞれの要因を作り出す技術が対応している。利用目的の絞込み、立体視要因の選択、技術の選択と経済性の実現により、あるレベルでの実現で落とし所を狙うことがビジネス上のポイントと考える。

## (2) 中期展望

今後はユビキタス時代（いつでもどこでも情報を自由にアクセス・操作出来る、例えばバーチャル世界の実現）、および脳の時代と言われ、人間とデジタル空間とのマンマシンインターフェイスとしての機能が重要な時代がやってくる。立体映像表示は人間に対して多くの情報を伝える手段であると同時に、仮想キーボードの表示など、デジタル装置への入力手段（または入力支援手段）としても重要な位置を占めることになる。

立体表示技術は、光学を中心としたコア技術に、入力装置、計算装置、光制御デバイスといった周辺装置を加えたシステム技術であり、今までは計算能力の不足、入力装置の機能の限界、理想的光変調デバイスの実現への壁、等が課題となっていた。しかし、情報インフラおよび情報処理技術は今後も大きく進歩し、今後はユビキタス時代が更に先を行き、それに応じて立体映像表示技術が必要とされる時代が迫ってきていると思われる。

## (3) 短期的課題

今までは原理の研究およびシーズ開発が先行し、ニーズの探索が課題と捕らえられていた。しかし現在では以下のように立体映像表示技術が必要とされる具体的事例が発生しており、既に立体表示技術開発は追いかける立場にもなっている。

- エンターテインメントの拡大（物の時代から機能・サービスの時代へ）
- カーエレクトロニクスの IT 化（安全および情報技術の革新）
- 人型ロボットの実現（より人間的な機能に応じたリモート操作性と情報獲得性）
- セキュリティの監視における情報収集（より正確で詳細な情報の獲得）

立体映像表示技術の開発ターゲットを明確にし、技術を選択し、戦略を持って開発に取り組んでいくことが、今必要である。

## 1.2 立体感を引き起こす要因<sup>1),2)</sup>

### 1.2.1 生理的・心理的要因

古くから基本的な要因が抽出・研究され、現在では生理的要因と心理的要因として一般的には 10 種類に整理されている。生理的要因は以下の 4 種類である。

#### (1) 調節

対象物の視距離に応じて目の焦点を合わせるために、目のレンズである水晶体の変形を毛様体筋の調節で行う。この調節量の大小が立体感を生み、これは単眼視の場合でも有効な要因である。

#### (2) 輻輳

両眼で対象物を見るとき、視距離によって両目が見込む角度が異なる。近いほど両眼が内側を向くように眼球を回転させる筋肉が働き、これが立体感を生む。

#### (3) 両眼視差

両眼で立体対象物を見る場合、左右の目は対象物を違う角度から見るため、異なった形状の画像として捉える。距離が近く角度の差が大きいほど各網膜上の像に大きな形状等の違いを生じるため、これによって対象物の距離感および立体感が得られる。

#### (4) 単眼運動視差

片目で見える場合では両眼視差が得られないが、視点が運動することによって立体対象物の網膜上の形状等は変化する。その運動の方向と形状などの変化が対応つけられる時に距離感および立体感が得られ、特に運動が早い場合にその効果は大きい。

以上の 4 分類が人間の生理的作用によって立体感を生むものであるのに対し、網膜に映った映像から人間の学習・記憶などによって立体感を得る効果も大きい。この網膜像から得られる要因（または心理的要因）として以下の 6 分類が挙げられる。

#### (5) 網膜上の像の大きさ

我々はほとんどの対象物が何で有るかを認識することが出来、それに応じて大きさをあ

る程度予想できる。その時に網膜に映った像の大きさを対応付けることで、対象物までの距離を知ることが出来る。

#### (6) リニア・パースペクティブ

例えば、目の前に道が奥行き方向に伸びていてその両側に建物が連なっている場合、遠くになるに従って道路の幅は狭くなり、建物の大きさは小さく見える。この遠近画法的な効果で奥行きを感じ、この効果をリニア・パースペクティブと呼ぶ。

#### (7) エアリアル・パースペクティブ

例えば同じ山を同じ位置から見た場合、快晴でくっきり見える場合は近くに感じ、どんより曇って輪郭や色の鮮やかさなどがぼんやり見える場合は遠くに感じる。これは同じ条件で遠くや近くの物を見たときに、近くの物ほどくっきり見えるという効果を認識しているため、これをエアリアル・パースペクティブと呼ぶ。

#### (8) 重なり合い

物体が前後に一部重なってある場合、遠い物体の輪郭は近い物体にさえぎられて部分的に見えなくなる。遠い物体の輪郭の予想が出来、それがさえぎられて連続していないと判断される時に、近い物体との前後関係が認識される。

#### (9) 陰影

立体物は、光の当り方で陰（物体の暗い部分）を生じる。例えば円盤と球では陰の出来方が異なることを人は認識しているため、それぞれで違った立体感を得る。また影（光が立体物にさえぎられ、他の物体上に映される部分）によっても同様に、さえぎる立体物、または映される物体の立体感を得る事が出来る。

#### (10) 地肌模様の勾配

一般に地肌模様と呼ばれるパターンが見える場合で、その粗さが勾配を持っているとき、それに応じた遠近感を得る。たとえば地面の敷石や空のうろこ雲などの場合で、そのパターンが細かくなっていく方向に奥行きが有ることを認識しているためである。

### 1.2.2 視距離に対する立体視要因の感度

立体感を引き起こす各要因ではその効果が得られる視距離の範囲とその大きさが異なる。近い距離（概ね 1m 以内）では調節および輻輳の効果が認められ、一方両眼視差の効果は近い距離（1m 未満）から中間距離（100m 程度）までの広い範囲で有効である。それより遠い距離では生理的效果が得られず、主に網膜に映った映像から人間の学習・記憶などによって得られる距離感が支配的となる。

立体映像表示技術を開発する立場からすれば、目的に応じた視距離範囲を明確にし、それに応じて立体感を引き起こす要因を選び、特に複数の要因の相互作用も充分理解した上で方式・スペックなどを決めていくことが重要である。

### 1.2.3 立体視のメカニズム

人間がどのように立体感を認識するかについては色々な研究がなされてきた。1960 年頃に Julesz は両眼視差による立体認識について「①：左右の視差画像⇒それぞれのパターン認識⇒併せて立体感を生む」「②：左右の視差画像⇒両眼視差画像⇒パターン認識」「③：①と②の両者の複合」という仮説を立て、実験検討により③が最も妥当であるとの結論を導いた。

現在では脳機能の計測技術・脳科学の研究の進歩により、脳の機能として視覚から認識までのメカニズムが解明されてきている。両眼に入った光は網膜上に結像され、視神経を通過して二次元情報が一次視覚野に入り、その後各情報（色、奥行き、形状、動き等）が抽出されながら高次視覚野に入る。さらにその情報を抽出・再構成して対象物の認識、および形状・距離などの立体情報の認識がなされる。また視覚情報が一次視覚野をバイパスして、高次の領域に伝わることも分かっている。従って、今後の立体視のメカニズム解明は脳の機能の解明を中心に進展し、それに伴って立体映像表示技術は単なる映像再現のみならず、その他要因（心理的要因、その他 5 感情報）も含めたシステム技術へと展開されることが期待できる。

## 1.3 立体映像表示の技術関連の課題

前述のように今日の立体映像表示技術では、現実を忠実に再現するものは出来ていない。当面は極限を追求するよりも、立体視を引き起こす要因の目的に応じた抽出とそれを実現

する方式・技術の選択で、実用的で経済的な装置を開発し商品化することがビジネス化および産業の発展に繋がると考える。

人間には立体認識に対する高いフレキシビリティ（適応性および学習効果）が有り、立体表示で立体視を引き起こす要因が一部欠けていたり（例えば両眼視差が有って調節が一定の場合）、または整合がとれていない場合（例えば輻輳と調節の不一致）でも、学習効果によって立体として認識することが出来るようになる。これは大きなメリットである一方で、人間の脳に相応の負担をかけるというデメリットも生む。その負担が意識されない場合もあるが、意識される場合とともに、人間の視覚機能、脳の活動、精神等に問題を生じさせかねない。さらに色々な方式の立体映像表示装置が周囲に混在する時、人間はそれぞれ個別の適応および学習を余儀なくされる。また同じ方式でも、機種や装置の個体差によって特性が異なる場合（例えば両眼視差の方式で左右の映像の収差などが異なる、等）、人間は立体視で微妙な調整を強いられることになり、やはり視覚および脳に負担をかける。立体映像表示を普及させるためには、情報や技術の互換性を確保するための仕組みや枠組みが必要であるが、同時に人間の視覚および脳に与える影響について研究・検討をすすめ、支障をきたさないための基準の設定、負担が低減されるための方式の標準化や立体映像品質の定量化、および規格化が今後必須の課題となる。

（土居篤博）

#### 参考文献

- 1) 三次元画像工学 大越著 朝倉書店
- 2) 3次元画像と人間の科学 原島監修 元木、矢野共編 オーム社

## 2 立体映像の種類と観察形態

### 2.1 立体映像表示方式の種類

表示原理の違いから、立体映像表示装置を下記のように分類することができる<sup>1)~3)</sup>。

#### 2.1.1 眼鏡あり二眼式立体映像表示

眼鏡を用いて、右眼用と左眼用の画像を分離して表示する立体表示方式である。画像の分離に、波長、偏光、時間といった物理特性を用いる。色（波長）フィルターを用いるのがアナグリフ方式で、偏光板（ポラロイド）を用いるのが偏光眼鏡方式で、液晶シャッターを用いるのが時分割（液晶シャッター）方式である。立体眼鏡の例を図 2.1-1 に示す。

アナグリフは 19 世紀から用いられてきた古い技術であるが、安価であるため、立体映画などではいまだに主流な技術である。近年の色フィルターの性能向上や印刷・フィルムでの色再現性の進歩も見逃せない。最近では、コンピューターによる計算を駆使して、一昔前のアナグリフとは比べものにならない立体映像が実現されている。



図 2.1-1 立体眼鏡（左からアナグリフ用メガネ、偏光メガネ、時分割式用メガネ）

他の眼鏡あり方式としては、ヘッドマウントディスプレイ（Head Mount Display : HMD）がある。これは、左右の画像を表示する小型ディスプレイを内蔵したゴーグルを頭部に装着するものである。通常は、視野全体を覆い仮想世界を表現するバーチャルリアリティに用いられる。最近では、ミックスドリアリティ、あるいはオーギュメントドリアリティといって、現実世界に仮想映像を重ねて見せる技術が開発されているが、この場合はシースルー型のゴーグルが用いられる。



## 2.1.2 眼鏡なし二眼式立体映像表示

一般の人々にとっては、眼鏡なしで立体映像が見えることが好ましい。この場合、左右の目の直前に画像分離手段を置けないので、左右の眼を置く観察位置を空間的に分離する。

パララックスバリア方式は、スリットアレイであるパララックスバリアを二次元ディスプレイに組み合わせる方式である。図 2.1-2 に示すように、二次元ディスプレイのピクセルピッチに対応してスリット間隔を適切に選ぶことで、二次元ディスプレイの奇数列のピクセルと偶数列のピクセルを通過する光線を、特定の観察距離で空間的に分離することができる。レンチキュラー方式は、シリンダリカルレンズアレイであるレンチキュラーシートと二次元ディスプレイを組み合わせる方式である。シリンダリカルレンズのレンズ効果を用いることで、図 2.1-3 に示すように、パララックスバリア方式と同様に、二次元ディスプレイの奇数列と偶数列のピクセルを通過する光線を、空間的に分離することができる。

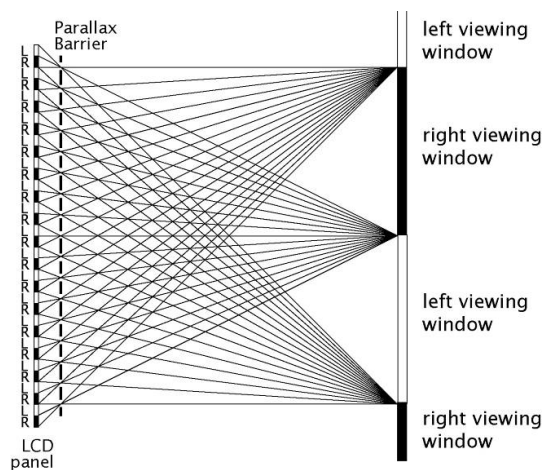


図 2.1-2 パララックスバリア方式

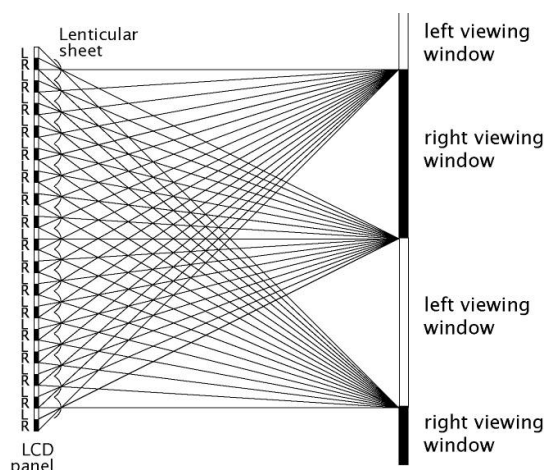


図 2.1-3 レンチキュラー方式

以上のパララックスバリア方式やレンチキュラー方式では、予め決められた距離から三次元像を観察する必要がある、左右の画像が繰り返し現れるため左右逆の画像が見える逆立体視領域が存在する、三次元表示では水平解像度が半分になるといった問題点がある。

最近では、これらの問題点を部分的に解決した方法が提案されている。シャープの 2D/3D スイッチ液晶では、2D モードをもち、このモードでは水平解像度の低下はない。NTT の DFD 方式は、眼の錯覚現象を用いていて眼精疲労がないといわれている。三菱電機のスキャンバックライト方式は、右眼用と左眼用の LED を備えたバックライトを用いるもので、繰り返しの逆立体視が生じない。後者 2 方式は、三次元表示時の水平解像度の低下はない。

特に、上記のシャープの 2D/3D スイッチ液晶は、携帯電話やノートパソコンに搭載さ

れ、大量生産された最初の立体ディスプレイである。

### 2.1.3 多眼式立体映像表示

右眼用と左眼用の2つの視点位置だけではなく、多数の視点位置を空間に作り出すのが多眼式三次元表示方式である。

古くは、図 2.1-4 に示すようなプロジェクターアレイと再帰性反射スクリーン（一方向指向性スクリーン）の組み合わせが用いられた。最近では、液晶ディスプレイを代表とする平面ディスプレイの解像度の向上もあり、図 2.1-2 や図 2.1-3 に示したパララックスバリア方式やレンチキュラー方式を拡張した多眼式三次元表示が用いられるようになってきた。例えば、図 2.1-5 に示すように、レンチキュラー方式で、ひとつのレンズに複数の画素を対応させて、複数の視点位置を作り出す。

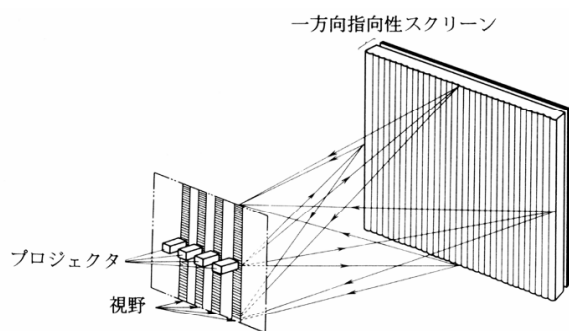


図 2.1-4 プロジェクション型多眼立体表示

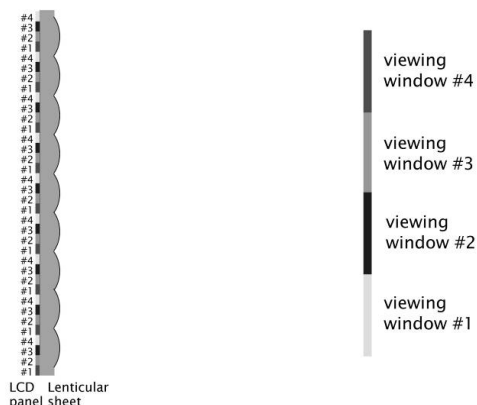


図 2.1-5 薄型多眼立体表示

図 2.1-5 示した方式では、視点数を増やすと水平方向の解像度が極端に低下する。そこで、パララックスバリアを斜めにして用いる方法が提案されている。このように斜め方向のパララックスバリアを用いることで、解像度の低下を水平方向のみでなく垂直方向にも割り振ることができ、三次元表示における水平・垂直の解像度のバランスを良くできる。

### 2.1.4 超多眼式立体映像表示

以上の立体表示方式の考え方は、右眼と左眼に異なる映像を表示すれば、人間は立体感を得ることができるというものである。しかし、この場合は、人間の立体視の基本機能である調節と輻輳の間に矛盾が生じる。具体的には、脳がディスプレイのスクリーンと異なる位置に立体を知覚しているのに対して、眼はスクリーン上にピント合わせ（調節）をし

ようとする。この矛盾が、立体映像観察時の眼精疲労の原因であると言われている。

このような眼精疲労のない自然な三次元表示に関する本格的な研究は、今から約 10 年前にわが国で始まった。通信放送機構 (TAO) の高度立体映像プロジェクトにおいて、「超多眼」という考え方が生まれた<sup>4)</sup>。これは、多眼立体表示において、表示する視差画像数を多くしていくと、空間に並ぶ視点の間隔が小さくなっていく。瞳に二つ以上の視差画像が同時に入射するようになると、眼は三次元像にピント合せが可能なり、調節が機能するというものである。具体的なシステムとして、TAO では FLA (Focused Light Array) 方式や FAPO (Fan-like Array of Projection Optics) 方式と呼ばれるシステムが提案された。最近では、東京農工大学から変形二次元配置を用いた構成方法も提案されている。

### 2.1.5 体積型立体映像表示

二眼式立体表示や多眼式三次元表示では視点位置をサンプリングするのに対して、三次元像自体を空間的にサンプリングするのが体積方式である。空間内でスクリーンを移動させながら、画像をつぎつぎに表示していく。初期に提案された有名な方式が、バリフォーカルミラー方式である。これは、スピーカー振動面を鏡面にした可変焦点距離をもつ凹面鏡により結像面を前後に移動する方式である。

体積方式では、高速移動するスクリーンと高フレームレートの表示装置が必要である。最近では、後者に関しては DLP (Digital Light Processing) 方式のプロジェクターが利用できるようになってきた。前者に関しては、回転スクリーンを用いる装置が米国 Actuality system 社より、奥行き方向に並べた多数の液晶スクリーンを用いる装置が米国 Lightspeed technology 社より商品化されている。

### 2.1.6 ホログラフィ

ホログラムは、物体から発せられる波面を干渉縞に変換して記録・再生する技術である。波面そのものを再生するため、理想的な三次元表示技術であると言われている。しかし、記録する干渉縞の間隔が 1 ミクロン以下と非常に小さいことが最大の問題点である。視差を水平方向に限定して干渉縞の高密度化を水平方向に限定する方法が提案されている。

干渉計、電子ビーム描画装置、レーザー描画装置を用いてフィルムに干渉縞を記録する方法があるが、この場合は静止画になるため、ディスプレイ技術ではなく写真技術である。

液晶パネルに干渉縞を表示する試みもあるが、数万 dpi の解像度を有する液晶パネルの

開発が必要である。このような高精細な干渉パターンを音響光学素子と機械的走査を組み合わせることで表示するアイデアが MIT から提案されている。現状のデバイス技術でも実現可能な方式で、実際に試作システムが試作されていて、動画も実現されている。

### 2.1.7 各方式の比較

以上の各方式を、幾つかの観点から比較すると表 2.1-1 のようになる。

表 2.1-1

	眼鏡あり 二眼式	眼鏡なし 二眼式	多眼式	超多眼式	体積型	ホログラフ ィ方式
調節輻輳矛盾	×	×	×	○	○	○
運動視差	×	×	○	○	△	○
質感表現	○	○	○	○	×	△
デバイス	○	○	○	○	○	×
大画面化	○	○	○	○	△	×
カラー化	○	○	○	○	○	△
動画化	○	○	○	△	△	△
コスト	○	○	△	△	△	×

(高木康博)

#### 参考文献

- 1) 三次元画像工学 大越孝敬著 朝倉書店
- 2) 3次元画像と人間の科学 原島博監修 オーム社
- 3) 3次元映像の基礎 泉武博監修 オーム社
- 4) 高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト最終報告書、平成 14 年 9 月、通信・放送機構

## 2.2 立体映像の観察形態

立体映像は、観察者の位置（視点）によって、像の見え方が異なるという特徴がある。そこで本項では、立体映像表示装置と観察者との位置関係から立体映像を分類する。またそのような位置関係と、立体映像を見る目的・機能との関連について考察する。最後に、前項で述べた立体映像の種類との関係について述べる。

### 2.2.1 配置から見た観察形態

- (1) 対向型観察形態

### (1-1) スクリーン投影形態

大きな平面あるいは曲面のスクリーンに投影した立体映像を、スクリーンに対向した観察者が観察する形態（図 2.2-1）。多人数が同時に立体映像を観察することができる、原寸大の立体映像を表示できるという特徴があり、立体映画等のアミューズメント分野、及び車のデザイン、街の景観シミュレーション等の設計分野で用いられている。将来的には、会議等のプレゼンテーション用にも使用されるようになるであろう。

### (1-2) 表示媒体対向形態

表示媒体の前に観察者がいて、媒体にほぼ垂直な方向から立体映像を観察する最も自然な立体映像観察形態（図 2.2-2）。表示媒体はほとんどの場合平面であり、視域の広さによって、一人から数人が同時観察可能である。



図 2.2-1 スクリーン投影形態

（日商エレクトロニクス(株)のご好意による）



図 2.2-2 表示媒体対向形態

ホログラム作品の鑑賞

この形態では近年、液晶ディスプレイ等の既存の平面ディスプレイを改良し、立体動画像を表示できるようにした製品の開発が活発である。現在は機械設計分野や医療分野等で利用されており、将来的には家庭用の立体テレビとして一般に普及するであろう。

## (2) 包囲型観察形態

### (2-1) 没入形態

観察者が表示装置の中央に位置し、表示部が観察者の視野を覆っており、周りを見渡して立体映像を観察する形態（図 2.2-3）。表示部は、複数平面、球面、円筒面等のものがある。

る。最適視点以外からの観察では像が歪むため、基本的には一人観察用である。立体映像  
が観察者の視野を覆うと、あたかも現実にその映像の中に入ったような非常に高い臨場感  
が得られる特徴がある。マスタースレーブ型ロボットの操作に使用される他、将来的には  
訓練用、アミューズメント用等の疑似体験用途に多用されるであろう。

## (2-2) 覗きこみ形態

観察者が表示機器を取り囲み、360° 全周囲から観察する形態（図 2.2-4）。自然で滑ら  
かな運動視差を得ることが可能で、表示物体をあらゆる方向から観察したい場合に適する。  
円筒面等の表面に表示する方法と、内部に光を拡散する物体があり、そこに立体像を投影  
する方法がある。多人数が同時に観察する場合には、表示機器を挟んだ向かい側の観察者  
は、表示物体の裏側を観察することになる。

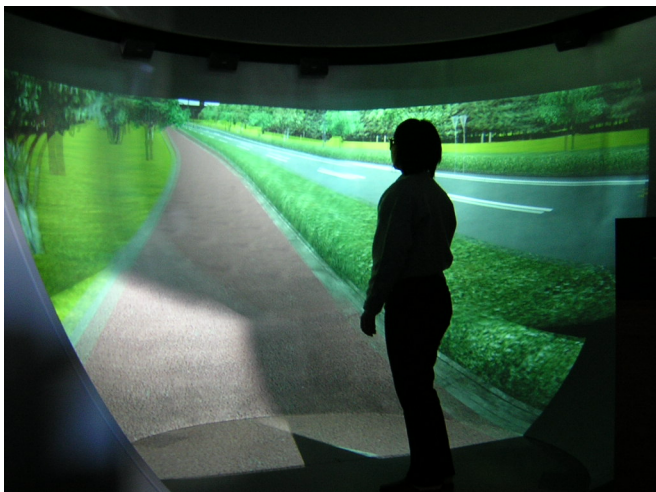


図 2.2-3 没入形態

CAVE システム（産業技術総合研究所  
情報技術研究部門永見氏のご好意による）



図 2.2-4 覗きこみ形態

円筒型立体表示システム Seelinde  
（東京大学工学部館研究室のご好意による）

## (3) 可搬型観察形態

### (3-1) モバイル形態

携帯電話、個人用携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistance）、カーナビゲーシ  
ョン等、表示機器が観察者と共に移動し、好きな時、好きな場所で必要に応じて立体映像  
を観察する形態（図 2.2-5）。一人観察が基本である。

### (3-2) 装着形態

観察者の頭部に装着する形態（図 2.2-6 HMD : Head Mounted Display）。シースルータイプでは、現実の物体と立体映像を重ね合わせることが可能。一つの表示機器は一人で使用するが、人数分の表示機器を用意すれば、その人数に対し同時に立体映像を提示することが可能となる。



図 2.2-5 モバイル形態 3D 携帯電話  
(シャープ(株)のご好意による)



図 2.2-6 装着形態 ホログラムゴーグル  
(浜松ホトニクス(株)のご好意による)

## 2.2.2 目的・機能と観察形態

平面映像ではなく、手間やコストをかけてでも立体映像を観察する目的は、表示物体の正確な 3 次元情報を得るためと、より現実に近い迫力のある映像によって注目を集めるためとの 2 つがある。機能的には、3 次元情報を得る目的では、視点を変えたり、物体を運動させたりといった、観察者の意図したインタラクティブな操作を施す必要性が高いと考えられる。一方迫力、現実感といった感性に訴えることが主目的な立体映像では、3 次元情報は映像の作成者（提供者）から観察者へ一方向に流れ、観察者は受動的であることが多い。これら目的・機能を横軸にとり、観察者の人数別に、適合性の高いと思われる前項の観察形態を当てはめたのが表 2.2-1 である。ここで多人数とは、数十人が同時観察する場合、あるいは同時には数人観察であっても、入れ替わりに不特定多数が観察する場合を想定している。また複数では、同時に観察する複数の観察者間で何らかのコミュニケーションが存在することを想定している。

表 2.2-1 目的、観察者数別立体映像観察形態

目的	正確性重視 ←————→ 感性重視				
	能動的 ←————→		受動的		
観察者数	操作・作業	教育・訓練	デザイン評価	アミューズメント	広告・展示
多人数		スクリーン投影	スクリーン投影 覗きこみ	スクリーン投影 覗きこみ	スクリーン投影 表示媒体対向 覗きこみ
複数	表示媒体対向	表示媒体対向	スクリーン投影 表示媒体対向 覗きこみ	スクリーン投影 表示媒体対向 装着	表示媒体対向
個人	表示媒体対向 没入 装着	表示媒体対向 没入 装着	表示媒体対向 装着	表示媒体対向 モバイル 装着	表示媒体対向 モバイル

### 2.2.3 立体映像観察形態と表示方式との対応

2.2.1 項で述べた立体映像の観察形態と、2.1 節で述べた立体映像表示方式の適合性の関係を、観察者数別に表 2.2-2 にまとめる。

表 2.2-2 表示方式、観察者数別立体映像観察形態

表示方式	二眼式		多眼式		体積型	ホログラフィ
	眼鏡あり	眼鏡なし	多眼式	超多眼式		
多人数	スクリーン投影				覗きこみ	表示媒体対向 覗きこみ
複数	スクリーン投影 表示媒体対向	表示媒体対向	表示媒体対向 覗きこみ	表示媒体対向	表示媒体対向 覗きこみ	表示媒体対向 覗きこみ
個人	表示媒体対向 没入 装着	表示媒体対向 没入 モバイル	表示媒体対向 覗きこみ	表示媒体対向	表示媒体対向 覗きこみ	表示媒体対向

(山内 真)



### 3 立体映像表示の先端技術

#### 3.1 ホログラフィックプリンタ

##### 3.1.1 フリンジプリンタ

計算機合成ホログラム（CGH：Computer-Generated Hologram）の作成では、計算機内に保持した物体の数値モデルから、物体光波の合成、参照光との干渉等による干渉縞の発生までを数値的に行う。その干渉縞を透過率分布のパターン（振幅変調型）ないしは屈折率分布や凹凸分布のパターン（位相変調型）として描画することによりホログラムとなる。この干渉縞描画のための機器をフリンジプリンタと称する。フリンジプリンタは、次節のステレオグラムタイプとは異なり、描画それ自体において干渉の効果を利用しない。そのため、市販の機器でもフリンジプリンタとして利用することが可能である。

フリンジプリンタを用いた干渉縞描画には、おおよそ波長程度から波長の10倍程度のパターンを描画できる解像度が必要であり、解像度が高ければ高いほど広い視域角が得られ、立体感が強くなる。したがって、解像度が最も重要なファクターとなる。種々の描画機器の解像度の比較を表3.1.1-1に示す。さらに、立体感の強い高品質なCGH描画のためには描画面積も重要であり、実用的には描画時間・コストも重要となる。

表 3.1.1-1 CGH 描画機器の比較

	解像度 [dpi]	ドットピッチ [μm]	視域角 [deg]	濃淡
レーザープリンタ	～1,200	～21	～1.7	バイナリ
インクジェットプリンタ	～1,440	～17	～2	バイナリ
イメージセッタ	～4,000	～6	～6	バイナリ
CGH専用フリンジプリンタ	10,000～20,000	2.5～1.5	14～24	マルチレベル
電子線描画, レーザプロッタ (アナログホログラム)	>20,000	<1.5	>24	バイナリ, マルチレベル 連続値

##### (1) 市販の機器やその改造品による CGH 描画

高解像度でパターン描画ができる機器であれば、どのような機器でもフリンジプリンタとして利用可能である。そのため、レーザープリンタによる描画<sup>1)</sup>やその写真縮小による方法<sup>2)</sup>が初期の頃より報告されている。特に、印刷製版に用いられるイメージセッタは透明フィルム上に高コントラストの2値画像を手軽に描画できることから、低解像度のCGH描画に広く利用されている<sup>3)</sup>。

電子線描画装置やレーザ直接描画装置（レーザプロッタ）等を用いれば、波長ないしはそれ以上の解像度で干渉縞が描画可能である<sup>4)</sup>。しかしながら、これらの微細加工技術では試料の準備等の時間も含めると1枚のCGH描画に1～数日の時間が必要であり、機器およびランニングコストが極めて高価なことも相まって量産用のマスター<sup>5)</sup>や光学素子用CGH作製<sup>6)</sup>に用いられる。

近年、CD-Rドライブのファームウェアにのみ改造を加えて、CD-Rメディア上にCGHを描画する試みを坂本らが報告している<sup>7)</sup>。CD-Rドライブではその性質上レーザプロッタに近い解像度が得られるため、手軽に高解像度のCGHを描画する方法として注目を集めている。しかし、市販機器のハードウェアをそのまま利用しているため、特に回転方向の位置精度が低く、再生像が見える範囲に限られる等の問題点がある。

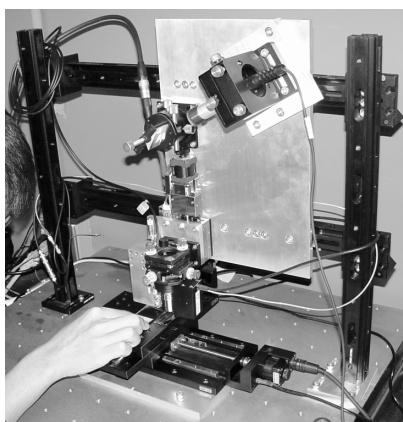


図 3.1.1-1 ドット描画式フリンジプリンタ<sup>9)</sup>の概観

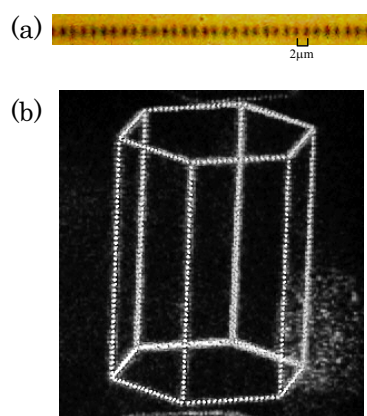


図 3.1.1-2 (a) 描画ドットの顕微鏡写真<sup>9)</sup>, (b) 光学再生像の例

## (2) CGH 描画専用フリンジプリンタ

市販機器やその改造機器の問題点を克服するため、CGH 描画に特化したフリンジプリンタが報告されている。これらの専用フリンジプリンタでは、市販の高価な微細加工機器ほどの解像度は得られないが、ローコストである程度実用的な視域を有する CGH を手軽に描画することができる。

CGH 専用フリンジプリンタは、本質的には、通常のプリンタを高解像度化した機器である。ただし、出力媒体は銀塩ホログラム乾板やフィルムとなる。松島らは、LD 出力を対物レンズで集光したスポットを用いて干渉縞を描画するドット描画式フリンジプリンタを報告している<sup>8,9)</sup>。LD 出力を制御することによりマルチレベルの濃淡像が描画可能である。図 3.1.1-1 にその概観写真、図 3.1.1-2 に描画ドットの顕微鏡写真と作成した CGH の光学再生像の例を示す。このタイプのフリンジプリンタでは比較的簡単に高い解像度を得られる反面、1 ドットずつの描画になるため、描画時間を短縮することが困難である。

吉川らは液晶を空間変調素子として使い、テレセントリック縮小光学系を用いて 800×600 ピクセルを一度に描画するフリンジプリンタを報告している<sup>10,11)</sup>。このタイプでは1回の露光で大量のピクセルを描画できるため、かなりの高速化が期待できる。一方、本質的にステップと同じ構造であるため、描画解像度は縮小光学系の性能に依存している。

(松島恭治)

#### 参考文献

- 1) A. J. Lee and D. P. Casasent: Computer Generated Hologram Recording Using a Laser Printer, *Appl. Opt.* **26**, (1987) 136.
- 2) 山岸, 吉川: 計算機合成ホログラムの広視域化, *光学* **27**, (1998) 535.
- 3) 梶木: マルチ照明法による計算機合成バイナリホログラムの視域の拡大, 3次元画像コンファレンス'99, (1999) 293.
- 4) N. Yoshikawa, M. Itoh, T. Yatagai: Binary Computer-Generated Holograms for Security Applications from a Synthetic Double-Exposure Method by Electron-Beam Lithography, *Opt. Lett.* **23**, (1998) 1483.
- 5) 北村: EB描画による3次元CGH「バーチャグラム®」, *HODIC Circular* **24**, No. 2, (2004) 16.
- 6) 松島 他: 計算機合成ホログラムの手法で設計した任意形状ビーム成形用回折光学素子, 第29回光学シンポジウム, (2004) 81.
- 7) 坂本, 森島, 臼井: 計算機合成ホログラム描画用CD-Rシステム, *映情学誌* **58**, (2004) 549.
- 8) 松島, 上甲: 計算機合成ディスプレイホログラム用高解像度プリンタ, *映情学誌* **56**, (2002) 1989.
- 9) 山中, 松島: デジタル合成ホログラム用高解像度プリンタの高精度化, *映情学誌* **58**, (2004) 1665.
- 10) H. Yoshikawa and K. Takei: Development compact direct fringe printer for computer-generated holograms, *Proc. of Practical Holography XVIII, SPIE Proc.* **#5290**, (2004) 114.
- 11) 立波, 佐々木, 武井, 吉川: フリンジプリンタによるホログラムの作製と評価, 3次元画像コンファレンス 2004, (2004) 97.

### 3.1.2 ステレオグラムタイプ

#### (1) 東工大と凸版印刷で開発している方式

東京工業大学、像情報工学研究施設、山口雅浩助教授の考案で、凸版印刷（株）と開発しているホログラフィックプリンタ<sup>1)</sup>は、リップマンホログラフィとホログラフィック・ステレオグラム（HS）の技術を用いて、白色光照明で水平、垂直方向の視差を有する（フルパララックス）ホログラムを記録できるプリンタである。

基本的な作成原理を図 3.1.2-1 に示す。レーザー光を参照光と物体光に分け参照光は直接ホログラム記録材料に照射して、物体光はランダム位相差板と液晶パネルを透過した後レンズによってホログラム記録材料面に結像する。ホログラム記録材料面上では参照光と物体光が互いに反対方向から干渉することで、リップマンホログラムが記録され、このホログラムは  $0.25 \times 0.25 \text{mm}$  の小さなもので、これを要素ホログラムと呼ぶ。

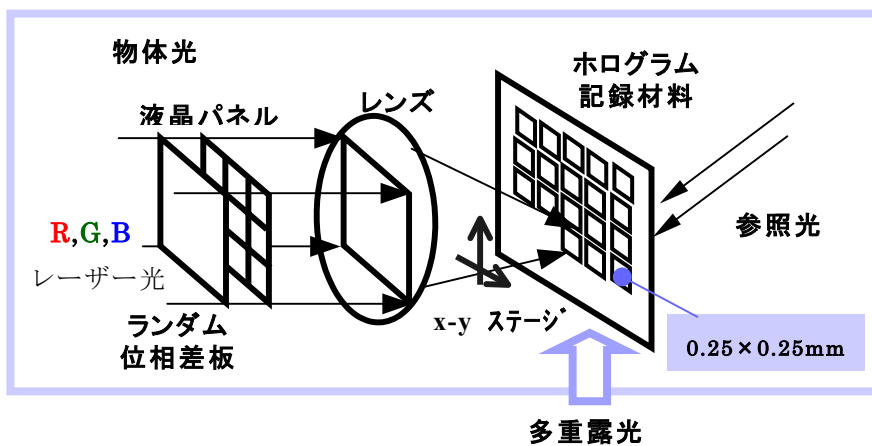


図 3.1.2-1

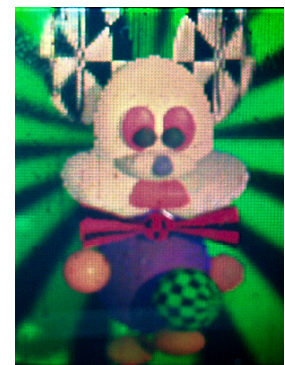


図 3.1.2-2

ここで、液晶パネルに表示する画像は、ある三次元物体をさまざまな方向から見た二次元画像をコンピュータ上で作成しておき、その画像を液晶パネルに表示して要素ホログラムを記録する。このようにして記録した要素ホログラムは液晶パネル上の範囲から見た場合に、このホログラム部分がどのような見え方をするかを記録したことになる。

次に、ホログラム記録材料を x-y ステージにより移動させながら、それぞれの位置にその部分に対応した画像を液晶パネルに表示させながら各々の要素ホログラムを記録していく。以上のようにして要素ホログラムをホログラム記録材料面上に、マトリクス状に記録配置することでホログラム全体が完成する。完成したホログラムは液晶パネルのあった範囲に各要素ホログラムが再生光を射出することで、その範囲から覗き込んだように再生光を見ることができ、立体像として確認できるようになる。

1994年に開発された最初のシステムは He-Ne レーザーを用いて単色の立体像を 75mm 幅のロールフィルムに記録することが可能で、装置の大きさは 840×500×450mm である。要素ホログラムの大きさは 0.3mm 角で、ホログラムは 340×200 個の要素ホログラムにより構成され、ホログラムサイズは 102×60mm である。各要素ホログラムに記録する画像（液晶に表示）は 64×64 画素である。

2002年に開発されたフルカラーの記録システムは光学定盤上に構築されているもので、レーザーの赤色は He-Ne(633nm)、緑色は Nd-YAG-SHG(533nm)、青色は He-Cd(442nm) を使用している。記録材料には銀塩感光材料のガラス乾板（ロシア製感材 PFG-03C）を用いている。このシステムで記録したホログラムの写真を図 3.1.2-2 に示す。

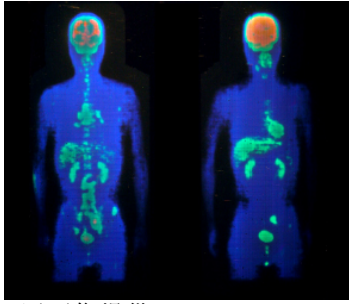
このホログラムの要素ホログラムの大きさは 0.25mm 角で、ホログラムは 100×150 個の要素ホログラムにより構成され、各要素ホログラムに記録する画像は 64×64 画素であり、赤緑青の 3 色が多重露光されている。

現在のところこのシステムでの課題は、記録時間の問題と画質の向上である。記録時間については現在、各要素ホログラムを記録するのに数秒を要していて、図 3.1.2-2 のホログラムで 12 時間程度かかっている。しかし、記録システムの安定化を図ることで記録時間の短縮を行ったり、複数の要素ホログラムを並列露光することで高速化の実現が可能である。また、画質の向上については、液晶パネルや感光材料の特性を考慮する必要がある。

さらに、忠実な色再現性を求め、コンピュータ上での色と実際に出力されたホログラムとの色を一致するように、液晶パネルへの入力信号を制御、補正を行う実験も試みている。

## (2) 浜松ホトニクスで開発している方式

浜松ホトニクス（株）中央研究所でも東工大凸版方式と同様な方式の、フルパララックスのホログラフィックプリンタの開発を行っており、フォトンフェア<sup>2)</sup>と浜名湖花博において発表を行っている。この装置の大きさは光源部を除き 900×400×300mm である。レーザーの赤色は半導体レーザ（635nm）、緑色は半導体レーザ励起固体レーザ（532nm）、青色は半導体レーザ励起固体レーザ（473nm）を使用している。要素ホログラムの大きさは 0.4mm 角で、ホログラムは 600×250 個の要素ホログラムにより構成され、各要素ホログラムに記録する画像は 640×480 画素である。画像処理部分ではグラフィックプロセッサ（GPU）によるリアルタイムレンダリングを行い、大量の画像ファイルの蓄積が不用となっている。記録材料には銀塩感光材料のフィルム（ロシア製感材 PFG-03C）を用いている。図 3.1.2-3、図 3.1.2-4 にこのプリンタによるホログラムの再生画像の写真を示す。



原画像提供：  
静岡県西部浜松医療センター  
先端医療技術センター

図 3.1.2-3



青いバラ「浜名湖花博展示」  
縦 9cm×横 12cm (225×300 ドット)

図 3.1.2-4

### (3) ソニーで開発している方式

ソニー（株）でも 1998 年からホログラフィックプリンタの開発<sup>3)</sup>を行っている。ソニーで開発している方式は、リップマンホログラムの HS 方式で、視差は水平方向のみであるが、3 分以下の高速で印画出力できるプリンタである。

このシステムは出力 400mW の SHG-YAG レーザー (532nm) を用い、感光材料としてはデュポン社製フォトポリマーのロールフィルムに記録し、装置の大きさは 1100×700×300mm である。要素ホログラムの大きさは 0.2mm ピッチで高さ 78mm、ホログラムは 295 個の要素ホログラムにより構成され、ホログラムサイズは 59×78mm である。液晶は 51 万画素の TFT 白黒液晶パネルを使用し、表示画素は 480 (視差方向) ×640 画素である。本方式は、東工大凸版方式と異なって視差が水平方向のみであり、液晶パネルを出た物体光は、視差方向にはホログラム記録材料上でシリンドリカルレンズにより集光され、非視差方向には上下方向の視野角を確保するためにレンズにより拡大投影される。

露光部分ではロール状フィルムを連続送りできるようにするため、フィルムのテンションで光学部品にフィルムを食い込ませる特殊構造とすることで、振動減衰に優れた露光ヘッドとなり高速化が実現できた。各要素ホログラムの露光時間は 0.25 秒である。また、液晶に表示を行うために専用の画像処理用ハードウェアを開発し、大幅な処理速度の向上を達成している。

また、このプリンタと共にポートレートシステム用の画像撮影装置も開発している。全長 2700mm のステッピングモータ駆動のレール上に CCD カメラが備付けられ、さらにレンズと CCD とを相対的に移動することができ、常に被写体が CCD の中心にくるようにしてある。これらの撮影装置とプリンタを用いて、実際に一般の人を撮影し、その場でホログラムを作製するフィールドテストも実施している。さらに、このプリンタを改良して、再生する光源を一体型にできる透過型エッジリットタイプのホログラムを作成できるシス

テムの開発<sup>4)</sup>も行っている。図 3.1.2-5 にプリンタの概観、図 3.1.2-6 に画像処理および制御部の写真を示す。また、この技術を発展させて開発されたシステムでは、フルカラーの出力も可能になっており、2002 年 3 月に開催されたホログラフィックディスプレイ研究会アニュアル展示会では図 3.1.2-7 に示した写真のサンプルが展示された。

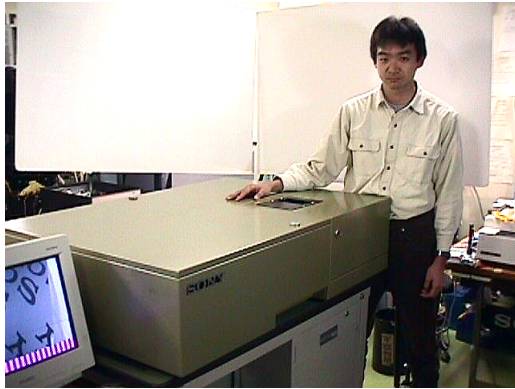


図 3.1.2-5



図 3.1.2-6



図 3.1.2-7

(岸本 康)

#### 参考文献

- 1) 山口雅浩：“ホロプリンターと 3 次元情報表示”、情報フォトンクス研究会、2004.9
- 2) 竹森民樹、池田貴裕：“静止画ホログラフィ”、浜松ホトニクス創立 50 周年記念展示会（フォトンフェア 2004）パンフレット
- 3) 白倉明、木原信宏、馬場茂幸：“即時ホログラフィック 3D プリント技術”、HODIC Circular Vol.18,No3,(1998)
- 4) 木原信宏、白倉明、馬場茂幸、豊田高博：“透過型ワンステップエッジリット ホログラフィックステレオグラムプリンタ”、HODIC Circular Vol.19,No1,(1999)

## 3.2 動画ホログラフィ

ホログラフィによる立体動画像表示のアイデアは、1965年のLeithらの論文<sup>1)</sup>にすでに登場している。その論文の試算では3次元表示のために必要な標本点数が毎秒 $1.5 \times 10^{11}$ となること、 $1 \mu\text{m}$ 程度の微細な画素を持つ空間光変調器が必要なこと、などにより理論的には可能でも現実的ではないと考えられてきた。しかし、液晶などの空間光変調器や計算機などの進歩により、ホログラフィによる実時間の立体動画像表示を目指した論文が1980年代中頃から表われはじめ、1990年代に入ると研究が活発になってきた。本項では、代表的な方式である液晶パネルと音響光学素子を用いる2方式について原理および研究動向を解説する。

フィルム等に記録される静止画像のホログラムは、干渉縞の強度分布を光の透過率や屈折率の変化として記録している。そこで、実時間で書換え可能な透過率や屈折率を変調可能な空間光変調器に置き換えることでホログラフィの立体動画像表示が実現できる。この空間光変調器に要求される諸特性としては、画素サイズ・画素数・速度・階調数・直線性などがある。ホログラフィとして最も重要となるものが画素サイズであり、画像の大きさや観察可能範囲の広さには画素数、動画像の更新速度には速度が重要となる。

液晶パネルを用いたホログラムの表示<sup>2)</sup>は、原理的には液晶パネルに直接レーザを照射するだけで良い。ただし、現在入手可能なビデオ表示用の液晶パネルの画素サイズは、高精細なものでも十数 $\mu\text{m}$ であり、回折角もわずかである。そこで、レンズレスフーリエ型にするなどの光学系の工夫が必要である。液晶パネルを用いたホログラム表示の基本的な光学系を図3.2-1に示す。液晶パネルにホログラムを表示し、レーザ光を照明光として照射する。凸レンズにより光を集光すると、ゼロ次回折光（非回折光）の近傍に再生像（1次回折光）と共役像（-1次回折光）が現れる。本来の再生像は1次回折光のみなので、それ以外の回折光が観察の邪魔にならないように空間的なフィルタリングを行うなどの工夫が必要である。図3.2-1の光学系の場合、凸レンズの焦点距離を長くすると再生像は大きくなるが、視域（像を観察できる範囲）は焦点位置からレンズを見る角度になるので小さくなる。反対に、焦点距離を短くすると再生像は小さくなるが視域は大きくなる。再生像も視域も大きくするためには液晶パネルの画素数を増やさなければならない。

液晶パネルによるホログラムの実時間表示としては1986年の文献<sup>3)</sup>が最初である。この論文は、市販の液晶TVに計算機合成ホログラム（厳密にはキノフォーム）による円を表示し、レーザ光を照射することにより再生像を得ている。液晶による立体動画像表示の研究は1990年代に入って活発となった<sup>2)</sup>。変調方式としては、振幅、位相のいずれも可



能であり、2枚の液晶による位相と振幅の変調によるキノフォームの表示<sup>4)</sup>も報告されている。表示データとしては、計算機合成ホログラム、キノフォームの他に、CCDカメラにより実際の物体のホログラムを撮影して液晶パネルにより実時間での伝送・再生<sup>5)</sup>も可能である。また、RGB3色のレーザと3枚の液晶パネルによるフルカラー表示<sup>6)</sup>も行われている。通常のビデオ用の液晶パネルは、ホログラムの表示には画素数が十分ではなく、小さい再生像を単眼で観察するのがやっとなのである。

そのため、接眼型として視域を制限する代わりに再生像（視野）を大きくし、液晶を2枚使用して両眼で観察する方式が提案されている<sup>7)</sup>。最近ではハイビジョン用液晶を使用して、ゴーグル型に小型化・軽量化したディスプレイが試作されている<sup>8)</sup>。このディスプレイでは図3.2-2に示すように液晶パネルの近傍に発生させた再生像をレンズにより虚像拡大し観察する手法と、ハーフゾーンプレート法を元にした計算機ホログラムの共役像除去法とが組み合わされているため、両眼視差・輻輳・焦点調節を満足し奥行き表示範囲も無限遠から目前までと広く、良好な3次元再生像が得られている（写真3.2-1）。

また、ホログラム用に試作した画素数の多い液晶パネルにより、視域と再生像の大きさをともに改善させる試みも報告されている<sup>9)</sup>。文献9)では、画素数が3,200×960の液晶パネルを5枚使用し、ハーフミラにより継目無く合成することで、幅50mm、高さ150mm、奥行き50mmの横方向視差のみを持つ立体像を1m離れた距離から両眼で観察できる視域

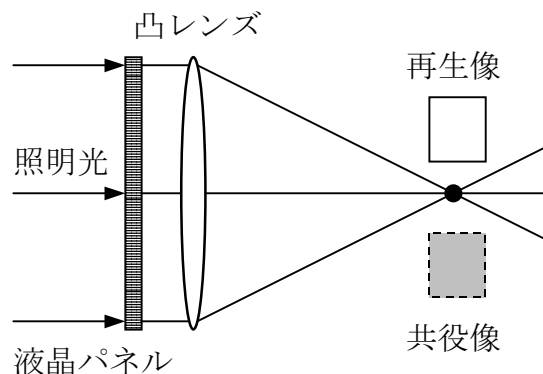


図 3.2-1 液晶パネルを用いたホログラム再生の基本的な光学系

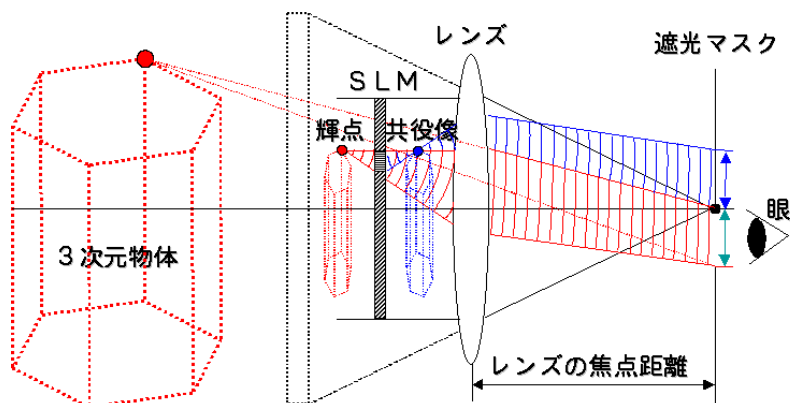


図 3.2-2 接眼方式の表示原理



写真 3.2-1 再生像の撮像例  
手前の球にピンと、背景にぼけが発生

を得るように設計されている。市販の高画素パネルを利用した例としては、画素数が 3,840 × 2,048、画素ピッチ 10 μm の反射型液晶パネルを 2 枚使用し、幅 18mm、高さ 6mm、奥行き 40mm の立体像を観察距離 900mm で両眼立体視が可能との報告がある<sup>10)</sup>。

さらに高画素数のものとして、Stanley ら<sup>11)</sup>は光書き込み式の液晶パネル（幅 136mm、高さ 34mm）に 1 億画素（20,480 × 5,120）の計算機合成ホログラムを毎秒 30 枚まで実時間で表示可能なディスプレイを報告している。このような大画素数の書き込みには、100 万画素程度の電気書き込み方式の液晶で変調した光で光書き込み液晶の一部に記録し、記録場所を移動しながら表示データを変えることで実現できる(Active Tiling 法)。ただし、文献 11)では 1,024 × 1,024 画素の反射形液晶に表示したデータを 5 × 5 に多重化したものを 4 つ並列にして入力データとしている。

空間光変調器として音響光学偏向器（AOD : Acousto-Optical Deflector）を用いる方式では、ホログラムの情報量を十分な 3 次元知覚を行うための必要最小限まで低減し、移動する干渉縞を停止させるための機械走査や AOD の偏向角度の不足を補うための縮小光学系など、様々な工夫がなされている<sup>12)~14)</sup>。図 3.2-3 にディスプレイの光学系を示す。AOD 素子には二酸化テリリウム（TeO<sub>2</sub>）結晶の遅いせん断波モードが用いられている。AOD の帯域に変換されたホログラムの電気信号が AOD のトランスデューサで超音波に変換され結晶中を伝達するとき、弾性的に変調される屈折率変化が生じる。その AOD にレーザー光を入射すると、屈折率変化による回折で光の進行方向が曲げられて、出射光としてホログラムからの再生像が得られる。AOD 内のホログラムは、音速（617m/秒）で移動するため、ポリゴンミラーを音速に同期して回転させてホログラムの像を静止させる。このとき

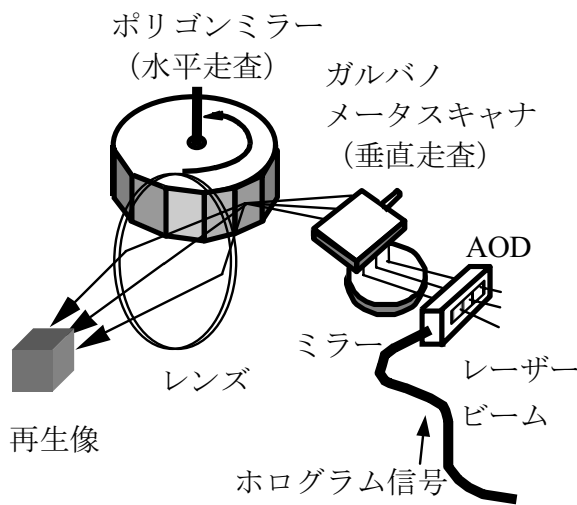


図 3.2-3 音響光学素子を用いたホログラム再生の光学系

きポリゴンミラーはホログラムを水平走査して、見かけ上大きなホログラムとするためにも用いられる。このような水平方向走査により形成された横長の線状ホログラムをガルバノメータスキャナによって垂直方向にも走査し、ポリゴンミラーの後に置いた出射レンズの手前の空間に 3 次元像を形成する。AOD の回折角は 3 度であるため、出射レンズにより AOD の像を縮小することで見かけ上の回折角を大きくし、広い視域を得る。この光学系は、1930 年代に研究された機械式テレビジョンに類似しており、「スコフォニ構成」と呼

ぶこともある<sup>13)</sup>。

再生像は、両眼視差・輻輳・焦点調節など生理的な3次元知覚情報をすべて備えている。したがって、両眼で観察した場合には奥行きを知覚する事ができ、観察者が左右に移動すれば異なる視点からの像が見える。ただし、AODで形成されるホログラムは1次元であり、水平方向にはホログラムによる3次元像が再生されるが、垂直方向には2次元的な像となる。したがって、視点を上下に移動しても像は変化しない。このような垂直視差の放棄は3次元ディスプレイとしてはあまり望ましくはないが、ホログラムに要求される標本点数を2~3桁低減できる<sup>13)</sup>。AODを1個使用した表示システムの例としては、再生像の大きさが30mm×30mm×30mm程度で、視域角が10度程度となる<sup>12)</sup>。表示画像を大きくしたり、視域を広げるためには1画面あたりの情報量を増加させる必要がある。決められた周波数帯域内で1画面あたりの情報量を増加させるには画面の毎秒更新数を低下させればよいが、その場合はちらつきが問題となる。また、AOD1個の帯域は限られているので、周波数帯域を増加させるにはAODを複数個並列動作させることが必要になる。

現時点で最大の画面サイズかつ広視域のシステムとしては、18個のトランスデューサを有するAODを2組使用して再生像の横幅135mm、高さ70mm、奥行き300mm以上で視域30度を実現したとの報告がなされている<sup>15)</sup>。また、ディスプレイ全体を大型化する代わりに、ディスプレイをモジュール化してこれを並列に配置することで大型化する試みも有る<sup>16)</sup>。複数のAODを用いる場合は、赤・緑・青の3色のレーザを使用することでフルカラー表示が実現できる<sup>17), 18)</sup>。

本文では究極的な3次元ディスプレイとして期待されているホログラフィック立体動画像表示の中で、電子的に実時間で動画像の表示が可能な液晶および音響光学素子を用いた方式を解説した。この分野の研究が活発化してから十数年ほどになるが、解決すべき問題もまだ多数残されている。現状では音響光学素子を用いた方式がもっとも大きな画像サイズと視域が得られているが、より一層の大画面を目指すには走査方式の改良か他の方式への変更が必要となろう。また、液晶表示装置も高画素数で高密度のものが市販されるようになっており、コストを問題にしなければ現状でも十分実用的な表示装置が実現可能である。なお、本文では触れなかったが、ホログラフィック立体動画像表示の実用化のためには、計算機によるホログラム生成の高速化<sup>19)</sup>、効率的な蓄積・伝送のための符号化<sup>20)</sup>、なども重要な研究課題である。

(吉川 浩)

#### 参考文献

- 1) E. N. Leith, J. Upatnieks, B. P. Hildebrand and K. Haines, "Requirements for a

- wave-front reconstruction television facsimile system,” *J. Soc. Motion Picture and Television Engineers*, **74**, 10, pp. 893-896 (1965).
- 2) 佐藤甲癸：“液晶デバイスを用いた動画ホログラフィ研究の展望”，*ディスプレイアンドイメージング*，**2**，pp. 309-315 (1994).
  - 3) F. Mok, J. Diep, H. Liu and D. Psaltis: “Real-time computer generated hologram by means of liquid-crystal television spatial light modulator,” *Optics Letters*, **11**, 11, pp. 748-750 (1986).
  - 4) T. Sonehara, H. Miura and J. Amako: “Moving 3D-CGH reconstruction using a liquid crystal spatial wavefront modulator,” *Proc. 12th IDRC (Japan Display '92)*, pp. 315 (1992).
  - 5) N. Hashimoto, S. Morokawa and K. Kitamura: “Real-time holography using the high-resolution LCVT-SLM”, *SPIE Proc.*, **1461**, pp. 291-302 (1991).
  - 6) Koki Sato: “Characteristics of Kinoform by LCD and its application to display the animated color 3D image,” *SPIE Proc.* **2176**, pp. 42-49(1994).
  - 7) 竹森民樹，伊東賢二，大坪順次：“PAL-SLMによる視野拡大型計算機ホログラムの表示”，*HODIC Circular*, **16**, 1 pp.8-12 (1996).
  - 8) 池田貴裕，竹森民樹：“動画ホログラフィ”，*浜松ホトニクス創立 50 周年記念 展示会 (フォトンフェア 2004)* .
  - 9) K. Maeno, N. Fukaya, O. Nishikawa, K. Sato and T. Honda: “Electro-holographic display using 15M pixels LCD,” *SPIE Proc.*, **2652**, pp. 15-22 (1996).
  - 10) 三科智之，奥井誠人，土井敬一郎，岡野文男：“高解像度液晶パネルを用いたホログラフィ”，*HODIC Circular*, **22**, 1, pp.19-24 (2002).
  - 11) M. Stanley, R. W. Bannister, C. D. Cameron, S. D. Coomeber, I. G. Cresswell, J. R. Hughes, V. Hui, P. O. Jackson, K. A. Milham, R. J. Miller, D. A. Payne, J. Quarrel, D. C. Scattergood, A. P. Smith, M. AG. Smith, D. L. Tipton P. J. Watson, P. J. Webber and C. W. Slinger: “100 Mega-pixel computer generated holographic images from Active Tiling – a dynamic and scalable electro-optic modulator system,” *SPIE Proc.*, **5005**(2003).
  - 12) P. St.-Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, and J. Underkoffler: "Electronic display system for computational holography, " *SPIE Proc.*, **1212** pp. 174-182 (1990).
  - 13) S. A. Benton (吉川浩訳)：“Experiments in Holographic Video Imaging”，*3D 映像*,

5, 2, pp.36-68 (1991).

- 14) 吉川浩：“音響光学素子を用いたホログラムの実時間表示”，ディスプレイアンドイメージング，**3**, pp. 293-299 (1995).
- 15) M. Lucente, R. Pappu, C. J. Sparrell, and S. A. Benton: “Progress in holographic video with the acousto-optical modulator display,” *SPIE Proc.*, **2557** (1995).
- 16) 岩田成健, 吉川浩, 本田捷夫: “電子ホログラフィアレイの試作”，3次元画像コンファレンス '97, 2-2 (1997).
- 17) P. St.-Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente and P.M. Hubel: “Color images with the MIT holographic video display,” *SPIE Proc.*, **1667**(1992).
- 18) 辻川晋, 岩田成健, 岡田孝常, 吉川浩, 本田捷夫: “AOM方式立体ディスプレイ(1) – 設計 –”，第41回応用物理学会関係連合講演会，29aB7/III (1994).
- 19) 吉川浩: “超音波光変調器を用いた計算機ホログラムの像再生”，O plus E, 204, pp. 90-94 (1996).
- 20) 吉川浩: “ホログラフィックな立体動画像表示と情報圧縮”，光学，**26**, 6, pp. 308-313 (1997).

### 3.3 裸眼立体モニター

#### 3.3.1 NTTで開発している方式

NTT方式は、新たな立体錯視現象であるDFD (Depth-fused 3-D) 錯視現象の発見<sup>1)</sup>に基づいて考案された方式である。この方式では、観察位置は限定されるが、比較的簡便な構成で疲労感の少ない3D像を立体眼鏡なしで提示できる<sup>2)</sup>。また、左右眼の視力差が大きい観察者でも3D像として見えやすい長所を有する<sup>3)</sup>。

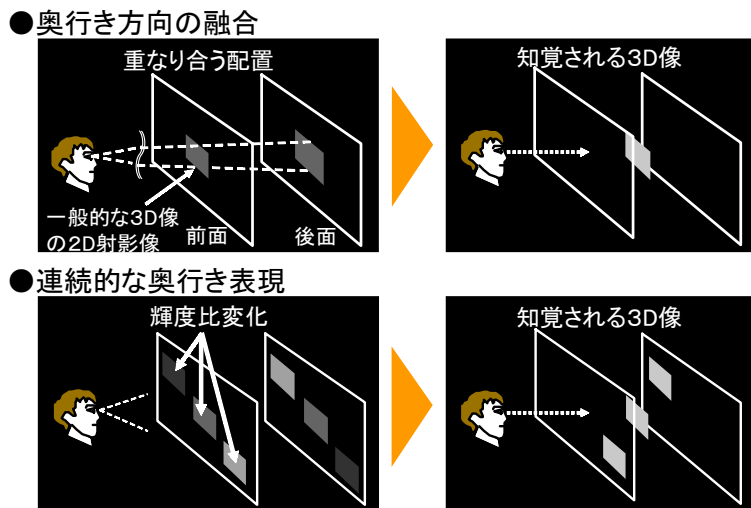
##### (1) 基本方式

透明な2D像を積層して3D像を提示する方法は従来から検討されてきたが、一般的なカラー3D画像への適用には多くの制約があった<sup>4),5)</sup>。これに対して、DFD錯視現象は、多くの一般的な画像(明確なエッジを含む画像)に適用できる特徴を有する<sup>6)</sup>。

DFD錯視現象の概要を図3.3.1-1(a)に示す。まず、表示したい一般的な3D像(ここでは長方形の板)の透明な2D射影像を、前後の表示面に観察者の位置から見て重なり合うように表示する。すると観察者はこれを奥行き異なる二つの像としてではなく、奥行き

方向に融合した一つの像として感じる。次に、表示したい 3D 像の奥行き位置に応じて前後 2 面の像の輝度比を変化させると、その奥行き位置が連続的に変化して感じられる。定量的な心理実験により、奥行き位置は輝度比に対して連続的に変化することが示されている<sup>1)</sup>。

(a) DFD (Depth-fused 3-D) 錯視現象の概要



(b) ハーフミラー型と偏光加算型の基本構成とプロトタイプ

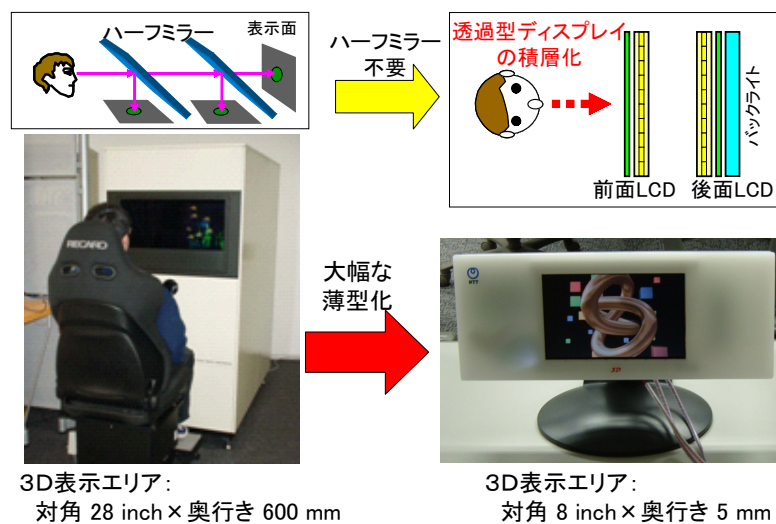


図 3.3.1-1 NTT 方式の原理とプロトタイプ

(2) 偏光加算方式

このような透明な像の重ね合わせを実現するには、ハーフミラーを用いる方法があるが、装置が大型化する欠点を有している。そこで、図 3.3.1-1(b)右のように 2 枚の LCD (液晶

ディスプレイ)を重ね合わせ、偏光変化の加算性<sup>7)</sup>を利用することで、DFD表示装置を大幅に薄型化できる<sup>8)</sup>。この方式は、前後2枚のLCD(偏光板なし)を2枚の偏光板の間に配置することにより、前面LCDと後面LCDにおける各々の偏光変化が加算され、全体としてはあたかも双方のLCDの表示輝度が加算されるように見えることを用いている。

### (3) プロトタイプ

NTT方式のプロトタイプを図3.3.3-1(b)に示す。ハーフミラーを用いたプロトタイプ(左)は、装置が大型となるが表示エリアとしては対角28 inch×奥行き600 mmと大きな領域を確保している。一方、偏光加算方式(右)は、2面のLCDを用いた簡単な構成で実現でき、大幅な薄型化を達成できる。その表示エリアは対角8 inch×奥行き5 mmと狭いが、十分な立体感を得ることができている。双方とも、パソコン制御で簡便に種々のカラー3D動画像を表示できる。さらに、本方式は、電子ディスプレイだけでなく、前面に透明な印刷シートを用いた印刷物にも適用でき、それらの像の濃度比を変化させることにより、極めて簡便に3D静止画像を実現できる<sup>9)</sup>。

(陶山史朗)

### 参考文献

- 1) Suyama, S. et al: Vision Research Vol. 44 (2004) 785
- 2) Ishigure, Y. et al: Proc. of IDW'04 (VHFp-3) (2004) 1627
- 3) Fujikado, T. et al.: Proc. of Progress in Strabismus 9th meeting of international strabismological association (2003) 117
- 4) 安藤：計測自動制御学会論文誌 Vol. 24 No. 9 (1988) 973
- 5) 永津：テレビジョン学会技術報告 Vol. 20 No. 5 (1996) 61
- 6) 大塚、他：信学技法 Vol. EID2000-51 (2000) 37
- 7) Date, M. et al: Vol. 44 No. 6 (2005) 898 Applied optics
- 8) 高田、他：映像情報メディア学会誌 Vol. 58 No. 6 (2004) 807
- 9) Takada, H. et al: IEICE trans. on Electron. Vol. E88-C No. 3 (2004)

### 3.3.2 カシオ計算機で開発している方式

カシオ計算機はフィールドシーケンシャル方式による高精細な3D液晶ディスプレイの開発に成功した。ディスプレイの解像度を損なうことなく、3D表示と2D表示を切り替えて表示することが可能である<sup>1)</sup>。

現在、専用めがね無しで立体表示が可能な 3D ディスプレイは、臨場感の高いディスプレイとして注目されており、さまざまな方式で開発が進められている。

3D 表示方式として、高速応答液晶素子（応答時間：3.5msec）によるフィールドシーケンシャル方式とそれに同期させたスキャンバックライトシステムによる「左右画像の時間合成法」を開発した。「左右画像の時間合成法」では、3D 元画像を構成する左画像と右画像を、これまでの倍速（120Hz）で交互に表示して、左画像が左目に、右画像が右目に入るようスキャンバックライトと左右画像を同期させ、頭の中で立体の像を結ばせている（図 3.3.2-1）。従来からある視差バリア方式等による「左右画像の空間合成法」では、3D 表示は劣化した解像度による表示になるが、「左右画像の時間合成法」は、フル解像度の左右画像を切り替え表示しているため、3D 表示と 2D 表示のいずれも同じ高精細表示が可能である。カシオ計算機は 2.4 インチ QVGA（166ppi）で本方式を実証した。

また、視点を左右に振っても視差バリア方式のような不自然な変化が無く、視点が 3D 可視範囲を越えた場合も、3D 表示は 2D 表示に変化するため、視覚上の違和感がない。これにより、従来方式では達成できなかった、明るく自然で写実的な 3D 静止画表示と 3D 動画表示が初めて可能となった（図 3.3.2-2）。

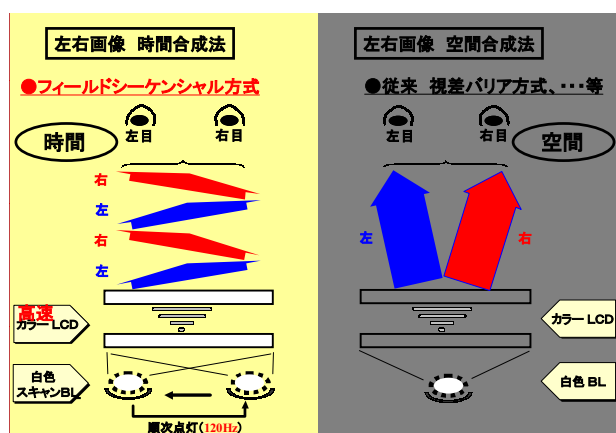


図 3.3.2-1 原理図

### 超高画質 自然で写実的な3D表示

	フィールドシーケンシャル方式	従来 視差バリア方式
①高精細表示	◎ 解像度が落ちない 3D = 2D	△ 解像度が半分 3D = 1/2(2D)
②3D可視範囲	○ 逆視：無し	△ 逆視：有り
③左右視野角	○ 3D⇒2D 滑らかな変化	△ 不自然な変化

図 3.3.2-2 利点

(宮下 崇)

#### 参考文献

- 1) Takashi Miyashita : Display Devices Winter (2003) 17

### 3.3.3 三洋電機で開発している方式

従来から提唱されている単純な縦ストライプのパララックスバリアでは、各視点画像の解像度は水平方向にのみ低下する。三洋電機はこの問題を解決するために、対応する LCD



のライン毎に開口位置を下図のようにオフセットさせたステップバリア方式を開発している。これにより、解像度の低下が水平／垂直の両方向に分配され、解像度バランスが改善される。2 視点方式ではこの分配は均等であり、視点数  $n$  ( $>2$ ) の場合には、垂直方向が  $1/3$ 、水平方向が  $3/n$  となる。LCD の解像度には限りがあるので、視点数  $n$  で分割する際に、視点数  $n$  と 1 視点あたりの解像度はトレードオフの関係にある。また、視点数  $n$  のステップバリアで立体表示を行う場合、 $n$  枚の視差画像、すなわち  $n$  台のカメラで撮影するか CG で  $n$  方向から見た画像を計算するか、で得られた画像が必要になる。この  $n$  枚の画像を 1 枚の画像に合成してステップバリアが装着された LCD パネルに表示する。

上記の様な解像度バランスの優位性を活かし、同方式による多視点方式のディスプレイが開発されている（図 3.3.3-1）。

三洋電機は、2004 年度の CEATEC ショーにて 2.5 型 QVGA、8 型 SVGA、22 型 QUXGA-W、40 型 W-XGA の 3D ディスプレイの展示を行った。このうち 8 型、40 型は 4 視点、22 型は 7 視点を有している。また、2.5 型、8 型、40 型はステップバリアを液晶パネルで実現することで電子的に 2D 画像と 3D 画像の切り替えを可能としている。

3D の多視点化は原理的に表示解像度の劣化を伴うが、ステップバリア方式の特性に加え近年の FPD の高精細化に伴い多眼ディスプレイの開発が盛んになってきた。

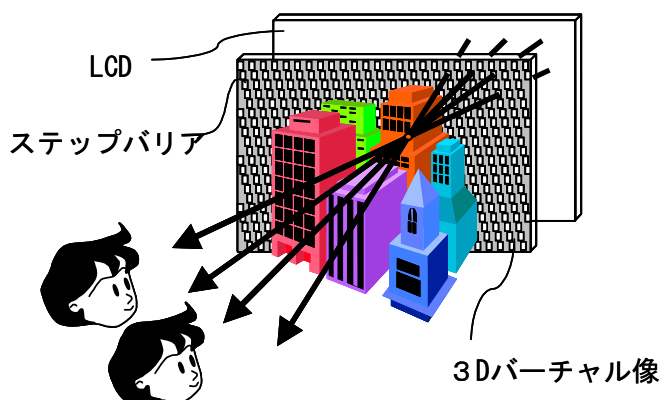


図 3.3.3-1 ステップバリア方式

(金山秀行)

### 3.3.4 シーフォンで開発している方式

視差バリア方式では、多人数で各観察者が動きながらもメガネなしで立体認識できるステレオ（2 眼）ディスプレイの実現は、原理的に不可能である。よって現在開発されて

いる 3D ディスプレイの多くは多眼方式である。

シーフォンが開発している立体視のメカニズムは 1992 年名古屋大学から発表<sup>1)</sup>されたもので、現在のところ、多人数で各観察者がそれぞれ自由に動いてメガネなしで立体認識できる唯一のステレオ（2 眼）ディスプレイである。

実際商品化している 3D 液晶ディスプレイでは、フレネル凸レンズによって、3D 液晶ディスプレイのバックライトの光の進行方向を制御し、左右の眼に異なる映像を見せることにより、多人数でのメガネなし立体認識することができる。原理はフレネル凸レンズ付きバックライトを有した TFT 液晶ディスプレイにより、実現できる。図 3.3.4-1 にその原理を示す<sup>2)~6)</sup>。

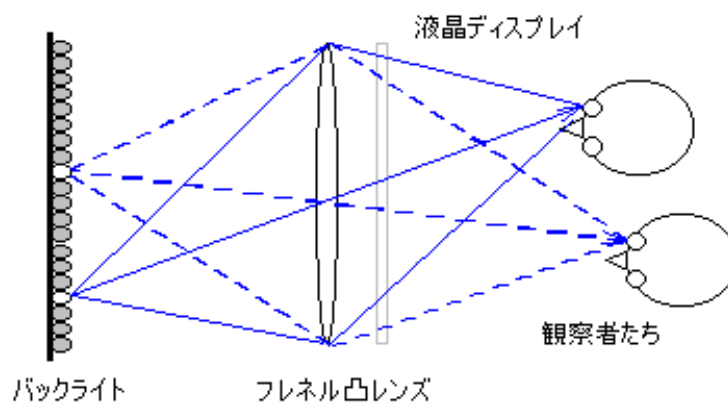


図 3.3.4-1 バックライト分配方式  
(Back light distribution method) <sup>1)</sup> 3D 原理

観察者の左右の眼がフレネル凸レンズによって焦立しているバックライトの左右の眼のどちらかに相当する位置を発光させると、その輝点に相当する眼のみはフレネル凸レンズ面全面が均一に輝度を有した状態で視認できる。この状態で液晶画面にステレオ像の適当な片方の画像を表示することにより、複数の観察者に同時に左右片方の眼のみに表示画像が認識される。このバックライトの輝点と液晶の表示画像を電氣的に制御し、左右の眼に異なる映像を送る。そして、右眼用映像と左眼用映像を時間的、空間的または色的に足し合わせた映像を、TFT 液晶ディスプレイに表示することにより、立体画像として左右の眼に応じた映像が見える。また、特別な制御を行わなくても従来の 2D ディスプレイとしての表示も当然できる。製品はバックライト光源が微小な LED で構成されているので、実際の映像は近似的にマクスウェル視像になり、各観察者の水晶体に由来する視力にはほぼ影響されることが無く立体視できる。よって輻輳調節矛盾も減少される。結果として従来型と比較して長時間観察の際の疲労軽減も確認されている。図 3.3.4-2 に商品を示す。



図 3.3.4-2 商品（左から 12.1 インチ、30 インチ、薄型フルカラーアナグリフタイプ）

（服部知彦）

#### 参考文献

- 1) “Progress in Autostereoscopic Display Technology at Nagoya University College of Medical Technology”, T Hattori.Proc. of International Conference on 3Dmt 1992
- 2) “医用画像用三次元映像表示システム”,T Hattori et al., 3D 映像 Vol.7 No.2 pp.34-37 1993.
- 3) “Stereoscopic Liquid Crystal Display”, T Hattori et al., proc.of TAO pp.541-547,1993.
- 4) “Stereoscopic liquid crystal display I”,T Hattori et al., SPIE Vol.2177, 1994
- 5) “On the-wall stereoscopic liquid crystal display”, T Hattori et al., SPIE Vol.2409 February 1995.
- 6) “Sea Phone 3D display”, T Hattori, 画像ラボ Vol.15 No.5 pp12-13,2004

#### 3.3.5 シャープで開発している方式

人間の脳は、しばしば錯覚を起こしている。実際は平面に描いてある映像も奥行きがあるかのように見え、比較的容易に欺かれることになる<sup>1),3)</sup>。しかし、これによって得られる遠近感・奥行き感はそれほどリアルなレベルに達しない。そこで、見る角度によって違う映像を描写する手法が開発されている。右目を見た映像と左目を見た映像では微妙にずれ、この両眼視差が、立体感を感じさせる効果を持たらすことになる。両眼視差は、通常の平面描写では発生しない。そこで、両眼視差状態を発生させ、立体感を得る試みがいろ

いろいろ行われてきた。テーマパーク等で、赤青の2色のレンズを使った2色眼鏡や、偏向レンズ付きの眼鏡をかけておこなう方法等が開発されてきました。3D映画でも、非常にリアルな立体感を生成し、まるで異次元の世界を覗いているかのような錯覚を作り出している。

シャープが開発している立体視のメカニズムは視差バリアにより、図 3.3.5-1 のように左右の目の位置に合った映像を見せることによる。これにより、左右に合った映像を見て、両眼視差による立体感のある画像を見ることができる。

実際商品化している3D液晶では、3D液晶ディスプレイからの光の進行方向を制御し、左右の眼に異なる映像を見せることにより、専用のメガネなしで立体認識することができる。原理は「TFT液晶ディスプレイ」と「スイッチ液晶」との組み合わせにより、実現できる。図 3.3.5-1 にその原理を示す<sup>2),4),5)</sup>。

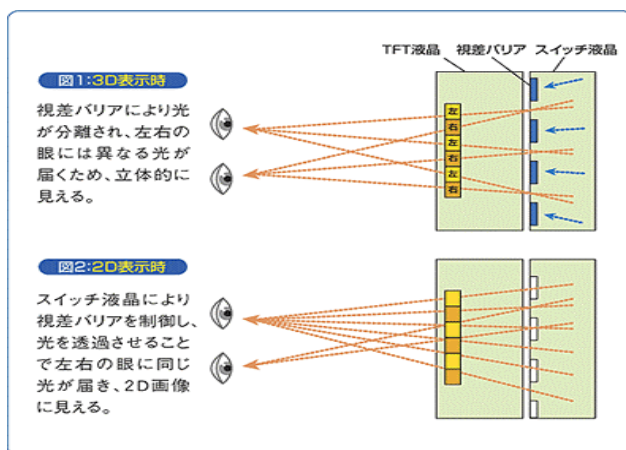


図 3.3.5 -1 視差バリア方式 3D 原理

図 3.3.5-2 2D⇔3D 表示

スイッチ液晶によって光学視差バリアを設け、光の進行方向を制御し、左右の眼に異なる映像を送る。そして、右眼用映像と左眼用映像を足し合わせた映像を、3D表示用映像



液晶カラーモニター  
<LL-151D>  
(画像はイメージです)

図 3.3.5-3 商品

として TFT 液晶ディスプレイに表示し、左右の眼に応じた映像が見える。また、スイッチ液晶によって視差バリアを電氣的に制御し、光を透過させることで、視差バリアによる光の分離を止め、同じ表示用コンテンツを左右の眼に送る。そうすれば、従来の 2D ディスプレイとしての表示もできる。その様子を図 3.3.5-2 に示す。実際 2D/3D 液晶を搭載した商品を図 3.3.5-3 に示す。

(西田修造)

#### 参考文献

- 1) “New Autostereoscopic Display System”, Ezra et al. SPIE Vol.2409 February 1995
- 2) “Flat Panel Autostereoscopic Displays-Characterisation and enhancement”, Woodgate et al. SPIE Vol. 3957, January 2000.
- 3) “Autostereoscopic Displays-Past and Future”, GB Kirby Meacham, SPIE Vol.624, 1986.
- 4) “Autostereoscopic Display”, GJ Woodgate et al. US Patent Application US6055013
- 5) “3D display Systems Hardware Research at SLE:an update”, Jacobs et al Sharp Technical journal August 1999.

### 3.3.6 東芝で開発している方式

本方式は写真を立体視するためのインテグラルフォトグラフィーと呼ばれる原理に基づいている。写真のかわりに電子ディスプレイを用い、さらに高精細化のために視差は水平方向のみに付与してあることから 1 次元のインテグラルイメージング方式<sup>1)</sup>と言える。視差数が多いため自然で見やすく疲れにくいのが特徴である。

3 次元仮想物体上の点は液晶ディスプレイの各画素からレンズなどの光線制御子を通じて出射する光線群により再生される。光線群は、特定の視距離で光線群が 1 点に集光するのではなく、画面水平方向の視差情報が平行投影により正しく与えられる設計としている。そのため、図 3.3.6-1 に示すような連続的な運動視差が観察可能である。

また、RGB サブ画素配列の工夫により水平解像度を 3 倍に高めることで高精細化と多視差化を同時に実現している。さらに光線方向のサンプリングを工夫することで観察距離に応じた最大の視域を確保するアルゴリズムを搭載している。仕様を表 3.3.6-1 に示す。

既存 CG コンテンツを 3D 動画コンテンツに変換したり、既存 CG モデルをリアルタイムに 3D 画像に変換する 3D コンテンツ開発ソフトウェアも揃えている。



左方から観察

中央から観察

右方から観察

図 3.3.6-1 観察位置に応じた連続的な運動視差

表 3.3.6-1 開発したシステムの仕様一覧

画面サイズ	対角20.8インチ	対角15.4インチ
視差数	32視差	18視差
画素数	300×800画素	300×400画素
輝度	160 cd/m <sup>2</sup>	150 cd/m <sup>2</sup>

(平山雄三)

#### 参考文献

- 1) 平和樹他:「1次元インテグラルイメージング方式3Dディスプレイシステムの開発」, 3次元画像コンファレンス2004講演論文集(2004) pp.21-24.

#### 3.3.7 日本電気で開発している方式

日本電気(NEC)は、HDDP(Horizontally Double-Density Pixels)構成という3D向け表示構造の開発とレンチキュラーレンズの組み合わせにより、精細度235ppiの3D表示を実現する携帯機器向けシステムオングラス<sup>(注)</sup>液晶ディスプレイを開発した。主な特長は以下の通りである。

- (1) 横ストライプのRGBカラー配置と縦長の長方形画素を用いて横方向の解像度を2倍にしたHDDP構成により、表示サイズ2.5型でVGA(640×480画素)という高密度画素(横470ppi×縦235ppi)を実現。
- (2) HDDP構成とレンチキュラーレンズの組み合わせにより、薄く簡単な構造で、従来の3D表示方式と比べて、明るく高精細な3D表示を実現。
- (3) 液晶画面への表示内容により2D表示と3D表示を切り替えられるため、2D表示画面中の任意の場所に3D表示を画素単位で混在して表示可能。

本3D液晶ディスプレイでは、HDDP構成とレンチキュラーレンズの組み合わせにより、3D表示の際に横方向解像度が2D表示に比べて半減したり、3D表示時に明るさが低下し

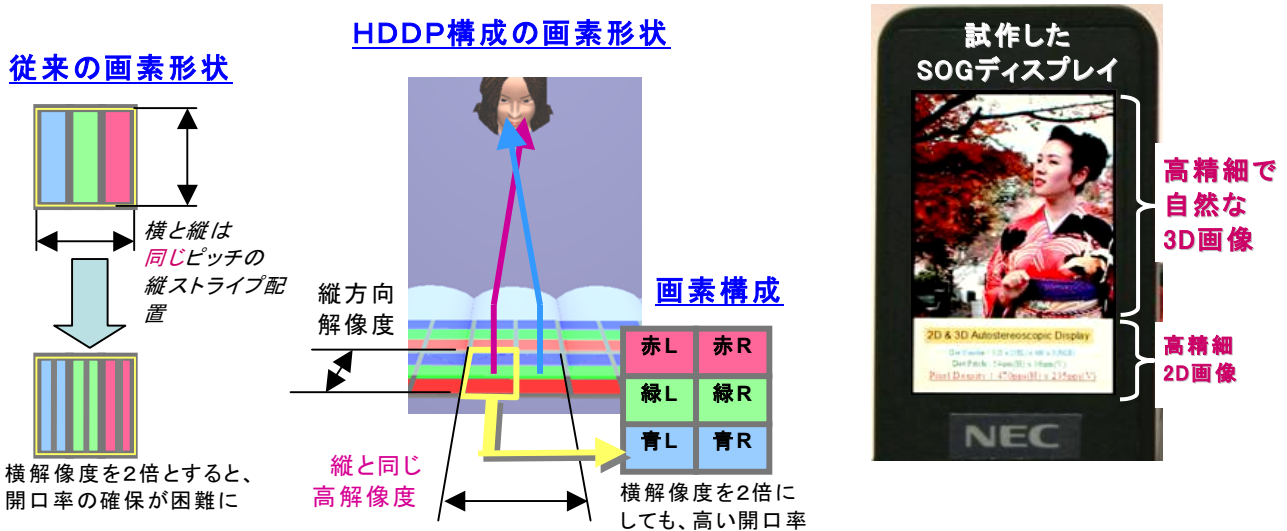


図3.3.7-1 HDDP構成による高解像度2D／3D表示の実現

たりするという課題を解決した。通常の液晶ディスプレイでは正方形である基本画素を、HDDP 構成では縦長の長方形とすることで横方向の解像度を縦方向に対して 2 倍の 470ppi とした。2D 画像の表示時には隣り合った 2 画素に同じ画像を表示することで、235ppi という高解像度の表示が可能である。3D 表示時には隣り合った 2 つの長方形画素に左右の目に対応する画像をそれぞれ表示することで、2D 表示と同じ 235ppi の解像度で立体画像を表示する。このため 2D／3D のスイッチ操作などは不要であり、コンテンツの選択のみにて画素単位で 2D／3D の混在表示を実現できる (図 3.3.7-1)。

(注) システムオンガラス： ガラス上に半導体システムを作りこむ技術

(高梨伸彰)

### 3.3.8 三菱電機で開発している方式

図 3.3.8-1 に三菱電機方式立体 LCD (スキャンバックライト立体 LCD) の基本コンセプトを示す。観察者の左右の目に、それぞれ、単独に光を照射できる 2 つの LED 光源をそなえたスキャンバックライトと、左右の視差画像を 120Hz で書き換えることのできる FFD 駆動技術 (Feed-Forward Drive) を用いた高速応答液晶パネルから構成される。

スキャンバックライト<sup>1)</sup>では、両面プリズムシートの内面全反射プリズム (TIR prism) の頂点に焦点を持つレンチキュラーレンズの働きにより、左の LED から出た光はパネルの前方左側に集光され、右の LED から出た光は右側に集光される。

図 3.3.8-2 に、本方式による立体 LCD<sup>2)</sup>の光学特性を示す。図中の白丸プロットは、

左視差画像を白画像、右視差画像を黒画像とした場合の輝度の左右方向角度分布である。黒丸プロットは白黒を入れ替えた場合である。観察者が正面から見た場合、観察者の左右の目はそれぞれ左右の視差画像を主に見るため、立体感が誘引される。観察者が立体視域から外れた斜めから見た場合は、左右の目に同じ視差画像が主に見えるため、平面画像に感じられる。観察者にとってストレスを与える2重像や凹凸逆転画像が正面近傍に現れないのが、本方式の最大の特長である。

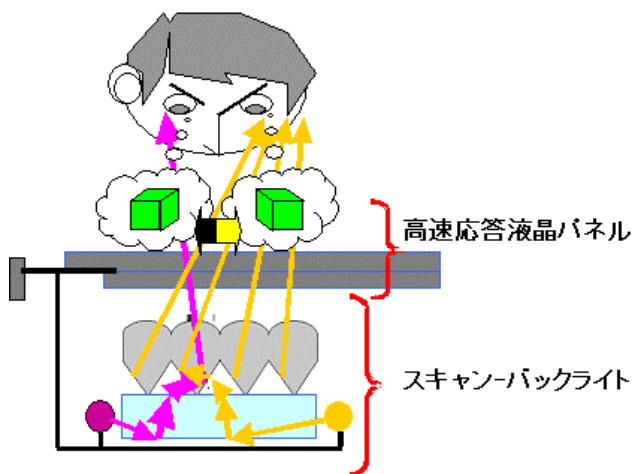


図 3.3.8-1 三菱電機方式のコンセプト図

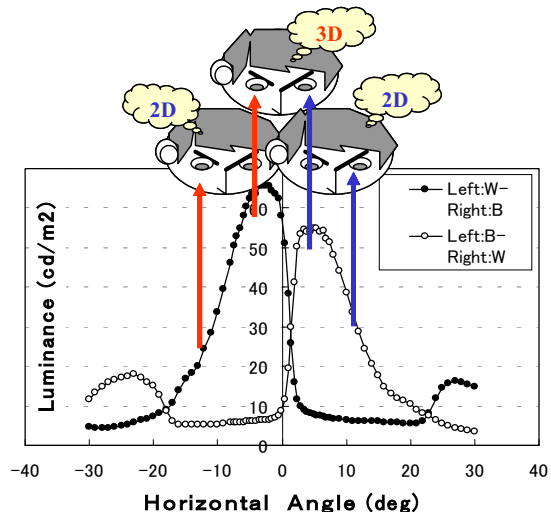


図 3.3.8-2 三菱電機方式の光学特性

(結城昭正)

参考文献

- 1) T. Sasagawa et. al.,SID '03 Digest(2003) p.399.
- 2) A. Yuuki et. al., Asia Display 04 Digest(2004) p .255.

3.4 超多眼立体映像表示

三次元ディスプレイの実用化を阻む問題点のひとつに「眼精疲労」がある。眼精疲労を軽減するための方法としては、コンテンツ側の工夫と、新しいハードウェアの開発のふたつのアプローチがある。前者は、結果として、立体効果の薄い三次元表示を行うことになる場合が多い。ここでは、より直接的なアプローチである後者について述べる。特に、最近の研究成果であり、日本発の技術である「超多眼表示」について述べる。



### 3.4.1 眼精疲労と超多眼表示

従来の二眼式立体表示では、ふたつの矛盾が存在する。ひとつは調節と輻輳の矛盾<sup>1)</sup>で、もうひとつは運動視差の欠如である。前者は眼精疲労を引き起こすと言われていて、後者は臨場感を低下させると言われている。ここでは、特に、人間に及ぼす影響が大きい前者について説明する。

二眼式立体表示では、左右の眼に異なる画像を表示することで観察者に立体感を与える。この場合、人間は、立体知覚の生理的要因のうち輻輳と両眼視差で立体感を得ることになる。輻輳は、三次元物体の一点を見たときの左右の眼の回転角をもとに、三角測量の原理で、奥行き距離を知覚する。両眼視差は、左右の眼の網膜像間での対応点の水平距離の違いをもとに、物体の前後関係を知覚する。他の立体知覚の生理的要因には、運動視差と調節がある。調節は、眼のレンズの焦点合わせ機能のことである。ご存知のように、人間の眼のレンズは可変焦点距離レンズになっていて、オートフォーカス機能を有している。したがって、立体映像観察時の眼の調節は、左右用の2枚の画像を表示しているディスプレイスクリーン上に合うことになる。

以上からわかるように、二眼式立体表示においては、輻輳と調節の矛盾が生じる。図 3.4-1 に示すように、輻輳は立体の提示位置に奥行きを知覚しているのに対して、調節はスクリーン上に合っている。両眼視差は主に物体の前後関係の把握に有効であるのに対して、輻輳は奥行き距離を知覚できるため、調節と輻輳の間の矛盾が問題になる。しかも、輻輳性調節といい、能が処理した輻輳に基づく物体の距離情報が眼のピント合わせである調節機能にフィードバックされる。このフィードバック信号と眼が独自にもつ調節機能の間に矛盾が生じるのである。この矛盾が眼精疲労の原因であると言われている。勿論、現実世界においてはこのような矛盾は生じない。

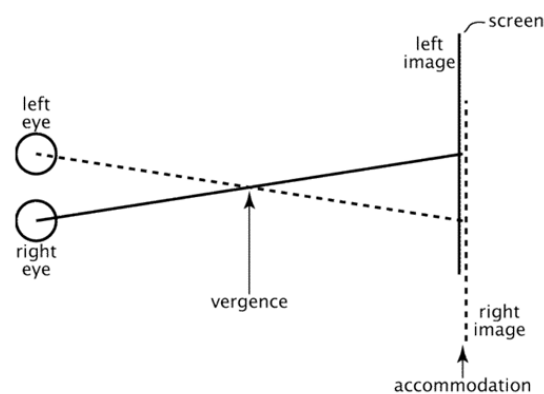


図 3.4-1 輻輳と調節の矛盾

眼精疲労には個人差があるが、俗に 10 分間映像と言われているように、長時間の鑑賞には適さない。特に、視機能の発達段階にある若年者に与える影響が危惧されている。

ちなみに、輻輳性調節については誤解が多いので、若干の補足を加える。二眼式立体表示観察時には、調節は常にスクリーン上にあるわけではない。輻輳性調節の効果により調節は弱いながらも変化するのである。ただし、調節が変化すると像がボケて見えるため、輻輳情報に対応するほど十分に調節を変化させることができない。すなわち、二眼式立体表示においては、輻輳情報に矛盾しないところまで調節が変化できないことが問題なのである。二眼式立体表示では調節がまったく変化しないかのような実験結果が示されることがあるが、実験条件にもよるが、信頼性は低い。

以上の輻輳と調節の矛盾は、二眼式立体表示に限らず、観察位置によって左右の眼に入る画像が切り替わる多眼式立体表示においても同様に生じる。ただし、多眼式立体表示では、運動視差の矛盾は解決される。しかし、視点数が十分でない場合には、視点の移動によって画像が不自然に切り替わって見える。

輻輳と調節の矛盾は、三次元映像に対して調節が機能しないことに原因がある。そこで、調節を機能させることを目的に考案されたのが超多眼表示である。多眼式三次元表示では眼を置く視点位置を空間に複数作り出し、それぞれの視点位置でその視点位置から三次元物体を見た画像である視差画像が見えるようにする。図 3.4-2 に示すように、視点位置を非常に多数作り出す。人間の瞳孔の大きさは直径 3~8 mm と言われているが、瞳の直径よりも小さい距離間隔で視点を発生させる。そうすると、同時に 2 つ以上の視差画像が瞳に入射するようになり、同図に示すように、三次元像に対してピント合わせが可能になる。なお、超多眼という考え方は、平成 4~平成 13 年度で通信放送機構 (TAO ; Telecommunications Advanced Organization of Japan) で行われた“高度立体動画像通信プロジェクト”で考案されたものである。

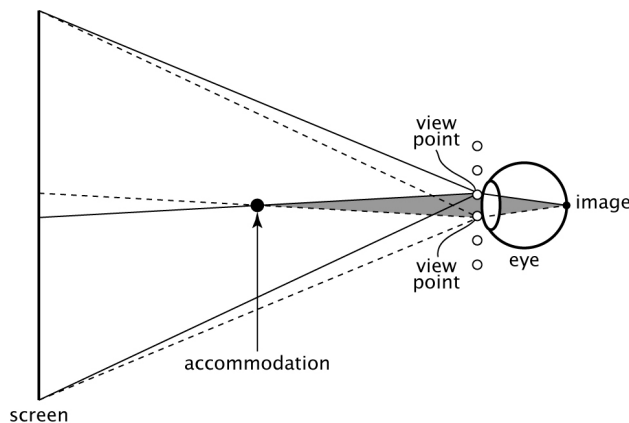


図 3.4-2 超多眼表示

### 3.4.2 FLA 方式

TAO で、超多眼表示を実現するために最初に用いられた方式である。図 3.4-3 に示すように、複数の光源からの光線が一点に集まるように円弧状に並べた FLA (Focused Light Array) と呼ばれる集束化光源列を用いる。図 3.4-4 に示すように、この集光点をスクリーン上で二次元走査することで、光源数と同じ数の視差画像を同時に表示できる。

試作されたシステムの仕様を表 3.4-1 に示す。個々の光源の変調周波数は数 MHz 程度で良いので、LD が用いられた。また、集光点をスクリーン上で二次元走査するためには、機械的走査が用いられた。具体的には、ポリゴンミラーとガルバノスキャナーが用いられた。得られた三次元像を図 3.4-5 に示す。

最初の試作システムでは単色表示であったが、フルカラーシステムの試作も試みられた。RGB 各色に対応して FLA が 3 つ用いられた。

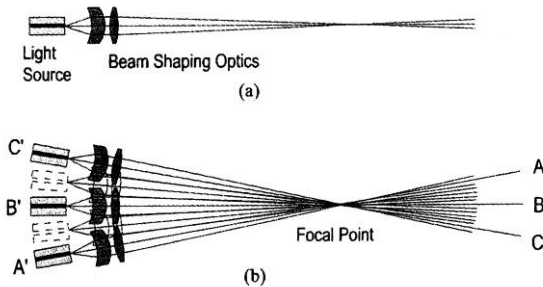


図 3.4-3 集束化光源列(FLA) <sup>2)</sup>

表 3.4-1 試作システムの仕様 <sup>2)</sup>

Model Name	FLA model 2
Light Source	LD
Horizontal Parallax Interval	0.5 deg
Horizontal Parallax Number	45
Horizontal Viewing Zone Angle	22.5 deg
Visual Field Width	185 mm
Visual Field Height	125 mm
Number of Pixels	400 (H) x 400 (V) pix
Refresh-rate	30 Hz
Case Dimensions	500 (W) x 530 (H) x 750 (D) mm

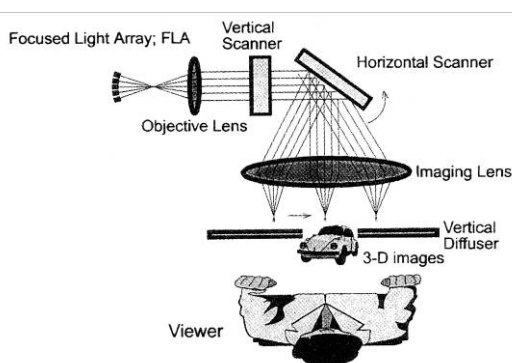


図 3.4-4 FLA 方式の概略図 <sup>2)</sup>

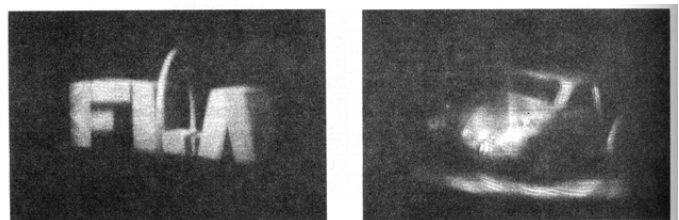


図 3.4-5 三次元像 <sup>2)</sup>

### 3.4.3 FAPO 方式

TAO で超多眼を実現するために用いられた第二のシステムである。図 3.4-6 に示すように、複数のプロジェクション光学系を扇形に配置する方式で、FAPO (Fan-like Array of Projection Optics) 方式と名づけられている。ひとつのプロジェクション光学系を用いて、ひとつの視点に対してひとつの視差画像を表示する。表示面が凹面鏡になっていて、その結像作用により複数のプロジェクション光学系の投影レンズの瞳を空間に複数結像することで複数の視点を発生する。

実際の試作システムで 2 mm 間隔で視点を生成することに成功している。また、視点を通して表示された画像の例を図 3.4-7 に示す。

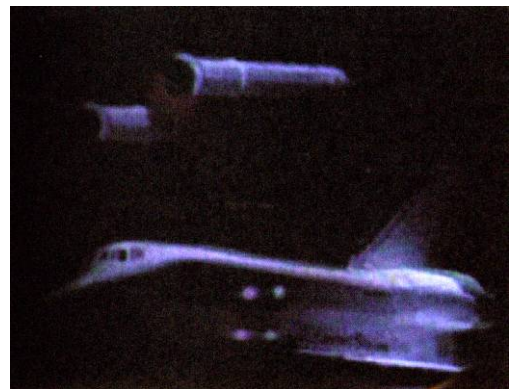
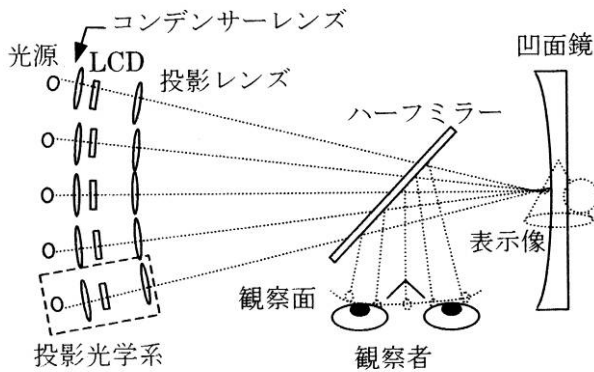


図 3.4-6 プロジェクション型多眼立体表示<sup>3)</sup>

図 3.4-7 三次元像<sup>3)</sup>

FAPO 方式を用いて、超多眼効果により輻輳と調節矛盾が解消されるか人間工学的な実験が行われた。調節と輻輳応答の測定結果を図 3.4-8 に示す。三次元像の表示位置によって、調節応答が変化することが示されている。

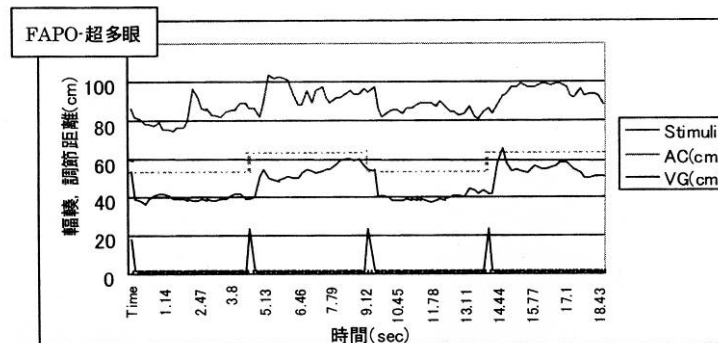


図 3.4-8 調節応答(Stimuli:刺激、AC:調節応答、VG:輻輳応答)<sup>3)</sup>

### 3.4.4 変形二次元配置による指向性画像表示

調節誘起を可能にする三次元像を表示する方式として、最近になって提案された方式が変形二次元配置を用いた方式である。これには、図 3.4-9 に示すプロジェクション型の構成方法と、図 3.4-10 に示す薄型の構成方法がある<sup>4,5)</sup>。

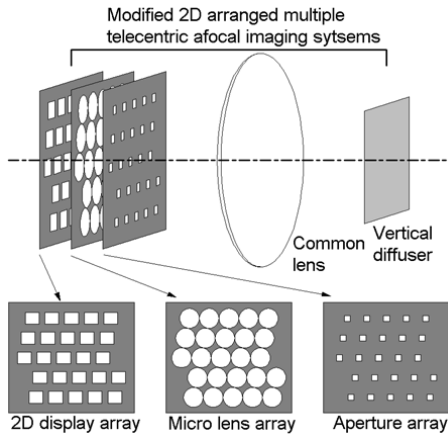


図 3.4-9 プロジェクション型構成方法

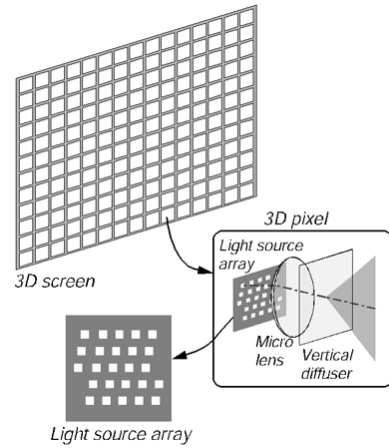


図 3.4-10 薄型構成方法

この方式では、視差画像ではなく指向性画像を表示する。指向性画像とは、三次元物体を特定方向へ平行投影した画像である。指向性画像を多数用意し、これらに対応する方向へ準平行光で表示する。図 3.4-11 に示すように、平行投影するため空間に特に視点を定めていないため、観察距離が限定されない。ただし、多数の指向性画像を表示する必要がある。

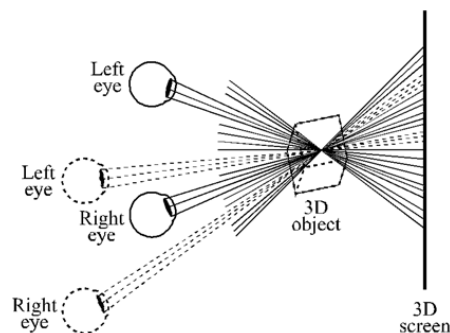


図 3.4-11 指向性画像高密度表示

調節応答を誘起するためには、空間の一点を通る光線が二本以上瞳に入射する必要がある。そのため、非常に小さな角度刻みで指向性画像を表示する必要がある。変形二次元配

置を用いた方法では、液晶パネルや光源を縦横に二次元配置することで、多数用いることを可能にする。さらに、これらを異なる水平方向に表示することで、水平方向に非常に小さな角度刻みで指向性画像を表示することを可能にしている。

試作システムの仕様を表 3.4-2 に示す。プロジェクション型システムの外観を図 3.4-12 に示す。薄型システムの外観を図 3.4-13 に示す。得られた三次元像の例を図 3.4-14 に示す。また、調節応答を測定した結果を図 3.4-15 に示す<sup>6)</sup>。

表 3.4-2 試作システムの仕様

	Type 1	Type 2	Type 3
構成法	プロジェクション型		薄型
指向性画像数	64	128	72
水平表示域	0.34°	0.23°	0.38°
水平表示角度ピッチ	21.6°	29.6°	27.4°
スクリーンサイズ	9.25 in.	13.2 in.	22.2 in.

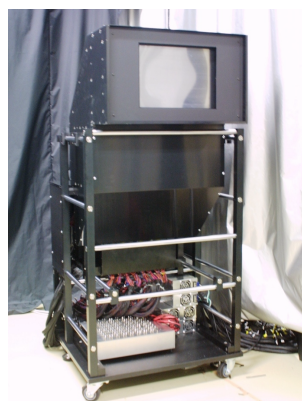


図 3.4-12 プロジェクションシステム外観(type 2) 図 3.4-13 薄型システム外観(type 3)

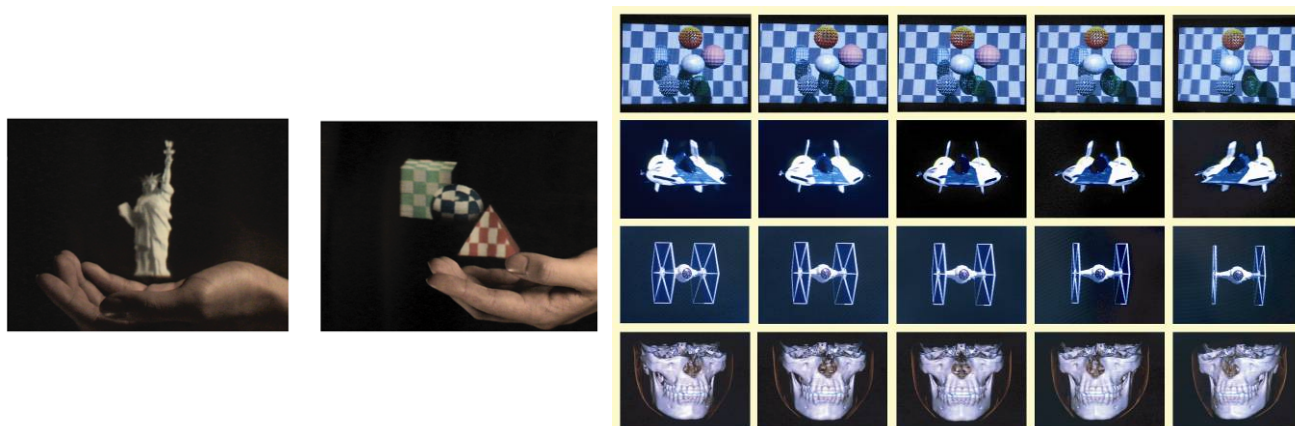


図 3.4-14 三次元像

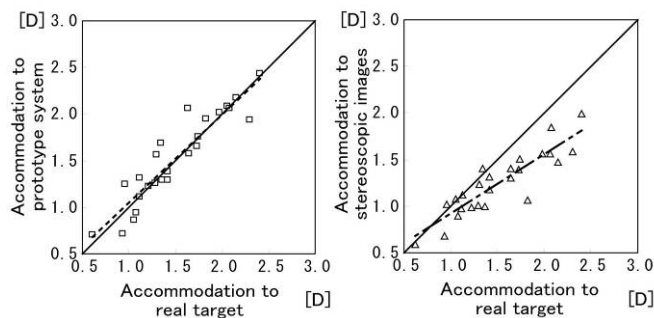


図 3.4-15 調節応答

(高木康博)

## 参考文献

- 1) 江本、他：“立体画像観視における両眼の輻湊と焦点調節の不一致と視覚疲労の関係”、映像情報メディア学会誌 Vol.56 No. 3 (2002.3)
- 2) 高度立体動画像通信プロジェクト最終報告書、通信・放送機構 (1997.9)
- 3) 高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト最終報告書、通信・放送機構 (2002.9)
- 4) 高木：“変形二次元配置した多重テレセントリック光学系を用いた三次元ディスプレイ”、映像情報メディア学会誌、Vol.57 No. 2 (2002.2)
- 5) 海老沢、他：72 指向性画像を有する薄型三次元ディスプレイ、3 次元画像コンファレンス 2004 論文集(2004.7)
- 6) 福富、他：“指向性画像の高密度表示を用いた 3 次元画像における調節応答”、映像情報メディア学会誌、Vol.58 No.1 (2004.1)

## 3.5 大型立体ディスプレイ

### 3.5.1 はじめに

立体映像表示装置の主要な目的は、イマーシブ、すなわち、鑑賞するユーザに対して、立体表示により、表示された映像空間に対して、高没入感を与えることである。実際我々は、3次元空間に生活しており、見るものは全て立体となっている。そして、立体表示のみならず、対象物体や情景が、大きさも、そのまま再現されればさらに没入感が高まることになる。このように大型映像立体表示システムをイマーシブプロジェクションシステムとよんでおり、各種のシステムが開発されている。

一方、イマーシブシステムの代表的な応用として、VR (Virtual Reality) システムがある。本来 “Virtual” という英語の意味は「本当の、真実の」の意味であるが、コンピュー

タが作り出した仮想の物体や極めて現実感の高い表示システムやその応用システムとして広く普及し始めており、身近な存在となりつつある。

このバーチャルリアリティは仮想現実とか仮想現実感とか訳され、一般的には CG 等で作成された仮想的な 3 次元空間内を HMD (Head Mounted Display) を装着して動き回るものとされている。この VR 空間の表示のための大型イマーシブシステムとして大型大画面や、PC クラスタを利用しネットワーク接続された立体多面表示を WALL タイプの平面上に配列したり、球面に配列したシステム、さらに、イリノイ大学で開発された CAVE (CAVE Automatic Virtual Enviroment) などがある (図 3.5.1-1 (a) ~ (d))。ここではそれらのイマーシブシステムについて紹介する。

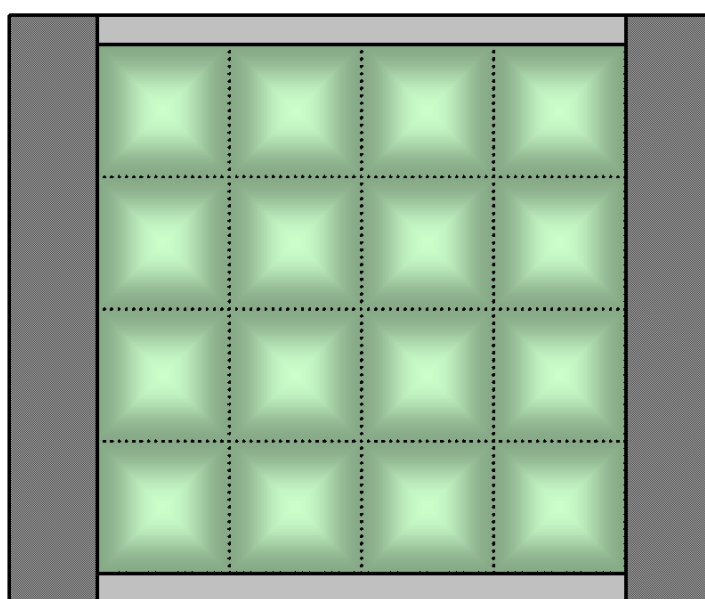


図 3.5.1-1 (a) 平面型

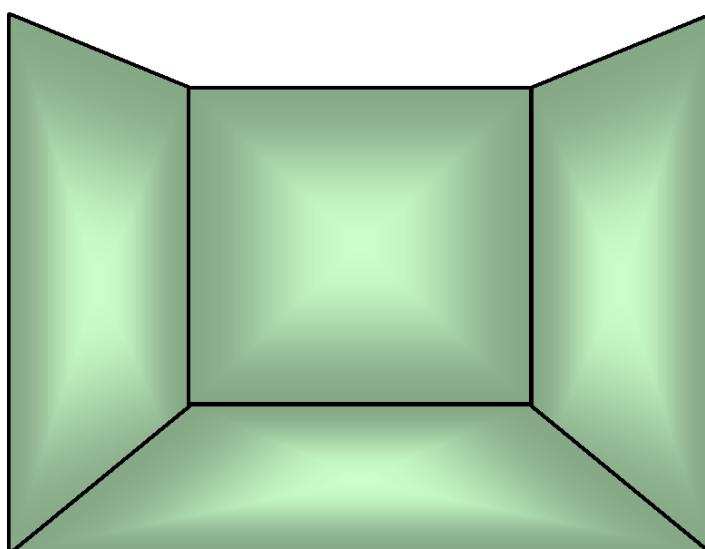


図 3.5.1-1 (b) CAVE 型



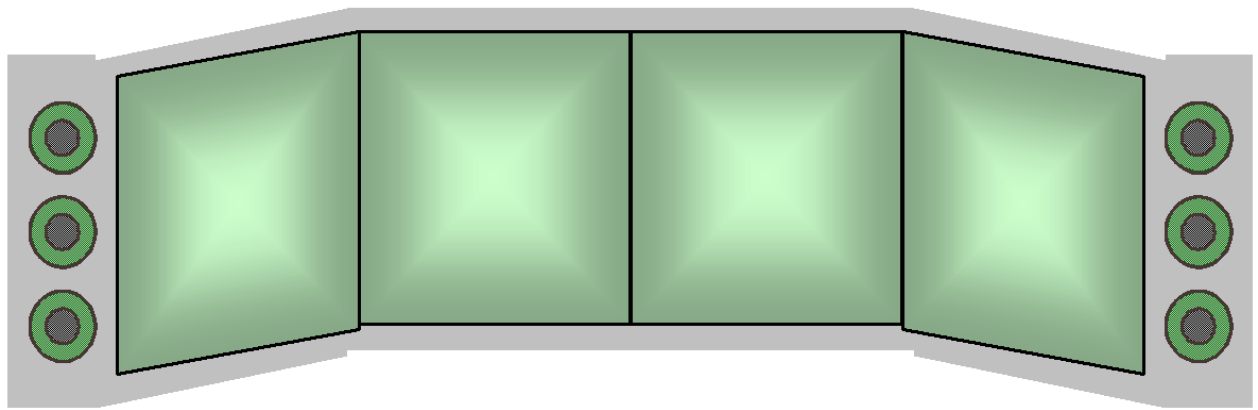


図 3.5.1-1 (c) 列配置型

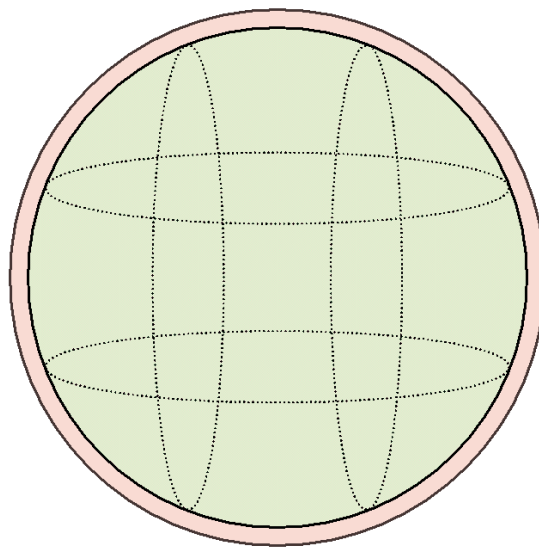


図 3.5.1-1 (d) 球面型

### 3.5.2 大型平面ディスプレイ

最も簡単な構成の大型立体映像表示システムは、図 3.5.1-1 (a) に示すような平面構成である。この場合、立体表示のためには、2 台の大型ディスプレイまたは時分割方式の場合は、1 台のディスプレイ表示ですむため広く利用されている。平面表示の利点としては、球形やアーチ型とは異なり、ディスプレイの歪みに対する修正が不要であり、高速の表示が可能となる。しかし 1 台では、解像度が、HD レベル(高々2 千本の走査線数)に限定されるため、大型表示では、高精細映像表示ができないという欠点がある。そこで、多数の平面ディスプレイを多数利用したクラスター型の大型平面表示システムが広く開発されている。図 3.5.2-1 はプリンストン大学で開発されている大型表示システムの例である。しか

し複数の平面ディスプレイを利用したクラスター型の場合は、各ディスプレイごとに明度や色特性が異なるためそのディスプレイ間の調整が必要となる。今後、平面ディスプレイは極めて安価に入手可能なため、立体表示ではない通常の2次元大型表示システムは、街角の広告や劇場における映像表示など広く普及することが期待されている。



図 3.5.2-1 プリンストン大学の多面ディスプレイ表示システム

### 3.5.3 CAVE 型ディスプレイ

CAVE は現代に蘇る洞窟とも呼ばれ、実写映像の大型映像システムとしても将来有望なシステムとなっている。以下に CAVE の特徴について示す。

- (1) 多人数参加型の VR 空間
- (2) 4 面～6 面の高精細大型映像システム
- (3) 実時間 3D 立体空間の創成
- (4) 6 軸位置入力システムによる高性能対話性
- (5) 3 次元オーディオ環境

- (1) の特徴の多人数参加型とは、CAVE が 3m×3m×高さ 2~3m の立方体形状の空間となっており、HMD の装着による VR システムでは 1 人の参加型であるが、ここでは、外部と遮断された部屋の中で 5~6 人が同時に VR 空間を共有できる構成となっているのが特徴である（図 3.5.3-1 参照）。
- (2) の特徴では高精細大型映像が投影可能であり、通常、解像度 1280×1024 の映像を 4 面~6 面が同時に投影可能である。則ち、150 インチの背面投影型の NTSC、SVGA さらにハイビジョン対応の高精細ディスプレイを 4 台使用し、正面、左右の側面および床面に投影されることになる。
- (3) の特徴の実時間 3D 立体空間とは、例えば、液晶シャッターメガネを利用し、120Hz の時分割方式によりちらつきのない立体表示が可能となっている。
- (4) の特徴の 6 軸位置入力システムによる高性能対話性とは、CAVE が、IMAX 等の単なる大型映像と根本的に異なる所は、映像と体験者との対話性にある、例えば、6 自由度（X,Y,Z.,Pitch,Yaw,Roll）でポヒマスと呼ばれる小さな検出器を手に持ち、帽子に付着させて VR 映像に対して各種の操作が実時間で実行可能である。
- (5) の特徴の 3 次元オーディオ環境とは、CAVE の周りに配置されたスピーカーによる 8 チャンネルの立体音響システムのことであり、本システムにより映像のみならず、音響効果を併用することより、さらに現実感が高まることになる。

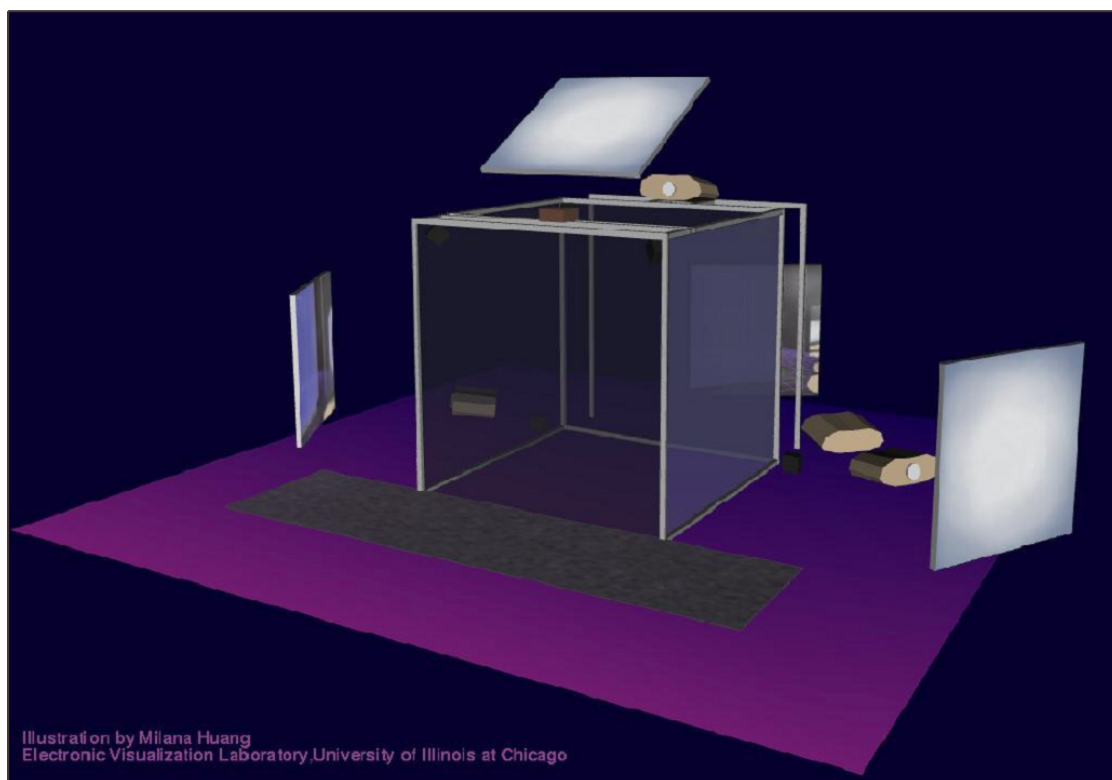


図 3.5.3-1 CAVE システムの構成例

現在、国内でも、既に数多くの CAVE システムが導入され、様々な研究が行われている。

例えば、1996年7月、東京工業大学 VBL (Venture Business Laboratory)が CAVE clone を導入した (図 3.5.3-1 参照)。ここでは、高速グラフィックワークステーションによる映像生成だけではなく、将来の汎用的な IPD として利用が可能なシステムの構築を検討するために、パーソナルコンピュータによる映像生成の検討が行えるシステムになっている。また東京大学 IML(Inteligent Modeling Laboratory)では、床面を含めた5面に映像投影可能で、映像が体験者を覆う多面型全天周ディスプレイ CABIN(Computer Augmented Booth for Image Navigation)を開発し、多面型ディスプレイの特性評価を行っている。

(中嶋正之)

### 3.5.4 球面ディスプレイ

プロジェクタでスクリーンに映像投影を行う際には、映像の生成はある一つの視点に追従して成される。従って、複数人で映像を見る場合、例えば前述の CAVE 型ディスプレイにおいては、スクリーン面にたとえ直線が投影されていたとしても、視点追従が正しくない体験者からは、スクリーンのつなぎ目を頂点として、折れ曲がった2本の線分として知覚されることになる。これに対して、球面形状のスクリーンを用いると、スクリーン面の曲率が一定であるため、視点追従が正しくない位置から見ても、映像の歪みはスクリーン面全体に渡って現れ、直線が特定の部分で折れ曲って見えるということではなく、複数人で見る際でも、CAVE 方式と比較して違和感の少ない映像提示が可能である。

その反面、球面スクリーンを用いることで、さまざまな制約や困難が生じる。まず、プロジェクタが体験者の邪魔にならないようにするにはリアプロジェクションが望ましいが、球面スクリーンの場合には、リアプロジェクションでは鮮明な映像提示が行うことが難しい。プロジェクタに対峙した球面スクリーンの中央部と周辺部ではプロジェクタからの距離が異なることや、光の入射角が異なることから、周辺部では映像がぼやけたり暗くなるということが生じるためである。このことは、大型球面スクリーンに対してマルチプロジェクションを行う際にはさらに問題となる。したがって、フロントプロジェクションを行うことになるが、この場合には、体験者自身が投影の邪魔(影)にならないようにするために、プロジェクタを球面スクリーンの径の中心部ではなく、周辺部に配置する必要が生じる。このため、球面形状のスクリーンに投影すること自身で生じる映像の歪みに加えて、スクリーン面に対して斜めから投影することで生じる映像の歪みという二重の歪みが発生する。この複雑な映像歪みの補正手段を実現しないと、たとえ視点追従が正しい位置から

映像を見ても歪んだ映像しか見ることができなくなる。

球面形状のスクリーンにプロジェクタで映像を投影するディスプレイシステムには、筑波大学の **Ensphered Vision**<sup>1)</sup>、米国エルーメンズ社の **VisionDome** および **VisionStation**<sup>2)</sup>、五藤光学研究所の臨場館<sup>3)</sup>、松下電工の **CyberDome**<sup>4),5)</sup>、さらには、平面スクリーンと曲面スクリーンを組み合わせた東京工業大学の **D-Vision**<sup>6)</sup>などがあるが、球面形状のスクリーンを用いることで生じる上述の困難さ故に、ほとんどのシステムはモノラルの映像提示に留まっており、歪みの無い立体映像提示を実現しているものは極めて限られている。以下では、球面スクリーンに歪みのない立体映像提示ができるシステムの代表的な事例として、**CyberDome** について紹介する。

**CyberDome** は、半球面スクリーンを用いた偏光方式立体映像提示システムである。前述の複雑な歪み補正は、特殊なレンズや電氣的な手段によっても実現できるが、それらは一般的に高価になり、しかもスクリーンの大きさが変わる場合には、新たに設計し直す必要がある。これに対して、**CyberDome** では、ソフトウェア（アルゴリズム）によって歪み補正を実現している。すなわち、予め歪みの逆補正マッピングパターンを作成し、映像提示時に毎秒 30 回映像を更新する際に、本マッピングパターンを使用した歪み補正をリアルタイムに行って映像を提示する（図 3.5.4-1 参照）。本歪み補正アルゴリズムでは、半球面スクリーンの径、体験者の視点位置、プロジェクタの投影位置などをパラメータにして、映像マッピングパターンが生成できるため、小型から大型まで任意サイズの球面スクリーンに対応することが可能となっている（図 3.5.4-2 参照）。



図 3.5.4-1 歪み補正と映像提示



図 3.5.4-2 スケーラブルな映像提示環境

標準的な構成は、図 3.5.4-2 の中の **CyberDome1800** である。内径 1.8m の半球面シルバースクリーン、2 台の液晶プロジェクタ、3 台の PC、平面鏡で構成され、左目用右目用の映像描画を 2 台の PC に分担させることで PC の描画性能を最大限に活用し、それらの映像同期を 3 台目の PC によってネットワーク管理するという構成を取っている。最適視点位置から見たとき、視野角は水平方向 140°、垂直方向 90°である。

図 3.5.4-2 の中の **CyberDome8500** は、20 人程度が同時に体験できる大型システムである。内径約 8.5m の半球面シルバースクリーン、液晶プロジェクタ 18 台、各プロジェクタ

の映像を生成する PC18 台、映像同期管理を行う PC1 台、その他、コンテンツ用データベース PC、インタラクション用の操作デバイスとその管理用 PC、シミュレーションサーバ PC などで構成され、すべての PC は LAN 環境によって接続されている。最適視点位置から見たとき、視野角は水平方向 180°、垂直方向 150°である。

径の大きい半球面スクリーンに明るく高精細な映像提示を行うには、マルチプロジェクションが必要となる。CyberDome8500 では、映像領域を 3×3 の 9 つの面に分割して、片眼用に水平 3 台×垂直 3 台の計 9 台のプロジェクタを用い、左右両眼用として全体で合計 18 台のプロジェクタを使用している。9 つの面のそれぞれへの映像提示には、前述の映像提示歪み補正アルゴリズムが用いられている。

このようマルチプロジェクションでは、個々の映像領域における映像提示歪み補正に加えて、隣接するプロジェクタの表示映像の境界部分を繋ぎ合わせるブレンディング処理が必要となる。すなわち、境界部分で単純にプロジェクタからの投影映像を重ねると、光量が増え明るく輝くことになる。そこで、球面スクリーン故に生じる複雑な形状の映像境界部分を正確に特定(図 3.5.4-3 参照)して輝度傾斜を与え、これを輝度分布として保存し、映像提示時に歪み補正と輝度分布の重畳を全てリアルタイムでソフトウェアによって行い、シームレスで歪みの無い映像提示を実現している。映像提示例を図 3.5.4-4 に示す。

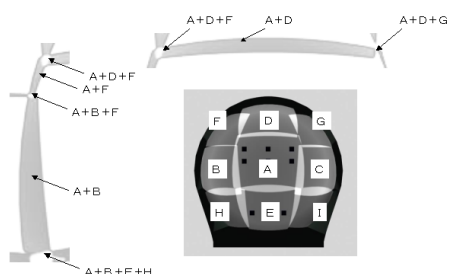


図 3.5.4-3 境界部分の特定とブレンディング

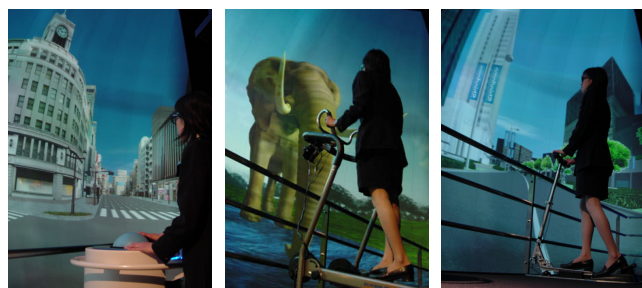


図 3.5.4-4 CyberDome8500 の映像提示例

(澤田一哉)

#### 参考文献

- 1) 橋本、岩田：凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ：Ensphered Vision 日本バーチャリアリティ学会論文誌 Vol.4 No.3 p.479-486 (1999)
- 2) <http://www.elumens.com/>
- 3) <http://www.goto.co.jp>
- 4) 澤田：半球スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイシステム：CyberDome 平成

15 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集 pp.227-232 (2003)

- 5) 柴野、澤田、竹村：マルチプロジェクタを用いたスケーラブル大型ドームディスプレイ CyberDome の開発 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.9 No.3 (2004)
- 6) 橋本、長谷川、佐藤：Hybrid 型スクリーンを用いたマルチプロジェクションディスプレイ 第 18 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集 pp.227-232 (2003)

### 3.5.5 おわりに

ここでは、立体大型映像表示システムの各種構成について紹介した。今後、立体表示ディスプレイの普及とともに様々な応用が期待されている。最後に、主な応用を以下に列挙しておく。

#### (1) アミューズメント分野

VR 関連のゲームが将来有望であり、大型立体映像表示を利用したアミューズメントが開発されている。

- ・アーケードゲーム
- ・対話進行型の新しいゲーム（新シアター）
- ・遠隔地との対戦ゲーム

#### (2) サイエンスビジュアライゼーションの分野

複雑な科学の分野における現象のビジュアライゼーションに有効である。具体的に以下の応用が考えられる。

- ・流体解析・風洞実験、天文学、環境科学、海洋学、地震学、分子設計・分子構造学、生態学
- ・地理、地形のモデリング

#### (3) デザイン分野

建築、土木の分野のみならずエンジニアの分野での各種のデザインの補助に応用可能。

- ・車の外部、内部のデザイン、建築物の多角的解析、検討、建築プレビュー、インテリアデザイン、モデルルーム、スペース計画、遠隔共同デザイン作業、検討

#### (4) 医用、医療分野

より高い現実感を利用した医用関連の応用がある。

- ・人体解剖学、手術シミュレーション、トレーニング、心理テスト、治療

#### (5) その他以下に示す多くの応用が考えられる

- ・マーケティング関連

製品企画、市場調査等

- ・各種トレーニング

宇宙ステーションの模擬組立、危険物や場所のトレーニング

従来の小型のディスプレイ装置に比べ、高い臨場感を備えたディスプレイとして大型立体装置は注目されているが、画像の呈示精度、周辺デバイスの操作性や計測精度、体験者に与える心理的・生理的な影響など、まだまだ解決すべき課題が山積みされている。

(中嶋正之)

### 3.6 その他の技術

第Ⅱ章では先端技術にフォーカスしたため、これまでは最新の内容についてのみ述べた。しかし、以上では述べることのできなかつた重要な技術が他にもあるので、ここでは、これらについて説明する。

#### 3.6.1 偏光眼鏡方式

偏光眼鏡方式は、所謂、眼鏡あり二眼式立体表示方式である。観察者は、左右の眼に直交する偏光を透過する偏光子を対応させた眼鏡を装着する。左眼用と右眼用の画像を用意し、眼鏡に対応して直交する偏光をそれぞれに与えて表示する。

図 3.6-1 に示すように、画像の表示にプロジェクターを用いる方法が昔からよく用いられている<sup>1)</sup>。右眼用と左眼用に 2 台のプロジェクターを用意する。スクリーンは偏光保存スクリーンになっている。眼鏡ありでプロジェクターを用いる他の方式としては、時分割方式がある。時分割方式ではプロジェクターは一台でよいが、フレームレートが 120 Hz 以上のプロジェクターを用いる必要があり CRT 方式のプロジェクターを用いる必要がある。これに対して、偏光方式では、プロジェクターのフレームレートは 60 Hz でよく液晶



プロジェクターを用いることができる。眼精疲労や運動視差がないなどの従来の二眼式立体表示の問題点はそのままであるが、大画面を多人数で安価に観察できる点に特徴があり、いまだにアミューズメント施設や VR 用途でよく用いられる。

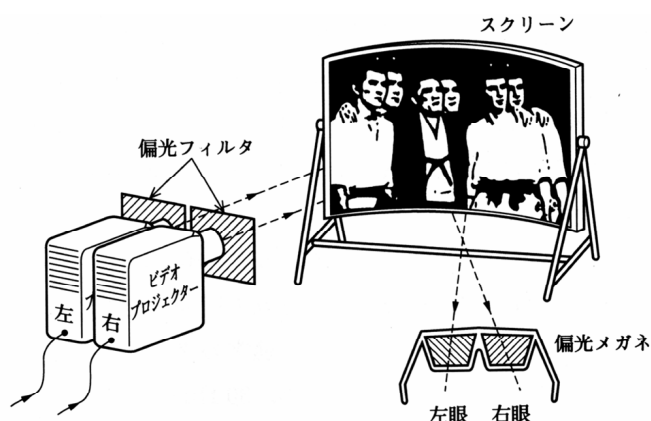


図 3.6-1 偏光方式立体表示（プロジェクター型）<sup>1)</sup>

液晶ディスプレイにマイクロポールと呼ばれる特殊な偏光板を貼り付けることで、偏光眼鏡方式の立体表示を実現する方法が実用化されている<sup>2)</sup>。マイクロポールとは、図 3.6-2 に示すように、液晶ディスプレイの 1 ライン毎に偏光方向が直交するストライプ状の偏光子を組み合わせたものである。液晶ディスプレイにマイクロポールを貼り付けて、奇数ラインと偶数ラインで右眼用画像と左眼用画像を表示する。観察者は、偏光眼鏡を装着して立体映像を観察する。レンチキュラー方式やパララックスバリア方式では、左右眼用の画像を垂直ラインに分割して合成するのに対して、水平ラインに分割して合成する。このため、逆立体視は水平方向には発生しないが、垂直方向に逆立体視が発生することになる。

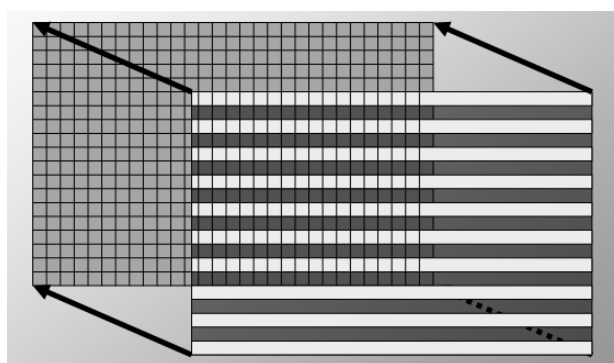


図 3.6-2 マイクロポールを用いた偏光方式立体表示<sup>2)</sup>

### 3.6.2 体積方式

二眼式立体表示や多眼式三次元表示では視点位置をサンプリングするのに対して、表示

する三次元像自体を空間的にサンプリングするのが体積方式である。図 3.6-3 に初期に提案された体積方式を示す。空間内でスクリーンを回転させて、画像をつぎつぎに表示していく。スクリーンを高速に回転させると、残像効果により、奥行きをもった三次元像として知覚されるようになる。他には、図 3.6-4 に示すバリフォーカルミラーと呼ばれる可変焦点距離レンズを用いたものも提案されている<sup>3)</sup>。これは、焦点距離を高速に変化できるレンズを用いて、ディスプレイを結像する像面を前後に高速に移動させる方式である。

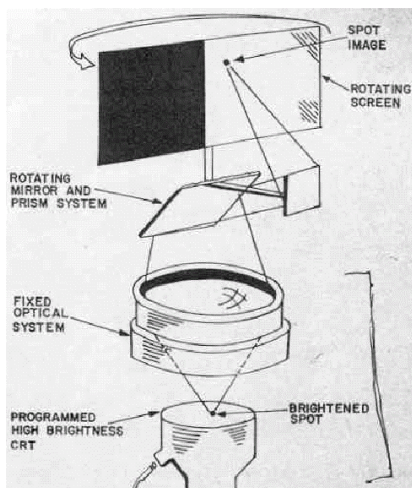


図 3.6-3 体積方式  
(回転スクリーン方式)

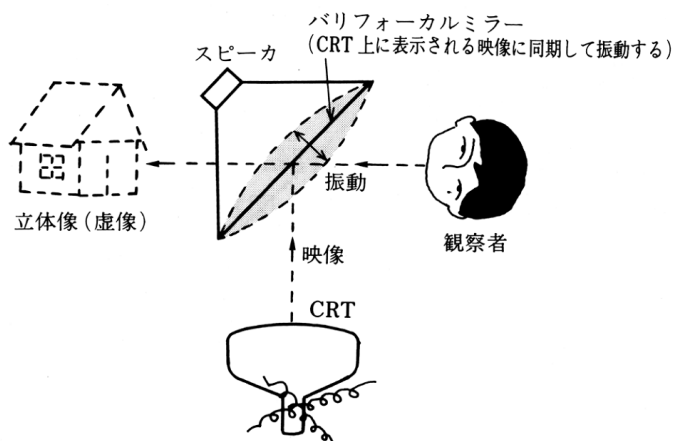


図 3.6-4 体積方式  
(バリフォーカルミラー方式<sup>3)</sup>)

体積方式を実現する上でキーとなるのが、高速移動するスクリーンと高フレームレートの画像表示装置である。後者に関しては、最近になり、DLP方式の表示デバイスを利用することで実現が可能になってきている。DLP方式では微小なミラーで光を高速にオンオフし、オン時間の長さで階調表現を行っている。したがって、階調数を減らすことで、フレームレートを上げることができる。

図 3.6-5 は、最近実用化された Perspecta<sup>4)</sup>と呼ばれる三次元ディスプレイである。回転スクリーンを採用することで、スクリーンの高速移動を実現している。全周表示が可能で、一周で 198 枚の画像を表示し、階調数は各色 2 階調の 8 色である。画像表示には DLP 方式のプロジェクターを用いる。スクリーンサイズは直径 10 インチである。

図 3.6-6 は、最近になり商品化された液晶スクリーン方式<sup>5)</sup>である。散乱モードをもつ PSCT (Polymer Stabilized Cholesteric Texture) 液晶をスクリーンとして使い、奥行き方向に並べた液晶パネルの散乱と透過を次々に切り替えながら、対応した画像を DLP 方式のプロジェクターで表示する。全体は 20 枚の液晶スクリーンで構成され、各色 5 ビットの 3 色表示が可能である。光の透過方向に多数の液晶スクリーンが並ぶため液晶スクリ

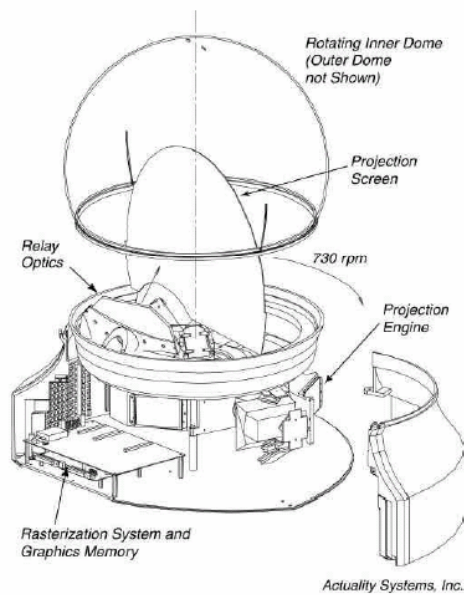


図 3.6-5 回転スクリーン方式<sup>4)</sup>

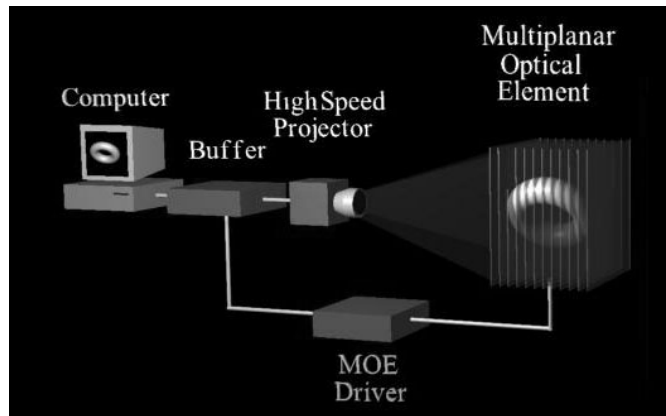


図 3.6-6 液晶スクリーン方式<sup>5)</sup>

ーンの透過率が重要になるが、透過率 95 %以上のものが開発されている。

体積型三次元表示では、ちらつきを感じない十分なスクリーンの移動速度が得られれば、眼精疲労の問題は原理的に生じない。ただし、図 3.6-5 の方式では 360 度表示が可能であるが物体の裏が透けて見える。また、図 3.6-6 の方式では、物体の裏面を表示しないことでこの問題を回避できるが、視点を横に動かすと側面に何も表示されない部分が見える。このように、体積方式では原理的な問題としてオクルージョンの問題がある。また、光線がスクリーンで拡散されるため、物体表面での指向性反射である光沢感の表現が難しい。したがって、質感表現に問題があり高品位な画像表示には向かない。

### 3.6.3 全周表示方式

体積方式ではないが、全周表示を行う **Transpost** と名付けられたシステム<sup>6)</sup>が提案されている。図 3.6-7 に原理図を示す。下部に設置した液晶プロジェクターで、24 枚の画像を円周上に並べた画像として表示する。24 枚の画像は、まず天板の鏡で反射され、つぎに、回転スクリーンの周りに設置された 24 枚のミラーで反射され、中心部の回転スクリーンに向けて異なる水平方向から表示される。回転スクリーンは再帰性反射スクリーンになっていて、水平 24 方向に画像が表示される。再帰性反射スクリーンを用いるため、眼には視点位置に応じた一枚の画像しか見えないので、体積方式のようなオクルージョンの問題は生じない。左右の眼に異なる映像を表示する点で体積方式とは原理的に異なる。被写体

を 24 方向から撮影する専用の撮影システムも開発されていて、このシステムで撮影した映像を液晶プロジェクターに送信して、リアルタイムに実写を表示できるようになっている。ただし、水平表示の角度ピッチが大きいいため、左右の眼に異なる映像が見えるためには、回転スクリーンの近くで観察する必要がある。

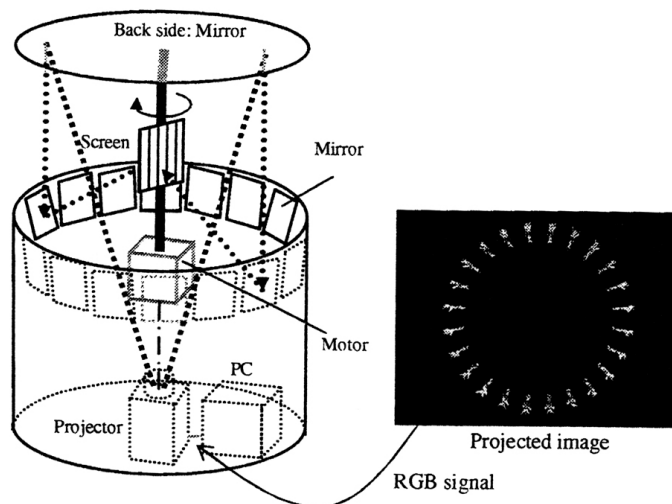


図 3.6-7 Transpost<sup>6)</sup>

バーチャルリアリティ用に、回転中心に観察者が入り、その周囲 360 度に立体映像を表示することで、観察者に高い臨場感を与える Twister と呼ばれるシステム<sup>7)</sup>が作製されている。図 3.6-8 に示すように、観察者を取り囲む円筒表面を、複数の垂直 LED アレイが回転する。このような光源の走査と残像効果で全周画像の表示を実現する。さらに、観察者との間に円筒状のパラックスバリアを設置することで、観察者の右眼と左眼に入る画像を分離して表示可能にし、立体表示を実現する。基本的に二眼式立体表示であるため、体積方式のようなオクルージョンの問題は生じない。

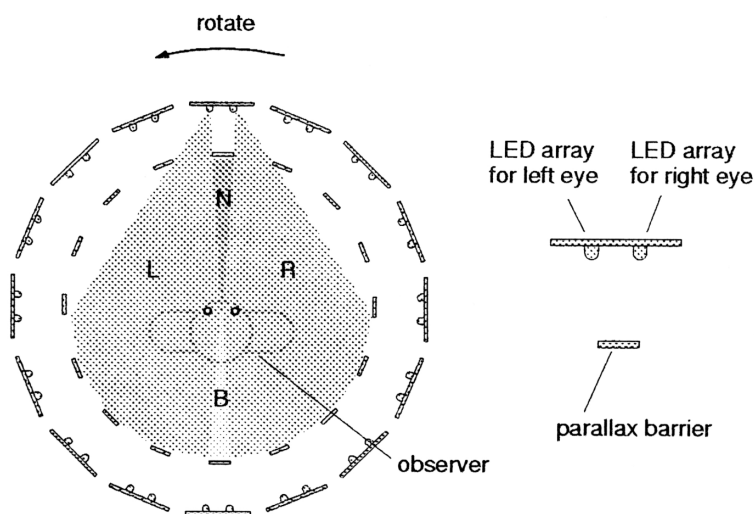


図 3.6-8 Twister<sup>7)</sup>

### 3.6.4 空中像方式

厳密には立体像、あるいは三次元像とは言えないが、立体表示に分類されることがあるものに空中像方式がある。これは、二次元ディスプレイに表示した二次元画像を結像系により何もない空間に結像する方式である。したがって、表示している画像はあくまで二次元画像である。このように空間に二次元画像を表示することで立体感を与えるのが空中像方式である。主に画面の枠をなくすることで、人間が心理的要因により感じる立体感を増強していると考えられることができる。

空中像方式は、従来は結像系に大きなレンズが必要であったが、最近になり、図 3.6-9 に示すように、ロッドレンズアレイを用いたコンパクトな光学系が提案されている<sup>8)</sup>。これは、個々のロッドレンズが正立像を結像するようになっていて、これらの正立像が集まることで、全体の正立像を与える。

この方式では、心理的な要因のみで立体感を得るために、表示する二次元画像は心理的な要因を十分に考慮したものでなくてはならない。当然、奥行き知覚は不可能なため、用途はアミューズメント用や宣伝用などに限られる。逆に言えば、このような方式で低価格で効果的に立体感を与えることができるのであれば、実は正確な立体知覚を必要としないこれらの用途には有効なのかもしれない。

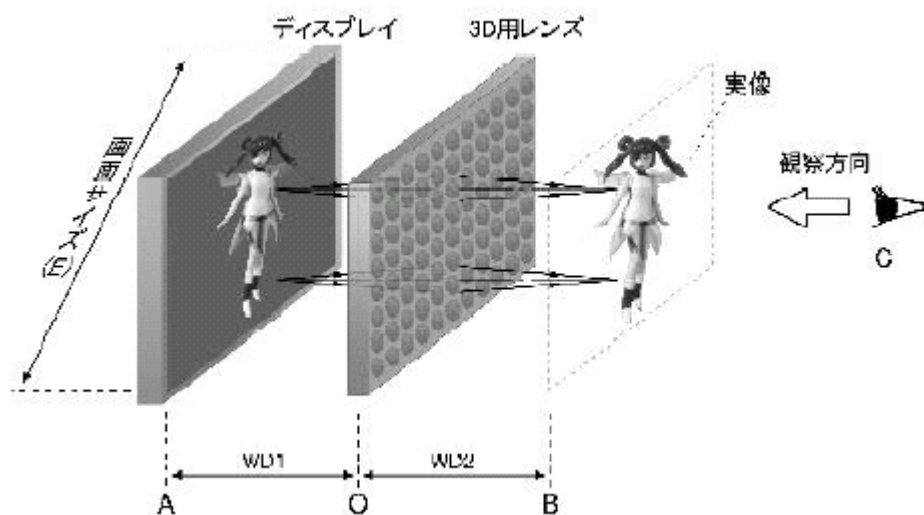


図 3.6-9 空中像方式<sup>8)</sup>

### 3.6.5 三次元印刷・出版

以上、ディスプレイ技術を中心に述べてきたが、三次元印刷・出版は三次元表示技術の当初から用いられていて、現在ではひとつの産業分野を形成するに至っている。これにつ

いては、第Ⅲ章 5 節で詳しく述べてある。

(高木康博)

参考文献

- 1) 3次元画像と人間の科学 原島博監修 オーム社
- 2) <http://www.arisawa.co.jp>
- 3) 3次元映像の基礎 泉武博監修 オーム社
- 4) G. E. Favalora, et. al.: Cockpit Displays IX: Displays for Defense Applications (of the SPIE's 16th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls) (also see <http://www.actuality-systems.com/>)
- 5) A. Sullivan, SID 03 (2003) p.359 (also <http://www.lightspacetech.com/>)
- 6) R. Otsuka, et. al.: SPIE vol.5599 (2004), 56
- 7) 田中、他 : 3次元画像コンファレンス 2003 講演論文集 217
- 8) 石川大 : PIONEER R&D Vol.12 No.3 47

### 第Ⅲ章 立体映像の利用分野

1	製造分野における立体映像の利用 -----	73
2	ロボット分野における立体映像の利用 -----	79
3	医療分野における立体映像の利用 -----	86
4	土木・建築系シミュレーション分野における立体映像の利用 -----	92
5	印刷・出版分野における立体映像の利用 -----	100
6	その他の分野における立体映像の利用 -----	113

## 第Ⅲ章 立体映像の利用分野

### 1 製造分野における立体映像の利用

#### 1.1 はじめに

わが国の製造業における立体映像の利用に対する要望は強い。その理由は、製品の企画設計だけでなく生産設備設計、生産、メンテナンスなど製造に関わる広範な分野において時間短縮や品質向上の効果が期待できるからである。例えば、企画設計段階においては、製品形状の外観設計や組立性などの事前評価、CAE (Computer Aided Engineering) などによる流体や挙動の解析結果の立体映像化によって、より直感的かつ統合的な情報を企画担当や設計者が得ることができ、短期間で高品位な新製品創出への寄与が期待できる。

しかしながら、現時点では、プラント、自動車、家電業界などわが国製造業の日々の設計業務や生産ラインに於いて、立体映像機能が広範囲に利用される段階にまでは至っていない。その理由として、

- (a) 多くの設計製造支援ソフトウェアの立体映像機能が未整備であること
- (b) 立体映像装置が比較的高価格であること
- (c) 長時間作業による作業員への影響が未解明であること

などが挙げられることが多い。

一方、先進的企業や研究機関においては、立体映像活用の試みは多く行われており、業務で活用されている例もある。本章では、これらの試みの例を広範囲に紹介し、立体映像の製造業における利用の方向性を示す。

#### 1.2 立体映像利用の取り組み

##### 1.2.1 企画設計段階における取り組み

初期の設計・企画段階において、立体映像機器および活用システムの効果は、対象とする製品（部品）のイメージや姿を自社企画担当者や役員、また客先の担当者に、早い段階で実際の製品と同等のイメージを提供できることにある。例えば、図 1-1 に示す半透明な自動車製品では、雲などの映り込みを伴った具体的な完成イメージを立体映像として提供することで、単なる画像データだけでは得られないリアリティを持った製品のイメージを



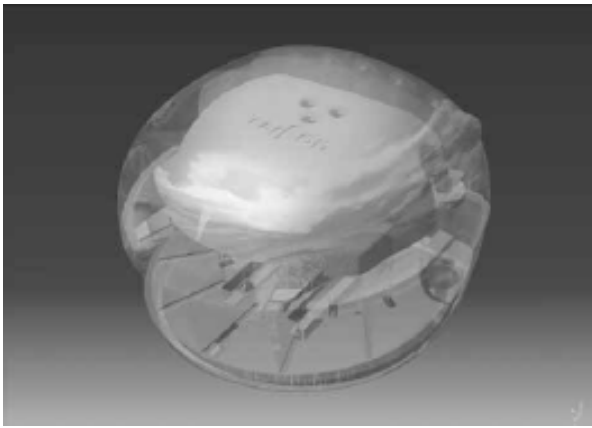


図 1-1 自動車製品完成イメージ

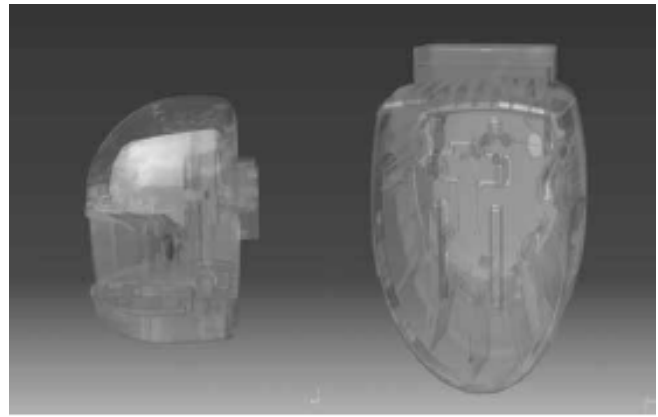


図 1-2 自動車製品の部品イメージ

提供することが可能になっている。従来であれば、試作品を数種類作成する必要があったが、立体映像を利用することで、複数の企画・設計案を早い段階で比較検討することができ、試作コストの低減と設計期間の短縮が達成できる。また、同じ製品の部品を図 1-2 のように取り出して、その動作を含めた、製品のより詳細な情報を示すことができる。

設計段階においては、CAD（Computer Aided Design； 計算機援用設計）システム連動して立体映像を得られるシステムが開発され、自動車・家電・航空機の設計分野で利用が開始されている。

図 1-3 は、世界で最も利用されている CAD システムである、CATIA Version5（フランス、ダッソー社）<sup>1)</sup> で、携帯電話を設計している例である。当該 CAD システムでは、簡単な操作で、通常の平面的な表示と立体表示を切り替える機能を持っている。このため、立体映像が可能なディスプレイ装置を使用することで、立体映像による製品設計が可能になる。このような設計支援システムを利用することで、組立部品の配置設計時における部品間の空隙（クリアランス）状況の把握など、設計情報の理解が容易になり、設計期間の短縮効果が期待される（図 1-4）。



図 1-3 携帯電話の設計 CAD 画面

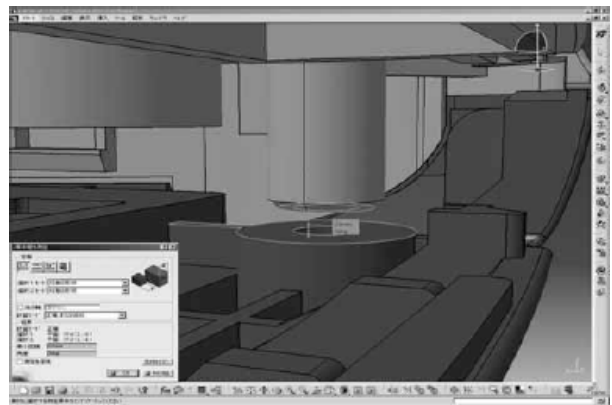


図 1-4 部品間の空隙測定

今日、自動車、航空機などの設計作業は、海外を含む多くの設計者が共同して行う作業となっている。この共同設計作業において重要なことは、日々更新されている最新の設計情報を効果的に共有することである。立体映像機能は、この設計情報の共有において効果的である。従来のディスプレイ装置では得られなかった遠近感や没入感によって、正確な空間情報を伝達できるからである。さらに、設計情報は設計者間のみならず、生産技術者とも設計の初期段階で共有することが多くなっている。立体映像機能の空間情報の表現力は設備設計、設備の操作性の検証においてより有効に働く。このため、設計段階における立体映像装置の役割は益々増加するものと予想される。

特に、フライスルー (fly through) と呼ばれる、設計データの中に、あたかも入り込むように見える機能は従来のディスプレイの操作画面でも利用されていたが、これを立体映像として表示すると、前後関係が自然に把握されるため、製品形状の把握やそれらの組立性を理解する上で、効果的である。

図 1-5 は、携帯電話の設計データに対して、このフライスルー操作を行っている例である。画面を (a) から (c) の順序で、携帯電話の内部を連続的に示したものである。

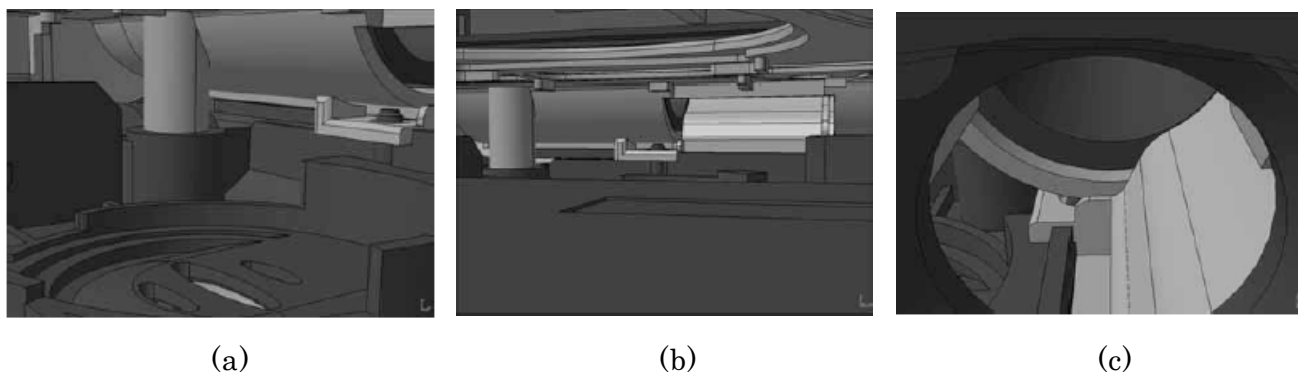


図1-5 携帯電話のフライスルー表示例

### 1.2.2 生産準備段階における取り組み

生産準備段階においては、金型などの生産設備の設計、ロボットを含めた生産ラインの設計、さらに現場作業者の作業シミュレーションなどの事前検討における役割が期待されている。これらの設計や検討においては、設備や部材の干渉の有無など、空間的な配置の検討が重要な要素である。さらに、ロボットや人間の作業設計や検討において、対象物の動的な表現が必要である。これら空間的な表現において、立体映像装置による可視化は、従来のディスプレイ装置とは比較できないほどの表現力を有している。

また、金属や樹脂の流体解析など CAE の計算結果や、機構解析・動作シミュレーションの可視化においても有効である。従来、これら可視化には別々のソフトウェアが必要であった。現在では、これらを立体映像として重ね合わせ表示することで、作業者の理解が容易になり、欠陥予測などの事前評価への有効性が期待されている。将来的には、CAD、CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE やその他のシミュレーションを同一の環境で表示・利用するだけでなく、それらを動的に連携して、統合的な評価、調整を行う設計環境が整い、立体映像装置の役割は不可欠のものとなることが予想される。

図 1-6 では、携帯電話の金型設計において、製品の設計データ、樹脂の注入口を含む金型の設計データ、金型の動作シミュレーションデータを連動した例である。

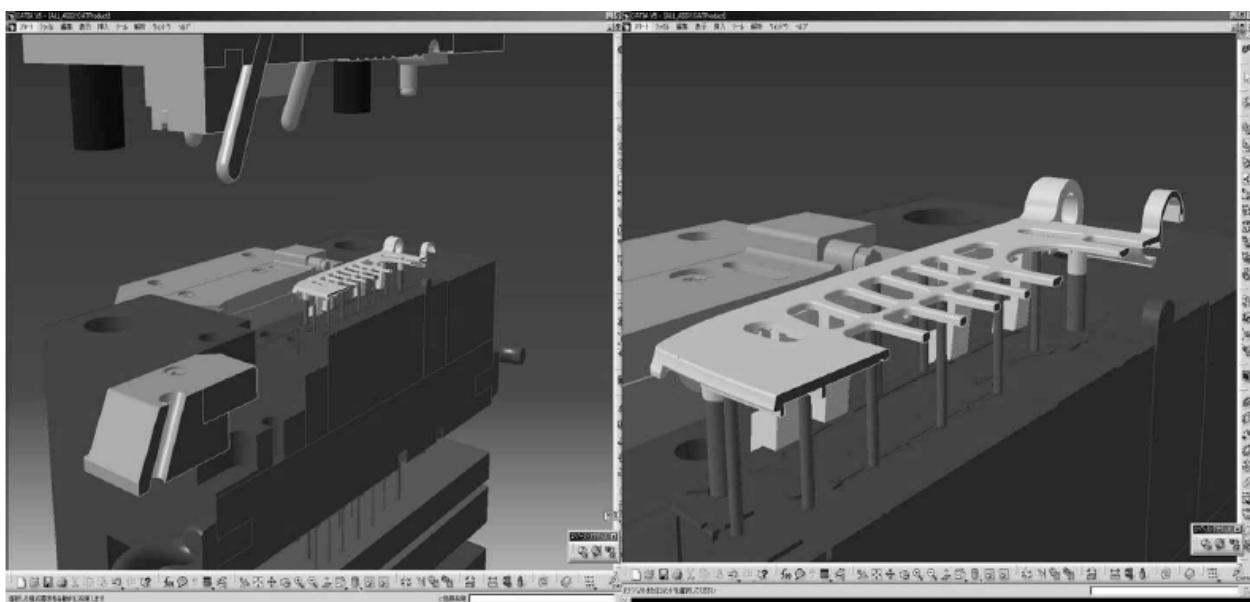


図 1-6 携帯電話の金型の動作と樹脂注入口の設計に立体映像を利用した例

### 1.2.3 生産段階における取り組み

生産段階においては、作業習熟の迅速化、設備操作の習熟支援など、現場作業者の育成支援システムのインターフェースとして、立体映像装置が期待されている<sup>2)</sup>。新人作業者の育成は、研修、実習、OJT (On the Job Training) といった手順で実施されることが多い。立体映像装置を利用した、育成支援システムが完備されれば、これらを一貫したバーチャル環境で実施することができ、新人を短時間で正規配置することが可能になる。また、このような育成支援システムでは、事故や不具合発生時の対応など、実際には行えない訓練を実施できるメリットもある。

原子力プラントなどでは、これらの操作習熟のシステムが研究開発されている。自動車

などの一般の製造業においても、作業習熟支援の分野で立体映像装置の利用が進むことが予想されている。

また、新人作業員教育だけでなく、実際の組立作業への立体映像装置利用も始まっている。米国ボーイング社では、配線作業で AR (Augmented Reality) 機能を持つ立体映像装置を装着した作業員が、その立体映像装置に写し出される指示にしたがって作業を行う取り組みが行われている (図 1-7)。

#### 1.2.4 メンテナンス段階における取り組み

航空機、自動車、家電製品やプラントなど、修理や部品の交換が必要な製品・設備のメンテナンス作業においては、故障情報や整備マニュアル、また、分解・組立の順序やその際の注意事項など多量な情報への参照と理解が必要であるため、時間のかかる作業となっている。また、これらの作業ができる習熟した作業員を育成するためにも多くの時間が必要となるため、早期育成のための方策が求められている。

現実世界の部品と設計情報によるバーチャルな部品などを立体映像装置により重ね合わせる AR 機能を利用すれば、設計データの検索・表示および整備マニュアルや故障情報など関連情報を重ねて表示することができるため、非熟練作業員でも、質の高いメンテナンス作業を行うことができる。

この分野は、米国の軍や航空機関係を中心に研究開発と実装が行われている。図 1-8 はコロンビア大学の研究例である。コピー機器とバーチャルなトレイ部品の情報 (ワイヤー表示) を同時表示して、メンテナンスを支援している。わが国においても今後の利用拡大が予想される分野である。



図 1-7 米国ボーイング社における生産段階における取り組み例<sup>3)</sup>

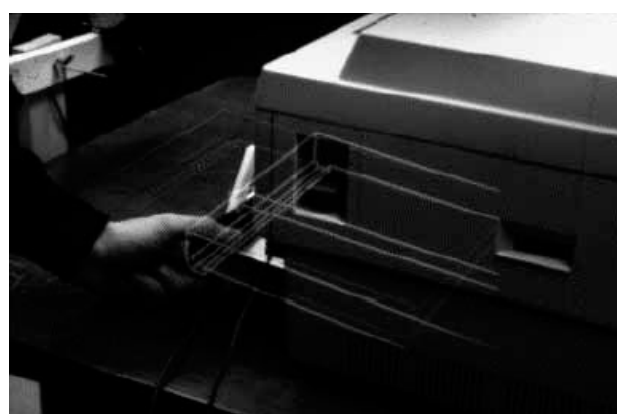


図 1-8 コピー機器メンテナンスへの取り組み(米国コロンビア大学)<sup>4)</sup>

### 1.3 おわりに

本章で取り上げた取り組み例からも、製造業の広範な分野において立体映像装置への具体的な要求があることがわかる。今後、1.1 で述べた諸課題が解決の方向に向かうことにより、期待される製造業における立体映像装置の市場は、次のように予測される。

- (1) 企画設計段階では、従来の三次元 CAD ソフトウェアの立体表示機能を利用して、立体映像装置の普及が予想される。矢野経済研究所の国内の主な三次元機械系 CAD /CAM/CAE のソフトウェア売り上げ統計<sup>5)</sup>によると、2001 年が 757 億（シート数<sup>注)</sup> 約 58,000）から 2002 年には 870 億（シート数約 67,000）である。ここ数年、売り上げが急増しており、現在では、1,000 億（10 万シート）を超えているものと予想される。これらの三次元 CAD /CAM/CAE システムの表示装置は、順次、立体映像機能をもった表示装置に代替されて行くものと予想される。
- (2) 生産準備からメンテナンスの段階では、新規支援ソフトウェアと AR 機能などの立体映像装置が組み合わせされたシステムとして利用が進むことが予想される。これらの市場は萌芽状態のため、現在の時点でその規模を予測することは困難だが潜在的な需要は大きい。

注) シート数とは、主にソフトウェア販売企業が用いる用語で、ソフトウェアの利用数のこと。利用端末を固定する場合と、端末を固定せず同時に利用できる端末数を限定する方法（フローティング・ライセンス）がある。概ね、そのソフトウェアを利用できる端末数に相当する。

（松木則夫）

#### 参考文献

- 1) <http://www.3ds.com/jp/products-solutions/brands/CATIA/>
- 2) 「自動車生産工程への情報通信技術適用拡大可能性に関する調査研究」新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 平成 13 年 3 月（社）自動車技術会
- 3) [http://www.boeing.com/assocproducts/art/tech\\_focus.html](http://www.boeing.com/assocproducts/art/tech_focus.html)
- 4) <http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/karma/karma.html>
- 5) 2002 年版 CAD /CAM/CAE システム市場の中期展望 （株）矢野経済研究所

## 2 ロボット分野における立体映像の利用

### 2.1 はじめに

ロボットは人間に代わって種々の作業を実行でき、多くの産業分野で製品組立・搬送や塗装などに導入されてきた。また、原子炉など危険な領域や森林・土木建設現場などでの過酷な作業を代行することで人を支援する産業応用や、医用・福祉・パーソナルロボットなど人間に接触する対人サービス・人間共存ロボットの市場が立ち上がりつつある。

組立・搬送・塗装などはあらかじめ教示した動作の繰り返しで実行するため自動動作が容易であり、多くの産業で実用化が進んできた。一方後者では一回限りの動作が多く、人間の操作によりロボットを駆動する遠隔操作が適している。遠隔操作にはロボットに搭載したカメラからの画像の利用が有効である。特に三次元環境で操作するため、立体映像の活用は環境の把握を容易とし、作業効率を向上させることができる。

本章では、今後市場形成が進むと考えられる遠隔操作型ロボットや訓練シミュレータへの立体映像の応用実例をまとめる。各事例で使用された立体映像系の仕様をまとめ、本分野への立体映像表示適用の際の要求の特徴と課題を概観する。

### 2.2 産業分野のロボット応用への立体映像表示系適用事例

#### 2.2.1 原子力防災支援システム<sup>1)</sup>における遠隔制御装置

1999年9月に起きた東海村JCO臨界事故を教訓に、原子力災害の拡大防止や収束作業を支援するために国のプロジェクトとして「原子力防災支援プロジェクト」が実施され、各種原子力防災支援作業のためのロボットシステムが開発された。ここでは、「作業環境の把握」「災害収束支援作業」「復旧作業支援」などを対象作業とし、立体映像の利用が可能な遠隔操作端末を用いて操作する実証試験によりロボットシステムの性能が確認された。

本プロジェクトにおいて日立製作所が開発した小型軽作業用ロボットシステムを図2-1に示す。原子力関連施設の狭隘な災害現場を移動し、復旧作業を支援することを目的とする。マルチビジョン（立体視とツール先端カメラ）の利用により作業性を向上できる点が特徴である。ロボットの移動操作に立体映像を活用し、細かい作業にはツール先端カメラからの映像を利用する。立体カメラおよび立体映像表示系の仕様を表2-1に示す。



図 2-1 小型軽作業ロボット SWAN と遠隔制御装置（出典：日立製作所ホームページ）

表 2-1 立体映像系の仕様

カメラ	モニタ
画素数：カラー38万画素 オートフォーカス レンズ：5.4～64.8mm F1.8 12倍ズーム 水平画角：48.8°～4.3° 立体撮像方式：フィールドシーケンシャル方式	形態：ゴーグル式 ヘッドマウントディスプレイ 立体表示方式：液晶シャッター

## 2.2.2 土木無人化施工ロボット

雲仙普賢岳の災害復旧工事や北海道有珠山の災害現場などにおいて、安全な場所から遠隔操作する無人建設重機を（株）フジタが開発している<sup>2)</sup>。遠隔操作では、遠隔監視システムの役割が大きい。雲仙普賢岳の災害復旧工事では運転席内部に設置した立体カメラからの映像を操作室に無線装置で飛ばし、立体映像をオペレーターが見ながら遠隔操作した<sup>3)</sup>。

課題は火山灰等の粉塵や振動に対する電子機器の保護と無線通信手段である。粉塵を防ぐため防塵性を高めると排熱の問題が生じる。操作する場所と中継基地の通信は簡易無線、中継基地と無人重機の間は免許の要らない特定小電力無線を使用する使い分けにより、数キロメートル離れた場所からの超遠隔操作を実現した（図 2-2）。

立体映像系の課題は、距離感の把握は容易であるものの視界が狭い点と映像関係の機械や無線装置が複雑になる点にある。現在では施工エリア全体や無人重機を外部から見るための移動型カメラロボットを数台導入して映像情報を用いることが主流となっている。

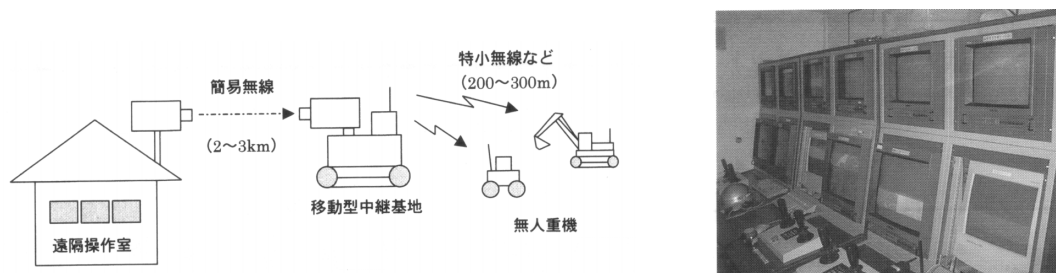


図 2-2 長距離無線システムと映像監視システム<sup>2)</sup>

### 2.2.3 消火ロボット<sup>4)</sup>

三菱重工業が東京消防庁に納入した消火ロボットは立体視ができる雲台を備え、水が染み出す不燃ホースをほぐしながら進行し、ホースに沿わせた光ファイバで通信する(図 2-3)。操縦は LCD モニタを備えた可搬式遠隔操作卓による。ヘッドマウントディスプレイで前方を立体視認しながら前進できる。放水のため操縦部とはホースで接続されており、光ファイバによる有線映像伝送が可能のため高品質の立体映像を利用できる点が特長である。狭隘部を通り抜ける際や火点との距離感覚が得やすいなど、高品質な立体映像の利用により、遠隔操作の操作性が向上している。



図 2-3 「消火ロボット」(出典：東京消防庁ホームページ)

### 2.2.4 高性能林業機械訓練シミュレータ<sup>5)</sup>

NEC は林野庁と(社)林業機械化協会からの委託を受けて、森林空間での立木の伐倒・丸太生産作業が疑似体験できる、高性能林業機械の本格的な訓練用シミュレータ開発した。実機による危険な作業を伴うことなく安全かつ効果的に高性能林業機械のオペレータ養成を実施できる。本シミュレータでは、林業作業用自走式作業機械や立木などの挙動を物理モデル化して動力学演算と立体映像生成処理を実時間で演算する。林業作業で最も困難な伐木・丸太生産作業をリアルな立体映像を見ながら安全に繰り返し疑似体験できる。

対象作業が立ち木のため 2 台の立体プロジェクタを縦につなげ、大型縦長スクリーン(幅 2.4m、高さ 3.6m)に林業環境を立体映像で投影する。上下方向に大きな視野の立体映像により、初心者にもわかりやすい操作感が得られ、訓練の効率を向上させることができた。立体映像系の仕様を表 2-2 に、システム全体の構成と表示映像例を図 2-4 に示す。

表 2-2 立体映像系の仕様

表示画面	
投射方式：	投射型 3 管式プロジェクタ (2 台)
画面サイズ：	113 インチ 2 面縦型スクリーン
解像度：	1024×768 画素以上/面 (立体視時)
立体表示方式：	時分割液晶シャッター眼鏡方式



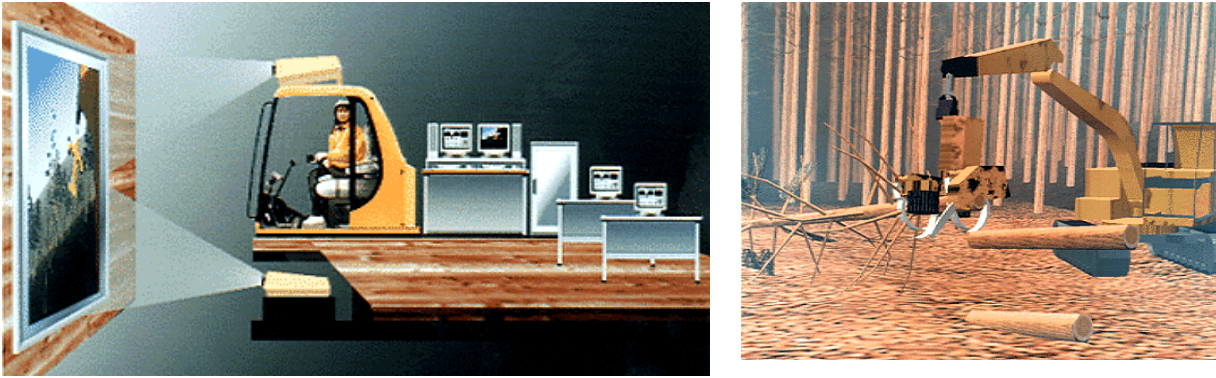


図 2-4 高性能林業機械訓練シミュレータ全体構成と表示映像例<sup>5)</sup>

## 2.3 対人サービス・人間共存ロボット応用への立体映像表示系適用事例

### 2.3.1 人間協調・共存型ロボットシステムプロジェクト遠隔操縦システム<sup>6)</sup>

1998年度から5年間、経済産業省／新エネルギー産業技術総合開発機構の「人間協調・共存型ロボットシステム研究開発（HRP）」において、人間型ロボットハードウェア、遠隔操作装置、ソフトウェアプラットフォームが開発された。遠隔操作装置としては、ロボットに搭載したステレオカメラからの立体映像や力情報を提示するスーパーコックピットが開発された。仕様を表 2-3 に、機器構成と使用の様子を図 2-5 に示す。

歩行操作にはスーパーコックピットの包囲型ディスプレイを使用する。正面、左右、下方の計4面にはロボットに搭載した広視野角カメラの立体画像を投影し、操作者はロボットの中にある様な高度の臨場感で移動を操作できる。左下には操作メニュー、右下には第三者視点からのロボットの位置・姿勢や周囲環境を提示する。

立体映像表示系としてヘッドトラッキング付きヘッドマウントディスプレイ（HMD）も利用できる。移動には包囲型ディスプレイの広域画像を使用し、ハンドによる作業操作には HMD を使う。作業時にはアームとハンドから触力覚情報がフィードバックされ、操作者は物を掴んだり押したりする感覚を感じながら手腕操作を実行できる。

立体映像を移動ロボット操作へ利用する際、広い範囲の移動には水平方向の広視野立体映像と下方視野像が特に重要であり、細かい作業の操作には HMD による立体映像と手先からの力感覚のフィードバックの組み合わせが有効であることが示された。

表 2-3 広視野角カメラと包囲型ディスプレイの仕様

広視野角カメラ	包囲型ディスプレイ
視野角：150°(H)×78°(V) (上方 19°、下方 59°)	形状：9面多面体(球面の接平面近似) 中心法線が一点で交叉
角度分解能：6'23" (視力 0.16 相当)	視野角：150°(H)×117°(V)
カメラ台数：8台 (各カメラ群 4台)	解像度：2'56" (視力 0.34 相当)
視間距離：65mm	提示面までの距離：約 1.3m
その他：カメラ同士の主点は一致	立体表示方式：偏光方式(円偏光)



図 2-5 スーパーコックピットの構成と使用の様子

### 2.3.2 医用手術支援ロボット<sup>7)</sup>

患者に優しい低侵襲治療を求めて、外科治療が変わろうとしている。手術支援ロボットを内視鏡的治療に用いることで確実・安全な手術を支援する。小さな傷口で従来と同等またはそれ以上の治療効果で病気を治し、患者の早期社会復帰を図るものである。

代表的なマスタースレーブ型の手術支援ロボットに米国 Intuitive Surgical 社製の「ゼウス(Zeus)」と「ダビンチ(da Vinci)」がある。ゼウスは、術者は操作部から偏光眼鏡により患部を三次元映像で見ながら内視鏡把持ロボット・鉗子把持ロボットの 3 台を遠隔操作する。鉗子は 6 自由度で縫合結紮を実施可能である。ダビンチは 7 自由度の鉗子により、運動制限を感じることなく自由な操作が可能である。術者はサージョンコンソールを覗くことで患者の体内を立体的に把握しながら手術ロボットを操作するため、手術の効率が向上する。2005 年現在、ヨーロッパ・北米・日本合わせて 210 システムが実際に導入されている。表 2-4 にダビンチの三次元映像表示系の仕様を、図 2-6 にシステムの写真を示す。

表 2-4 ダビンチにおける立体映像系の仕様

画素数：水平 768×垂直 494 画素	合計 38 万画素
サイズ：対角 14 インチ	
立体表示方式：左右個別表示方式	

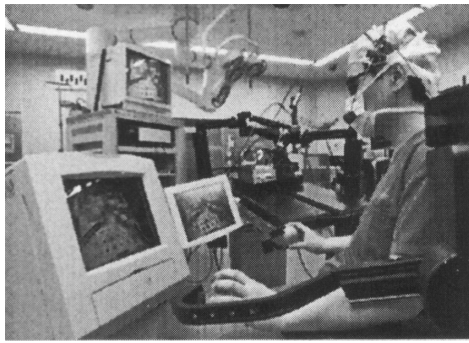


図 2-6 ゼウスによる手術のようす (左) とダビンチ (右)<sup>7)</sup>

### 2.3.3 パーソナルロボット

近年ペット型や人間型のパーソナルロボットが商品化され、自律的な移動やネットワークを通しての遠隔操作、携帯電話と通信が可能なものなどが市販されている。カラーカメラの携帯電話への搭載普及による小型・低価格化に伴い、パーソナルロボットへの立体映像撮像機能の搭載も進んでいる。富士通オートメーションではカメラ 2 台を搭載する人間型ロボットとカメラ・音声部のみを搭載するロボットを市販している (図 2-7、表 2-5)。

パーソナルロボットの立体映像入力機能はロボットの移動や作業の遠隔操作に有用である。また、移動機能と通信機能を持った個人で購入可能な立体映像入力システムとして、外出先から留守宅の様子を確認する、遠方の家族やペットをみる、など、これまでに無いコンシューマ向け立体映像の市場を創出する可能性がある応用として有望と考えられる。

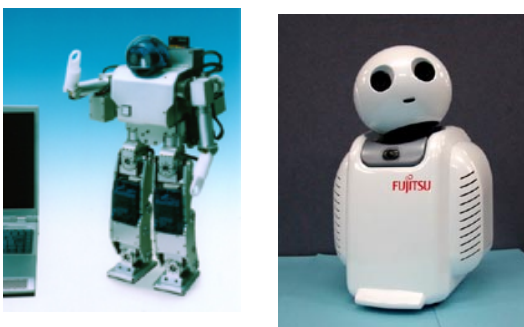


図 2-7 HOAP と mi-ro<sup>8)</sup>

表 2-5 mi-ro のマルチメディアセンサ仕様

マイク	無指向性, 3チャンネル
スピーカー	2チャンネル
カメラ	カラーCMOSイメージセンサ×2, 30万画素, 視野角40度
首動作角	回転:±10度 左右:±30度 上:25度 下:10度
外形寸法	幅226mm × 高さ358mm × 奥行244mm

## 2.4 おわりに

立体ディスプレイ市場拡大の鍵の一つは、立体映像コンテンツの供給にある。ロボットは自ら動き、リアルタイムで観察者の希望の場所の映像を提供する効果的な立体映像入力手段である。コンテンツ製作の必要が無く実時間で立体映像を取得し、また表示した映像

をみてカメラを移動操作するという双方向性も持ち合わせるため、立体ディスプレイの普及に重要な役割を果たす製品分野である。応用上の特徴は以下のようにまとめられる。

- (1) 遠隔操作は視覚情報を用いたリアルタイムフィードバックであり、CAD やエンタテインメントと比較して映像入力から表示までの時間遅れの少なさが特に要求される。
- (2) 移動操作には横方向の視野の広さに加えて上下方向、特に足元の視野が有効である。
- (3) 移動操作には立体映像は有効であるが、細かい手先作業の操作には触覚など視覚以外の感覚を総合したフィードバックを組み合わせると効果的である。

日本ロボット工業会ではロボット市場を応用分野ごとに予測した<sup>9)</sup>。2010年に3兆円弱、2025年には生活分野が伸び8兆円弱と試算している。立体映像表示の需要は、災害対処を含む公共分野、医療・福祉分野、パーソナルロボットを含む生活分野が特に高いと考えられる。分野毎に立体表示の適用率を設定し、立体ディスプレイ関連市場規模を予測した(表2-6)。立体ディスプレイ価格を1割程度と仮定すれば、2010年に64億円、2025年にその2.6倍の170億円程度のロボット向け立体ディスプレイ市場が立ち上がると期待される。

表 2-6 2010年ロボット市場と立体ディスプレイ市場予測 (単位：億円)

	製造業分野	バイオ産業	公共分野	医療・福祉	生活分野	合計
ロボット市場	8,500	900	2,900	2,600	15,000	29,900
適用率[%]*	1	0.5	5	4	2	--
立体ディスプレイ関連市場規模 ( )内は 2025年	85	5	145	104	300	639 (1,700)

\*寄与率：応用分野ごとに立体ディスプレイの適用割合を設定 日本ロボット工業会予測を元に推定

(高梨伸彰)

#### 参考文献

- 1) 間野：原子力防災支援システムの開発 日本ロボット学会誌 Vol.19, No.6 (2001.9)
- 2) 小田：土木無人化施工ロボット 日本ロボット学会誌 Vol.18, No.7 (2000.10)
- 3) 茶山：フジタの無人化施工後術 ロボット no.114 (1997)
- 4) 消防装備図鑑 東京法令出版 (東京消防庁監修) (1999)
- 5) NEC プレスリリース <http://www.nec.co.jp/press/ja/9702/1801.html> (1997.2)
- 6) 舘：HRP 遠隔操作プラットフォーム 日本ロボット学会誌 Vol.19, No.1 (2001.1)
- 7) 橋爪：手術支援ロボットの現状と将来 日本ロボット学会誌 Vol.22, No.4 (2004.5)
- 8) 富士通オートメーション <http://www.automation.fujitsu.com/products/>
- 9) 日本ロボット工業会：「21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」(2001.5)

### 3 医療分野における立体映像の利用

#### 3.1 はじめに

人体内の三次元構造の正確な理解は、診断治療の根幹を成すものである。例えばどの医学教育書を見ても、切断・着色・分解など、ありとあらゆる形状表現方法が駆使されている。このことから医療分野での立体映像への期待が高いことは明らかである。

特に 80 年代からの医用画像装置の進歩と、低侵襲手術（頭やお腹を小さく開ける、あるいは体腔や血管から手術器具を入れて行う手術）という新しい手術方法の実用化が、立体映像の医療分野での研究開発を大きく後押ししてきた。

#### 3.2 診断における活用事例

##### 3.2.1 三次元医用画像診断の事例

レントゲンが X 線を発見したのは 1895 年であるが、そのわずか 2 年後には機械式シャッター方式の立体映像装置により X 線像の立体表示が行われたとされている。X 線立体透視は血管のように複雑な網構造の臓器の形状把握に特に有効である。

X 線 CT (Computed Tomography)・MRI ((Magnetic Resonance Imaging)など医用断層画像装置が普及しはじめ、CG (Computer Graphics) 技術が発達した 90 年代は、様々な医用立体映像が開花した時代でもある。断層画像から再構成された臓器 CG 画像は、特殊な立体表示ワークステーション (Tektronix)、ホログラフィ、回転 (振動) スクリーン型ディスプレイなどあらゆる立体映像装置での観察が試みられた。

現在の医用画像診断では、視点移動あるいは複数視点からの観察による形状把握で十分であることが多く、立体表示よりも治療シミュレーションなどデータとのインタラクティブティに関する研究に重点が置かれている。立体映像装置はオプションとして用いられることも多いが、医用画像の観察に特化されたものではなく、汎用品が用いられる。

##### 3.2.2 遠隔医療の事例

遠隔医療 (テレメディシン、tele-medicine) とは、患者とは離れた場所にいる熟練医との通信を通じた医療関連行為を行うことを指し、地域間医療格差の克服や、在宅医療の促

進に大きく貢献すると期待されている。一般的には文字情報や画像情報（X線写真など）を含むが、ネットワーク環境の急速な向上により、映像の伝送も可能となっている。

立体映像の遠隔医療への応用は、1995年に名古屋大学医学部の佐久間らにより試行された例がある。これは眼鏡無し立体ディスプレイ（ステレビック、テルモ）を用い、米国デューク大学と6Mbpsの回線をつないで立体内視鏡像などを伝送したものであるが、遅延や劣化が著しく、応用可能なレベルには無かったようである。

上記の技術的問題は現在のレベルでは解決可能だと考えられる。一方で異なる医療施設間の遠隔医療については、生じた医療行為の報酬と責任をどこが受けるかという法的問題や、プライバシーの確保などの問題が残されている。従って立体映像の遠隔医療が本格的に導入されうるのは、現実的には同じ病院内の異なる棟・室を結ぶケースである。例えば手術ロボット da Vinci（第III章 2.3.2 参照）の立体内視鏡映像は、一種の遠隔医療といえる。

### 3.3 治療における活用事例

#### 3.3.1 両眼立体視の事例

脳血管や神経を対象とした微細手術（マイクロサージェリ）では立体顕微鏡が日常的に用いられており、TOPCOM など各社から発売されている。この立体顕微鏡の両眼像をビデオ信号として取り出し、立体映像装置に出力した試みもなされてきた<sup>1)</sup>。

内視鏡に関しても、鏡筒内に左右両眼の光学系を配置することで立体化されている。現在では新興光器製作所（図 3-1）などから製品化され、腹部手術等に用いられている。初期（90年代前半）の立体内視鏡は単眼式に比べて画質が劣り疲労も大きかったが、光学系と立体映像装置双方の技術進歩によりほぼ解決している。立体化により手術操作のパフォーマンスが向上するという報告もなされており<sup>2)</sup>、手術ロボット ダビンチ（da Vinci）にも採用されている。

X線では、1971年に本邦でX線立体透視装置と立体テレビを組み合わせたシステムが臨床応用され、現在では回転式X線透視装置（通称 C-arm）により容易に立体透視画像が得られる。断層画像（超音波を除く）は、そもそも手術中の撮影と処理が困難であるため、手術前にあらかじめ表示画像を作成しておくのが普通である。最近は手術中に CT/MRI を撮影する技術も開発され、今後は手術中の断層画像の即時立体画像生成が実現するであろう。

### 3.3.2 複合現実感（AR）技術を用いた事例

立体映像の医療応用において現在もっとも活発に研究開発がなされているのが、医用AR（複合現実感、Augmented Reality）である。三次元画像や手術器具と患者との位置対応を明らかにし、立体映像と実際の患者像を融合表示させる技術であり、あたかも患者を「透視」するような環境でより安全に治療ができると期待されている。

#### (1) ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた事例

ヘッドマウントディスプレイ（HMD：Head Mount Display）でも医用ARを実現できる。Vogtら<sup>3)</sup>やRosenthalら<sup>4)</sup>はHMDに装着したステレオビデオカメラからの映像と超音波・CT画像を合成し、HMDで表示するものである。またBirkfellnerら<sup>5)</sup>のVarioscope AR（図3-2）は、市販の手術用ルーペに小型モニタを追加装着しプリズムで画像合成を行うARシステムである。

HMDは重量や装着感、画質の問題が指摘され続け、医療分野で受け容れられているとは言えないが、昨今の技術開発の進歩により一部で再評価されはじめている。システムトラブル時にユーザの視界が全く得られなくなる危険性も指摘されているので、Varioscope ARのような光学的なシースルーシステムが望ましいといえる。



図 3-1 立体内視鏡（新興光器製作所）



図 3-2 Varioscope AR

#### (2) 「覗き型」立体映像装置とインテグラルフォトグラフィを用いた事例

医用ARシステムのもう一つの実現方法は、立体映像装置とハーフミラーを合わせた「覗

き型」システムである。東京大学の廖ら<sup>6)</sup>は、Integral Photography (IP) を動画拡張した”Integral Videography” (IV) の手術ナビゲーションへの応用を試みている。高解像度液晶モニター前面にマイクロレンズアレイを固定した IV ディスプレイによって表示された立体画像と、患者の肉眼像をハーフミラーで合成し AR 環境を実現している。手術中に撮影される画像（超音波断層像など）や動画像（心臓の拍動など）の表示については、マルチプロセッサシステムの導入により IP 画像の作成時間を 1 秒内に高速化している。

IV は HMD が不要でかつ手術室での即時性に富む点で手術用 AR に好適な技術である一方、IV ディスプレイの精細度によって立体映像の空間分解能に限界が生ずることが今後の主な課題といえる。

### 3.4 医学教育・研究における活用事例

医学教育用コンテンツとしての立体映像の例として、早稲田大学の河合ら<sup>7)</sup>の外科手技教育用立体映像コンテンツが挙げられる。耳鼻咽喉科手術の標準的な術式に対して、手術用立体顕微鏡から収録した立体顕微鏡映像をコンテンツ編集したものであり（図 3-3）、教育現場からの積極的な評価を得られている。

なお生化学分野では、分子モデリングを立体表示する事例が多く、対応のソフトウェアも市販されている（例：AVS モジュール、CACHe）。

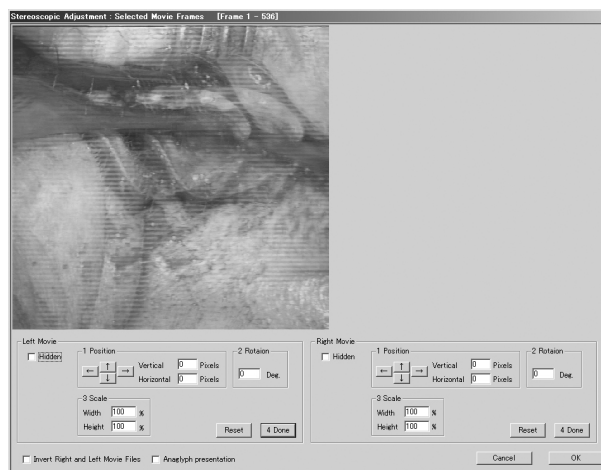


図 3-3 外科手技教育用立体映像コンテンツ（早稲田大学）

### 3.5 おわりに

最初に述べたように、診断のための立体映像へのニーズは依然根強くあるものの、治療・医学教育に対するニーズが高まっている。



実際に立体映像装置がどの程度医療機関に普及するかの推定は難しいが、参考となりうる統計値を紹介する。医療機器産業の市場規模（国内生産額＋輸出額－輸入額）は約2兆円（H10）で、年5%で着実に拡大している。立体映像装置への入力装置とも言えるX線／CT／MRI／超音波／顕微鏡、また電子カルテ（PACS）などの画像診断機器については、本邦のほとんどの一定規模の医療施設には既に備わり、その施設更新需要が存在する。画像診断機器の市場規模は2600億円であるが、これらのオプション品として販路を見出すとすれば、例えばその1%（例：2億のMRIに対して200万円の立体映像装置）としても26億円の市場がある。世界の市場規模は各々この約5倍とされる。

最後に、立体映像装置に対して医療従事者から要求される仕様について簡単に触れる。

表示・記録・伝送共に、画質への要求は高く、特に正確な色再現性は必須条件である。高精細化のニーズは強いが、大画面化はそれほど求められない。またHMDは装着性や洗浄滅菌性の面で敬遠され、眼鏡無しディスプレイが好まれる。医学教育や医療安全の観点から、立体内視鏡などの光学映像の映像記録機能は必須である。手術では観察時間が長時間（>1時間）にわたる可能性があるため、疲労には十分留意する。価格については民生用ほど低価格化が求められていない。

治療に用いられる機器に対しては、滅菌や洗浄が適切に行われうることが求められる。滅菌方法には化学的な方法（消毒薬やエチレンガス）や物理的な方法（熱や放射線）がある。使用方法によって求められる滅菌レベルも様々であり、非装着型の観察用ディスプレイであれば手術室内であっても滅菌不要である。安全性についてはJIS／ISOに準拠すれば良いが、万一の場合に代替手段が得られるようなシステム設計を行うべきである。立体映像の蓄積や伝送にあたっては情報セキュリティの実装が必須であることはいうまでもない。

（山内康司）

#### 参考文献

- 1) 山内, 他: 手術用三次元合成画像立体視システム 豊田研究報告 Vol. 46 (1993) 47-55
- 2) 山内, 他: 立体内視鏡下の手術操作: 操作パフォーマンスと正確さの評価 日本コンピュータ外科学会誌 Vol. 6 No. 3 (2004) (in press)
- 3) S. Vogt et, 他: A High Performance AR System for Medical Applications. Proc. of the second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03) (2003)
- 4) M. Rosenthal, 他: Augmented Reality Guidance for Needle Biopsies: A Randomized, Controlled Trial in Phantoms Proc. Medical Image Computing and

Computer-Assisted Intervention (MICCAI) 2001 (2001) 240–248

- 5) W. Birkfellner, 他 : Development of the Varioscope AR – A See-through HMD for Computer-Aided Surgery. Proc. of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'00) (2000) 54-59
- 6) 廖, 他 : Integral Videography を用いた手術支援リアルタイム三次元ナビゲーションシステムの開発 日本コンピュータ外科学会誌 Vol. 2 No. 4 (2001) 245-252
- 7) 河合, 他 : 外科手技教育用立体映像コンテンツの制作, 3次元画像コンファレンス 2004 講演論文集 (2004) 189-192

## 4 土木・建築系シミュレーション分野における立体映像の利用

### 4.1 はじめに

土木・建築分野における立体映像の活用は、松下電工が 1990 年に同社の東京新宿ショールームにおいて発表したシステムキッチン VR システム<sup>1)</sup>に端を発する。本システムは、VR 技術の世界初の産業応用事例として、マスコミをはじめ、世界的に各方面から大いに注目を集めた。当時のシステム（図 4-1）では、体験者（顧客）は頭に 3D 映像を体験するための HMD と 3D 音響を体験するためのヘッドフォン、さらに手には指の動きを検出するためのデータグローブを装着した。また、頭や手の位置を検出するために HMD とデータグローブには磁気センサが取り付けられていた。これらのデバイスを用いて、体験者は、バーチャル空間の中で、システムキッチンの扉をあけて取っ手の高さを確認したり、キッチンユニットを変更したりといった体験をしながら、設計段階で自分自身のシステムキッチンの配列や空間感覚を確認することができた。当時のコンピュータ性能の制約により、映像品質はグーロシェーディングに留まっていたにも関わらず、従来の図面での提案では約 3 割程度であった受注率が約 7 割まで向上するなど、具体的な効果が確認されている。

システムキッチン VR システムの発表、実用化とほぼ並行して、当時の通商産業省（以下、通産省と略記）の「21 世紀住宅開発プロジェクト（1989～1995 年度）」において、松下電工を中心に VR 技術による家一軒分のシミュレーションシステムの研究開発が行われた。具体的には、家一軒の住み心地として、光・視環境（見た目）、音環境（防音、遮音）、温度環境、空気質環境（空気の汚れ）、安全性、機能性を取り上げ、これらの生活環境シミュレーション結果をバーチャル空間に提示し、視覚と聴覚によりインタラクティブに体験するシステムが開発された<sup>2),3)</sup>。視覚情報、すなわち立体映像の提示装置としては、従来の HMD に加えて、直径約 6m の円筒形のアーチ型スクリーンを用い、複数人による臨場感・没入感ある体験が可能となった（図 4-2）。

それ以来、立体映像ならびに VR 技術の土木・建築分野における活用は、当初の住宅設計だけに留まらず、都市環境の設計や、さらには作業現場での安全性シミュレーションなど、事例は多くはないものの徐々に幅広い用途へと広がりつつあり、現在に至っている。

以下では、現在の土木・建築系シミュレーション分野における立体映像活用事例について述べる。

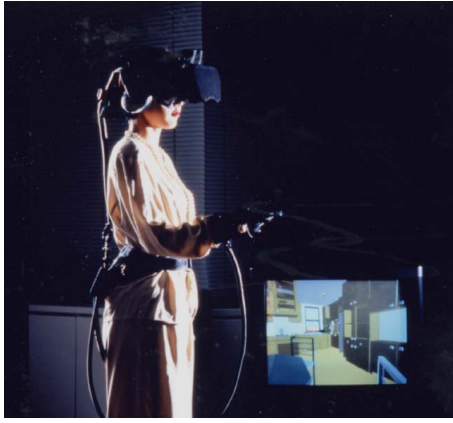


図 4-1 システムキッチン VR システム：  
松下電工（1990 年当時）

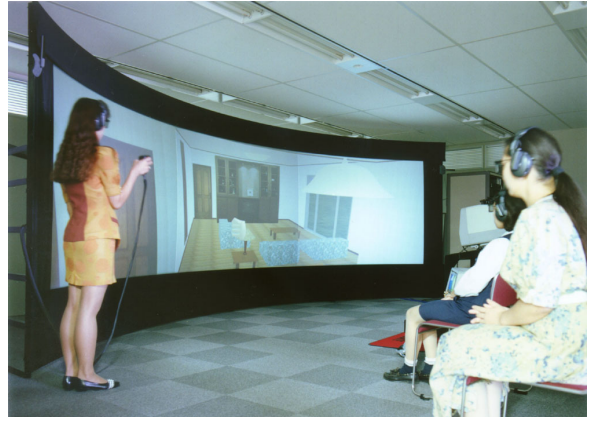


図 4-2 家一軒 VR システム：松下電工  
（通産省 21 世紀住宅開発プロジェクト）

## 4.2 現在の活用事例

### 4.2.1 住宅設計における活用事例

#### (1) 仮想住環境シミュレーションシステム（大成建設）<sup>4)</sup>

住居の設計時に、室内環境をコンピュータ上でバーチャルに確認できるシステムである。120 インチ相当のリアプロジェクション方式の傾斜型スクリーンを使用することで下方（足元）視野を確保し、偏光方式により、偏光眼鏡を掛けて没入感の高い立体映像を体験できる（図 4-3）。また、自由に任意の視点から体験できるインタラクション機能を有している。

間取り、外観、素材の検討が行える他にも、前述の通産省 21 世紀住宅開発プロジェクトの流れを汲んで、各種生活環境シミュレーションと連動して、日照（時刻による日照変化など）、照明（昼夜の照明イメージなど）、気流（換気システム性能評価など）、音環境（近隣の騒音など）、周辺環境（近隣画像の取り込みなど）が体験できる。



図 4-3 仮想住環境シミュレーションシステム：大成建設

(2) マンション仮想体感システム コンド・ビジョン (タイセイ総合研究所) <sup>5)</sup>

マンションの販売時に、モデルルームに代わる役目を果たす集合住宅仮想体感ツールである。インタラクション機能を有し、偏光フィルムを貼った 30 インチ液晶ディスプレイと偏光眼鏡によって立体映像を体験できる (図 4-4)。

本システムでは、集合住宅のタイプ別、階数別などの住戸タイプを表現し、室内のプランや仕様変更 (壁や床などの内装) の状況、一日の室内の明るさ変化、室内からの外の景色の再現、お客様がお手持ちの家具や照明器具の配置などを行うことができる。

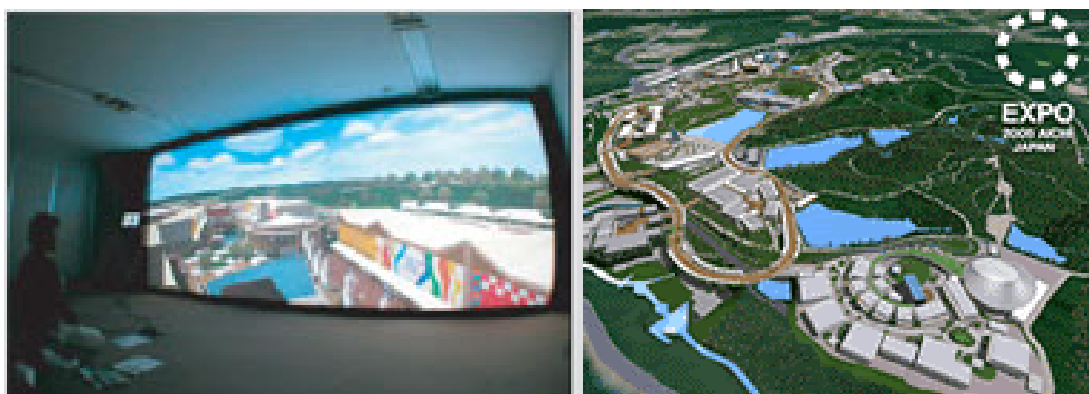


図 4-4 マンション仮想体感システム コンド・ビジョン : タイセイ総合研究所

#### 4.2.2 屋外景観デザインにおける活用事例

(1) 愛知博覧会会場シミュレーション (2005 年日本国際博覧会協会) <sup>6),7)</sup>

2005 年に開催される愛知博 (愛・地球博) の会場内を、開催前に VR 映像により疑似体験できる。リアプロジェクション方式の 150 インチ大型平面スクリーンと偏光眼鏡を使用している。愛・地球博の会場を立体的に体感でき、グローバル・ループの上を歩いたり、グローバル・コモンを見学したり、上から会場を俯瞰するなど、会場内を自由に見学できる立体映像 VR シアターである (図 4-5)。



(a) 150 インチリアスクリーン

(b) 会場全体の俯瞰

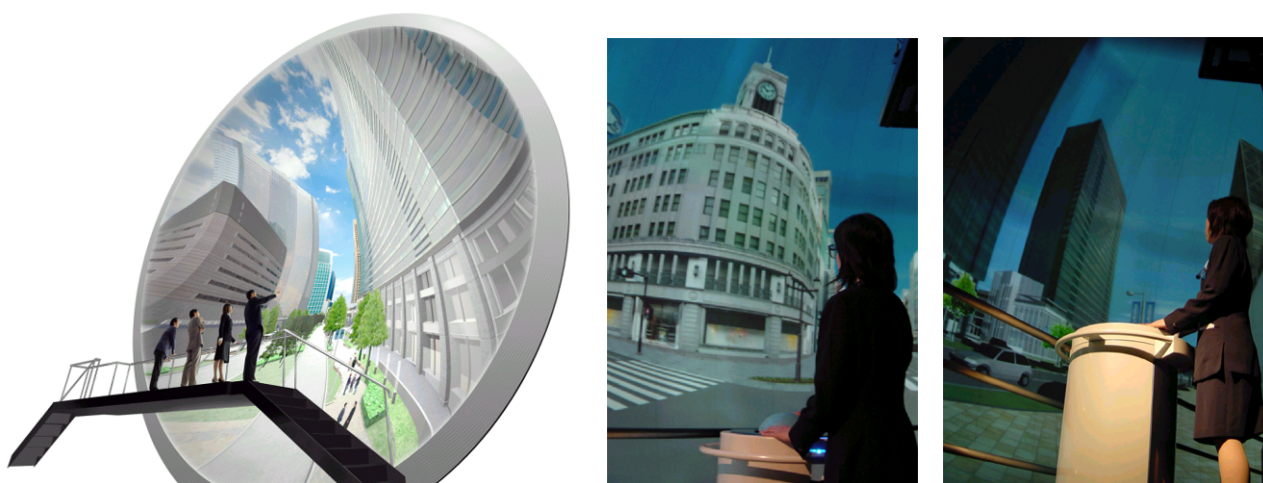
図 4-5 愛知博覧会会場シミュレーション : 2005 年日本国際博覧会協会

## (2) 都市環境計画支援：松下電工<sup>8),9)</sup>

住民参加型まちづくりからビッグプロジェクトまで、都市開発や再開発などのあらゆる環境計画設計及び評価を、異なる専門分野を持つ複数の専門家や一般市民を含む多数の人々が相互にコミュニケーションを行いながら協調して行うことを狙いとしている。VR技術を用いて、さまざまな視点から街並みを確認したり、代替案を比較したりすることができる。行政担当者や専門家、さらには、住民の合意形成を図るためのツールとして有効に利用されている。

他に類の無い最大の特長は、直径約8.5mの半球面スクリーンと18台の液晶プロジェクタなどで構成された世界最大規模のVRシステムCyberDome8500の活用にある（CyberDome8500の詳細は第II章3.5.4を参照）。同時に約20人程度が、偏光眼鏡を掛けて、水平視野角180度、垂直視野角150度の極めて没入感・臨場感の高い等身大スケールの立体映像をインタラクティブに体験できる（図4-6）。

現在CyberDome8500は、首都圏の多数の都市開発・再開発を始めとして、屋外景観デザインだけに留まらず、大型店舗の設計や新しい住宅・住まい方の提案など、幅広い用途に利用されている。



(a) CyberDome8500 外観イメージ

(b) CyberDome8500 による環境計画体験例

図 4-6 CyberDome8500 による環境計画支援 VR：松下電工

### 4.2.3 安全性シミュレーションにおける活用事例

#### (1) 火災疑似体験システム fire cube（消防研究所）<sup>10)</sup>

VR技術を用いた火災体験シミュレータである。火災データベースを、火災調査や建築

の防火安全設計などに役立てることを目的としている。150 インチの平面スクリーンを用いて、あたかも実際の火災現場に居合わせたかのような臨場感で、CGによるビル火災を立体映像で再現できる（図 4-7）。

これまでに、新宿歌舞伎町雑居ビル火災やホテルニュージャパン火災のシミュレーションモデルが開発され、こうしたデータを活かして、より効果的な避難誘導方法の評価に役立てることが検討されている。



図 4-7 火災疑似体験システム fire cube（消防研究所）

(2) 労働災害／ヒヤリ・ハット体験：中央労働災害防止協会安全衛生情報センター<sup>11)</sup>

仮想作業現場での体験ができるシステムである。代表の方 1 名が、6 軸電動モーションベースの上で、HMD と電子グローブを装着し、コンピュータの作り出す仮想作業現場の空間で、安全パトロールを行い、現実の世界では体験できない危険な状態や災害を体験し、危険箇所を音声や手の動作で指摘する。これらの体験が、労働災害の防止に役立つことが期待されているシステムである。代表以外の方は、代表者が体験している仮想作業現場の様子を、平面スクリーンに映し出される立体映像で体験する（図 4-8）。



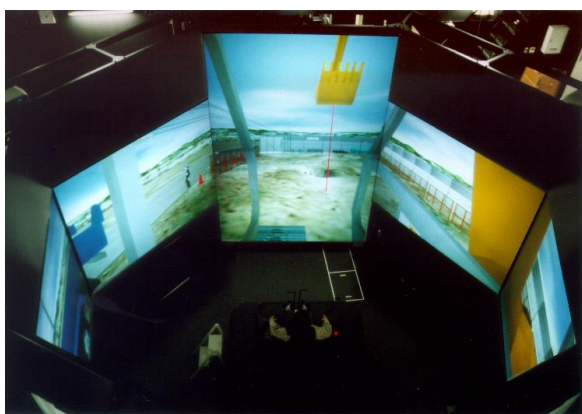
(a) 代表者による体験の様子

(b) 代表者以外は平面スクリーンの立体映像を体験

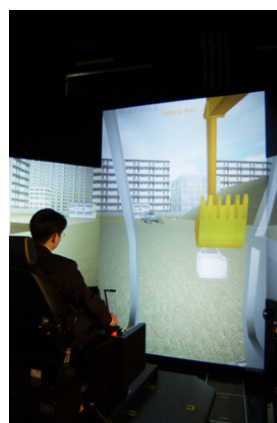
図 4-8 労働災害／ヒヤリ・ハット体験：中央労働災害防止協会安全衛生情報センター

### (3) 掘削機シミュレータ（産業安全研究所）<sup>12)</sup>

生産・施工現場を対象に、ヒューマンエラーの検証、レイアウトの欠陥、安全装置の効果などの人間工学的実験を多角的に行うことを目的とした掘削機シミュレータである。建設機械の模擬操縦席の周りを背面投影式の全周型スクリーンで囲んだ構成を取っている。全周型スクリーンは、8面の120インチスクリーンを用いて、正面のみ垂直視野を確保するために上下2面とした7角形で構成されており、水平360度の没入感の高い立体提示が可能である。操縦席は、スクリーンに映し出される映像と連動して、掘削時や旋回時に動揺する（図4-9）。



(a) 全景



(b) 操縦席から

図4-9 掘削機シミュレータ：産業安全研究所

## 4.3 おわりに

前述の活用事例からも明らかなように、土木・建築建築系シミュレーション分野における立体映像システムは、単なる一方方向の立体映像提示に留まらずにインタラクティブ性を有し、さらに高臨場感提示を目指したVRシステムとなっている。このことは、本分野において求められる立体映像機器への要求仕様を示唆している。

まず、高臨場感について述べると、現実世界と同等の臨場感を人間の五感に提示することが究極の姿ではあるが、その中でも特に視覚系の重要度は高く、人間の感覚系の80～90%を占めると言われている。そこで、視覚について論じると、広視野、立体提示、高解像度が、視覚的高臨場感の3要素として挙げられる。先に示した活用事例も、そのほとんど全てが、単なる立体映像提示ではなく、大画面平面スクリーン、大画面平面マルチスクリーン、大画面傾斜型スクリーン、球面大型スクリーンを用いることで広視野に映像を提示し、等身大スケールの体験を実現しようとしている。すなわち、土木・建築系の設計シミュレーションにおいては、現実同等の等身大、1/1スケールで複数人の関係者が同時体



験し、情報を共有して合意形成を得ることが重要といえる。

広視野、立体提示に加えて、高解像度も重要な要素である。特に屋外景観デザインや住宅設計などの建築分野の設計においては、広視野・等身大の空間提示に加えて、表面の材質感など、見た目の精細度も重要となる。しかしながら、広視野と高解像度はトレードオフの関係にあり、大画面で広視野にすればするほど解像度が荒くなるのは自明である。現状のシステムでは、マルチプロジェクションによって解像度の確保に努めているが、まだまだ不十分であり、今後の高精細プロジェクタの技術の進展とコストダウンが望まれるところである。

インタラクティビティについても、簡単に触れておく。安全性シミュレーションのようなシミュレータシステムでは、インタラクティビティの重要性は言うまでも無いが、屋外景観デザインや住宅設計などにおいても、その重要性は非常に高い。たとえ高臨場感を有する立体映像提示であったとしても、CG アニメーションのようなプレゼンテーションは建築家や設計者からの一方的な情報発信、すなわち説得でしかない。合意形成には、体験者（ユーザ、顧客、住民などの一般の人々）自身が設計に参画することが肝要である。体験者が自らの意思で、リアルタイムに自由に視点を移動して任意の位置から設計空間を確認する、さらにはリアルタイムに代替案を確認する、といったことにより、体験者が真に欲する設計が可能となり、合意形成もスムーズに行うことができる。

CAD/CAM/CAE システム市場の中期展望 2002（矢野経済研究所調査）によれば、土木・建築分野の CAD の売上規模は約 300 億円／年であり、その内、建築設計 CAD が約 80 億円、住宅設計 CAD が約 70 億円と言われている。三次元 CAD の比率は不明だが、本分野は、単に設計を行うだけでなく、設計の非専門家、すなわち一般の人々に対してのプレゼンテーションならびに合意形成が重要であり、三次元 CAD の占める割合は高いと推測される。三次元 CAD の進展および三次元 CAD との連携によって、今後、本分野における立体映像活用の重要度は、益々拡大するものと期待される。

（澤田一哉）

#### 参考文献

- 1) 野村：人工現実感によるシステムキッチン疑似体験システム 精密工学会誌 Vol.57 No.8 pp.1352-1355 (1991)
- 2) 野村：建築における VR シミュレーション 建築雑誌 Vol.110 No.1381 pp.32-33 (1995)
- 3) 高橋、野村：バーチャルハウジング 日科技連出版社 (1996.8)
- 4) <http://www.taisei.co.jp/release/1999/jun/jun04.html>

- 5) [http://www.taisei-soken.com/html/news/2003\\_03\\_03.html](http://www.taisei-soken.com/html/news/2003_03_03.html)
- 6) [http://www.mikimoto-japan.com/beans/beans\\_soft/products/omega/omega03.htm](http://www.mikimoto-japan.com/beans/beans_soft/products/omega/omega03.htm)
- 7) <http://www.solidray.co.jp/IVR/2004.html>
- 8) <http://www.mew.co.jp/Ebox/okugai/vr/index.html>
- 9) [http://national.jp/center/tokyo/floor/flr\\_01.html](http://national.jp/center/tokyo/floor/flr_01.html)
- 10) [http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=109&Page=hp\\_d\\_view](http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=109&Page=hp_d_view)
- 11) <http://www.jaish.gr.jp/theater/vr.html>
- 12) <http://www.anken.go.jp/shoukai/shashin/kyoukai/index.html>

## 5 印刷・出版分野における立体映像の利用

### 5.1 3D グレーティングイメージ、ステレオグラム

#### (1) 3D グレーティングイメージ

現在では、カード、紙幣、商品券などの有価証券の偽造防止としてセキュリティ用ホログラムが広く知られるようになってきている。ホログラムが日本で偽造防止として最初に利用されたのは1983～1984年にマスターカードのクレジットカードであり、基本的なレインボウホログラムであった。当初は作製に高度な技術と特殊な設備が必要であることで、容易に偽造品を作製することが困難であったため、偽造防止策として採用された。しかし、近年ではこのホログラム自体の偽造も考えられ、より高度な偽造防止効果の技術が求められてきている。

グレーティングイメージは1988年に凸版印刷が実用化した技術で、微小な回折格子を画素として絵柄や文字を表現したディスプレイである。通常の印刷物とは異なり照明の角度に応じた色変化等の特殊な効果によりコピー機などでの複製が困難であるため、偽造防止用途に多く使用されている。当初は回折格子を作製するのにレーザー光の2光束干渉を用いていたが、最近では電子線(EB)描画装置を用いて直接回折格子のパターンニングにより作製している。とくにEB描画装置を用いたグレーティングイメージはクリスタグラムと呼ばれ、微細パターンを高精度に表現することができ、1つの画素を数十 $\mu\text{m}$ 程度とすることも可能となり、これにより立体像を表示する3Dグレーティングイメージ<sup>1)</sup>も実現することができた。

3Dグレーティングイメージの回折格子セルは特殊な回折格子構造を用いることで、各々の回折格子からの回折光の範囲を限定し、空間での観察範囲を精度よく制御することが可能となる。3Dグレーティングイメージにおける立体表示の原理は、ホログラフィック・ステレオグラムと同様である。すなわち、異なる方向から各々の方向に対応した視差画像を観察できるようにすることにより、両眼視差による立体視を実現している。多数の視差画像をそれぞれ異なる方向から観察することが可能で、視点を移動すると観察される立体像も対応する方向から見たものとなり、自然な立体感を得ることができる。

また、観察範囲を自由に制御することができることから、立体像をアニメーションのように変化させたり、異なる画像を切り替えて表示させたりすることも可能であり、より高度な偽造防止効果をもたせることができる。

最近では、回折格子の配置方法や形状を細かく制御することによる、輝度変調によるフ

ルカラーでの表現や、より高解像度である 25,000dpi 相当の超微細マイクロパターンなどを実現し<sup>2)</sup>、より高度な偽造防止の技術として利用されている。また、回折格子の形状を特殊なものとするすることで、回折格子の高輝度化を図り従来のホログラムでは不可能な視覚効果の開発<sup>3)</sup>などが行われている。図 5.1-1、図 5.1-2 に再生画像の写真を示す。



図 5.1-1

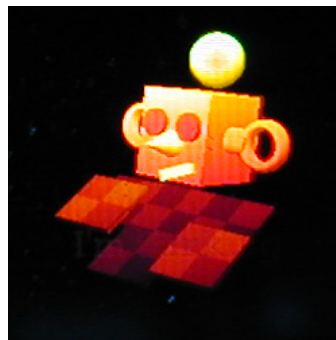


図 5.1-2

## (2) ステレオグラム

出版分野でホログラムの利用で最近のトピックとしては、3D のエンボスホログラムがついた発行部数 55 万部のコミック誌<sup>4)</sup>の発行である。このホログラムはホログラフィック・ステレオグラム (HS) で作製された。従来の HS は映画フィルムなどで実物を撮影し、そのフィルムから合成する方法が一般的であったが、この HS は三次元コンピュータグラフィクス (3DCG) の原画を用い、デジタル合成されたものである。

最近では 3DCG データを原画として用いて、HS をデジタル合成したホログラムが多く利用されてきている。HS のデジタル合成では従来のアナログ合成と比較して、画像の変換工程などが削減でき、また変換による劣化が少なく画質が向上している。

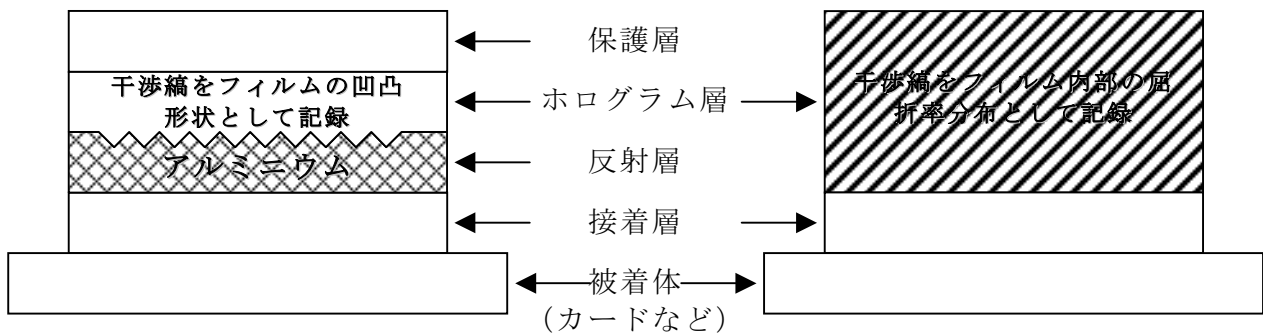
(岸本 康)

## 参考文献

- 1) S.Takahashi, T.Toda, F.Iwata: "Three Dimensional Grating Image", SPIE Vol.1461, 199-204 (1991)
- 2) A.Nagano, T.Toda, S.Takahashi, F.Iwata: "Crystagram Neo: A High Resolution Imaging by EB Technology", Practical Holography XVI and Holographic Materials VI, SPIE 4659, 139-147(2002)
- 3) クリスタグラム : <http://www.toppan.co.jp/aboutus/release/article0132.html>
- 4) 週刊ビッグコミックスピリッツ 小学館 No1148 (2004.07.19)

## 5.2 透明ホログラム、体積型ホログラム

ホログラムには製造方法により主としてレリーフ型ホログラムと体積型ホログラムがある。レリーフ型ホログラムは、図 5.2-1 の左図に示すように、ホログラム情報である干渉縞をフィルムの凹凸形状として記録したホログラムである。これに対して、図 5.2-1 の右図に示すような、干渉縞をフィルム内部の屈折率分布として記録したホログラムを「体積型ホログラム」と呼ぶ。本節では、レリーフ型ホログラムの一形態である「透明ホログラム」と、反射型の体積型ホログラムである「リップマンホログラム」について解説する。



レリーフ型ホログラム

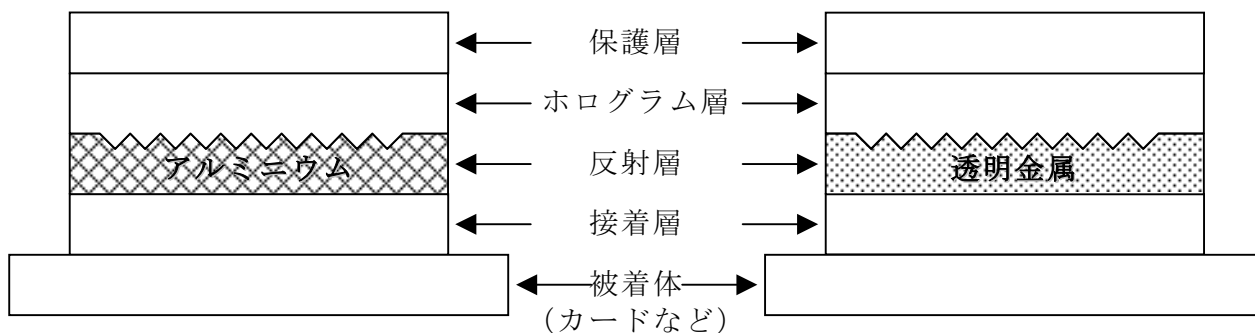
体積型ホログラム

図5.2-1 レリーフ型ホログラムと体積型ホログラムの層構成

### (1) 透明ホログラム

図 5.2-2 の左図に示すように、通常のレリーフ型ホログラムは反射層としてアルミニウムを蒸着するため不透明（銀色または金色）であり、ホログラムの下にある被着体の情報を見ることはできない。そこで、図 5.2-2 の右図に示すように、ホログラムの下の反射層を透明にすることにより、ある角度では虹色に色が変わるホログラム画像が見えそれ以外の角度では下地の被着体の情報が透けて見える「透明ホログラム」が 1990 年に開発された。

ホログラムの下地が見えるという特性から、カレンダーがホログラム画像として記録された、腕時計用のシールとしてしばしば利用されてきた。また、ID カードやパスポートの顔写真部や署名部などに透明ホログラムを転写することで、改ざんを防止する用途にも利用されている。1997 年には、磁気カードの全面に透明ホログラム加工が施されたカードが開発された<sup>1)</sup>。透明ホログラムによる立体表現とカード表面に印刷された絵柄を組み合わせることで、アイキャッチ効果が高く、また偽造防止効果の高いカードが提供されるようになり、銀行のキャッシュカードなど偽造防止効果とデザイン性がともに要求される用途へ活用されるようになった。



通常のレリーフ型ホログラム

透明レリーフ型ホログラム

図5.2-2 透明レリーフ型ホログラムの層構成

(2) 体積型ホログラム (リップマンホログラム)

リップマンホログラムはフィルムの厚み方向にも干渉縞が記録されているため、入射する光に対する角度・波長の選択性が高い。つまり、ホログラムに入射する光のうち、ある狭い入射角度範囲・波長範囲の光のみが回折され立体像の再生に寄与するのに対し、残りの光は回折されずにホログラムを透過する特性を持っている。この特性を利用すると、天地左右すべての方向の立体情報 (フルパララックス) を白色光照明下で再生可能なホログラムを作製できる。1993年にはモノクロタイプのリップマンホログラムの量産体制が確立され、イベントの記念品として利用され始めた。さらに、1998年にはRGBの3波長を記録した、フルカラーのリップマンホログラムの量産体制が確立された。図5.2-3に示すように、フルカラー・フルパララックスのリップマンホログラムの再生像は、「立体の存在感」「色彩感」に優れ、実物が正にその場に存在するかのような印象を与える、静止画としては究極の立体像と言える。

フルカラー・フルパララックスの立体像再生が可能という特長を生かし、アミューズメント施設で販売されるグッズやトレーディングカード、立体絵画などのグラフィックアーツ用途への活用が進んだ。また、リップマンホログラムは特定の波長・角度の入射光以外を透過する性質のため基本的には透明であり、ホログラムの下地を見ることができる。この特性を利用した、見る角度により液晶画面上にホログラムの立体フルカラー画像が現れる、携帯電話用の保護シールが販売されている。

リップマンホログラムはレリーフ型ホログラムと比べ意匠性に優れ、また複製に高度な技術を必要とすることから偽造



図5.2-3 フルカラーフルパララックスリップマンホログラム「トゥルーイメージ®」の再生像

防止用途への活用が期待されている。2003年にプラスチックカードなどの被着体に転写可能なリップマンホログラムが開発されたことから<sup>2)</sup>、次世代の偽造防止技術としてますます注目が集まっている。

(北村 満)

#### 参考文献

- 1) 大日本印刷（株） プレスリリース  
<http://www.dnp.co.jp/jis/news/97/970331.html>
- 2) 大日本印刷（株） プレスリリース  
<http://www.dnp.co.jp/jis/news/2003/20030717.html>

### 5.3 計算機合成ホログラム

立体像を記録・表示可能な技術としてホログラフィが知られている。通常、ホログラムは実在する物体に対してレーザー光を照射し、その反射光と参照光との干渉で生じる干渉縞を感光材料に記録することにより作製される。これに対し、三次元 CG の形状データとして存在する仮想的な物体に対して、光学的な数値シミュレーションを行うことで記録すべき干渉縞の分布を求め、得られた干渉縞を何らかの方法で記録／表示することで作成する「計算機合成ホログラム (CGH : Computer-Generated Holograms)」の研究が 1960 年台後半から続けられてきた。しかし、通常のレインボーホログラムのように、白色光照明下で立体像を観察可能な CGH を実現しようとした場合、数 100nm 間隔で干渉縞を演算・記録する必要がある。このため、実用的な立体像表示用 CGH を作製するには、膨大な量の数値演算と極微細で精密な加工が必要であるが、1960 年代当時にはこれを実現する手段が存在しなかった。ところが、近年の半導体加工技術の急速な進展に伴い、加工寸法の微細化が進むと共にコンピュータの演算能力が飛躍的に高まった。これを受け、2003 年には半導体製造用電子線描画装置を用いることで、立体像表示を目的とした CGH が実用化されるに至った<sup>1)</sup>。

電子線描画装置を用いて作製する CGH は、その製造工程から以下の特徴を持っている。

- ・ 三次元 CG の形状データを原画とするため、実空間には存在し得ない複雑な形状や精密な位置関係の立体物をホログラムとして記録可能。
- ・ レーザー撮影により作製するホログラムと同様、物体から発する物体光そのものを再現する完全な三次元画像であるため、自然な立体感を得られる。
- ・ 電子線描画装置を用いることで、複数の干渉縞を精密に合成可能。

- ・ レリーフホログラムの複製工程により大量複製可能。

これらの特徴を活用することで、通常ホログラムでは実現困難な立体像表現への応用が可能である。例えば、複数の干渉縞を精密に合成することで、図 5.3-1 に示すような二つの立体像が視点移動時に切り替わる CGH が作製可能となる。また、模型で作製するのは難しい微細な立体物（文字や球など）が空間に浮かんでいる表現も可能である。こうした独特な立体像表現の CGH の製造には高度な技術が必要である。このため、クレジットカードやキャッシュカード、紙幣、パスポート、ID 証、商品券・ギフト券、純正品認証用ラベルなど、高度な偽造防止が求められる分野の製品に、CGH の採用が増えていくものと予想される。



図 5.3-1 電子線描画装置を用いた CGH、「バーチャグラム®」の再生像

(北村 満)

#### 参考文献

- 1) 大日本印刷（株） プレスリリース

<http://www.dnp.co.jp/jis/news/2003/20030224.html>

#### 5.4 レンチキュラー方式

歴史的には、1900 年代の前半に「レンチキュラー方式 3D ディスプレイ」はメガネなしで立体視できる一方法であることが述べられている。しかし、レンチキュラー板が造られる様になり、印刷画像による 3D ディスプレイが市場に現れてきたのは 1960 年に入ってからである。

アメリカでは生産工程に合わせてそれぞれ専門とする 4 社による商品が XOGRAPH<sup>1)</sup>と名付けられ、ポストカード、グリーティングカード、雑誌の表紙、等に多く使われた。また、個人向けの商品化がベンチャー企業（NIMSLO）により長年進められてきている<sup>2)</sup>。その技術は日本にも展開されたが、残念ながら普及していない。

フランスにはこの道の老舗と言われる写真スタジオがあり、1970 年の大阪万国博覧会にて展示されていた。

ソ連にも老舗としての放射状レンチキュラースクリーンを使った 3D 映画が上映され、同様に、1970 年の大阪万国博覧会<sup>3)</sup>で上映された。

ドイツの H.H.I 研究所はオランダのフィリップス社からレンチキュラー板の供給を受け、



それは印刷方式ではないが、3D ディスプレイ<sup>4)</sup>の実用化を進めている。

日本国内では、それは印刷会社で生産が開始された。凸版印刷（株）はステレオ撮影から仕上げ加工まで多くの設備を内作して市場の要求に対応した。1980年代前半までその盛況が続き、1972年には1960年からの総生産100億円を達成している。当初は店頭広告から始まり、化粧品店や酒店の店頭<sup>5),6)</sup>でよく見かける様になり評判になった。その後、ポストカードの量産体制に合わせて市場が急速に拡大していった。商品の中には、表紙や本文の数ページを立体印刷画像としたステレオ絵本や、観劇用のプログラム、カレンダー、等<sup>7)</sup>に広く使われてきた。ポストカードは可搬形のステレオカメラの開発に合わせて、世界各国でステレオ撮影が行われ、その結果、各国の空港でステレオ絵はがきが売られる様になった。また、医療分野では、眼科と脳外科において若い先生方により手術前の確認や、出版物に使われた例<sup>8),9)</sup>がある。図5.4-1に脳外科における例を示す。

低迷期に入り20年近く経過しているが生産は継続されており、近年、その生産量は微増の傾向にある。昔のアナログ時代から最近のデジタル化に伴い、再出発の感がある。そして、昔の様な特別な設備なしで、レンチキュラー板さえ手に入れば、印刷による3Dディスプレイの生産が可能となった。1970年頃にステレオ製品を扱った人々から見ると、最近の製品を昔懐かしいという感で再度扱ってくれる。

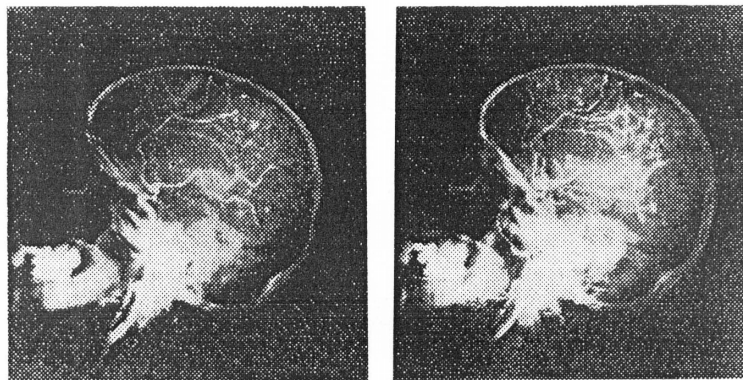


図 5.4-1 脳外科における立体撮影の例

近年、2眼またはそれ以上の両眼視差のある画像はデジタルカメラで撮影したり、コンピューターグラフィクス（CG）で作成する様になった。そして、それらの画像をコンピューター上で電子合成する方法が市販の画像処理ソフトを初め、それ専用が開発されている。

40年以上生産を続けている凸版印刷（株）は元より、多くの企業からレンチキュラー製品が市場に出ている。昔のアナログ時代は印刷画像とレンチキュラー板との貼り合わせされた製品が主であったが、近年は、印刷画像をレンチキュラー板の裏に直接印刷した（直刷り）製品が多い。直刷り製品の良い点は製品に反りがないことである。

レンチキュラー板は、アメリカ、韓国、日本のメーカーから販売されており、生産用として購入できる。レンチキュラー板は無色透明な樹脂で出来ていることから外観上は全く分からないが、レンチキュラー板に要求される光学特性やいろいろな物理的特性が重要になっている。そして、その精度が画像との位置合わせ工程において収率に大きく影響している。更に、レンチキュラー板の材料面は昔から多く使われてきた塩化ビニールから公害上無害な材料に代わってきている。

最近の新しい利用例としては、電車の社内広告でドアの横などの壁面に貼り付けるステッカーにレンチキュラー方式が使われている。清涼飲料水などの商品が立体的に見ることができ効果的な利用法である。また、駅に掲示される大型ポスターでも複数の画像を切替えて見せる方式（チェンジング）で大型レンチキュラー板が使われることもある。これら広告物としてのレンチキュラーの生産量はごく少量であり、短期間の掲示ではあるが、一般の人が立体印刷を多く目にするのはこのような広告物がほとんどである。

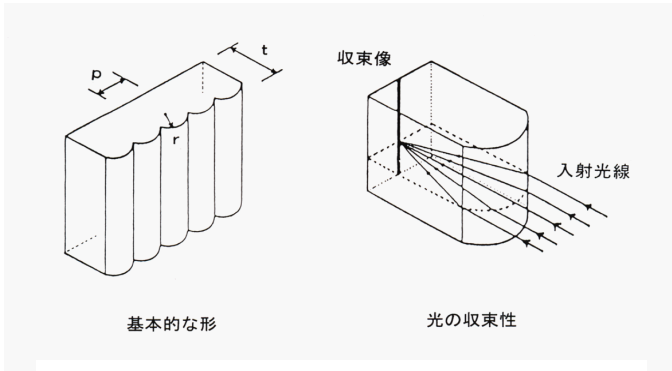


図 5.4-2 レンチキュラー板の形状と光学特性

次に、レンチキュラー板について技術的な側面から述べる。レンチキュラー板の形状を図 5.4-2 に示した。 $r$  は曲率半径、 $p$  はピッチ、そして、 $t$  は光学的な焦点（厚さ）である。購入する事の出来るレンチキュラー板は小さなピッチ（例：100～120 ライン／ピッチ）から大きなピッチ（例：20 ライン／ピッチ）まで数種類あり、それらの中から選択できる。それぞれはカタログ上で視野角が表示され、レンチキュラー形状としている。しかし、ユーザーの立場からレンチキュラー形状を求める場合、製品は 3D か？チェンジか？用途は？観察距離？等によりそれぞれに適したレンチキュラー形状が要求される。

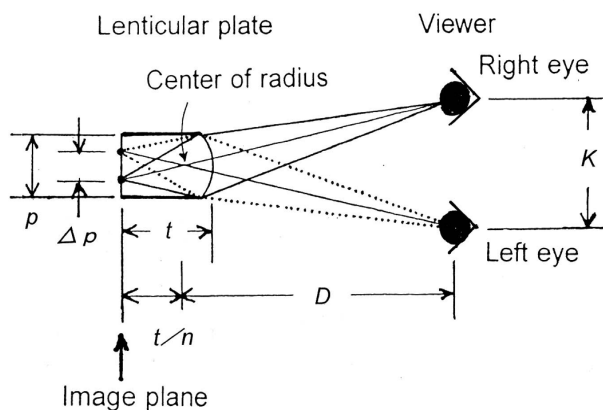


図 5.4-3  $\Delta p$  を求める図

ここで 3D 製品向けレンチキュラー形状の設計例を示す。まず、(1)  $p$  を設定する。

ピッチは観察距離、製品サイズ、印刷

画像のシャープさ、等から決定される。次に、

(2)  $r$  と  $t$  を求める。図 5.4-3 に観察者が両眼で見ている画像面上の位置の距離  $\Delta p$  を示す。 $k$  は眼間距離、 $D$  は観察距離、 $n$  は樹脂の屈折率である。図 5.4-3 の幾何学的関係から次式が得られる。

$$\Delta p = \frac{tK}{nD} \quad (1)$$

1 ピッチ内に合成する画像数を  $N$  枚としたとき、

$$\Delta p = \frac{p}{N} \quad (2)$$

となる様な  $r$  と  $t$  を求める。この時、下記の(3)式を用い、

$$t = \frac{n}{n-1} r \quad (3)$$

上記の 3 つの式を一つにまとめ、

$$r = \frac{(n-1)D}{KN} p \quad (4)$$

となる。そして、(3)式から  $t$  を求める事が出来る。

レンチキュラー方式 3D ディスプレイは両眼視差により立体視している。しかし、生理光学で示されている最大量の両眼視差を画像面に記録する事はたいへんむずかしい。1 ピッチ内に記録出来る最大の両眼視差量は画像面の解像力に影響され、印刷では約 10~15mm 程度である。そして、観察者は図 5.4-3 に示した  $\Delta p$  から実際に見ている画像間の両眼視差量を(5)式より求め、図 5.4-4 に示す奥行き再現図から(6)式により奥行き再現量を求める事が出来る。

$$x_F = \frac{\Delta p}{p} X_F, \quad x_B = \frac{\Delta p}{p} X_B \quad (5)$$

$$S = S_F + S_B = \frac{x_D}{K + x_F} + \frac{x_D}{K - x_B} \quad (6)$$

この時、 $X$  は 1 ピッチ内に記録できる最大の両眼視差量、 $x$  は実際に見ている画像間の両眼視差量、 $S$  は奥行き再現量である。また、下付の  $F$  は手前を意味し、下付の  $B$  は奥を意味している。この手順で設計されたレンチキュラー方式 3D ディスプレイを手にするると、観察者は手前に約 15~25mm 程度、奥に約 20~30mm、前後を加えると約 35~55mm 程

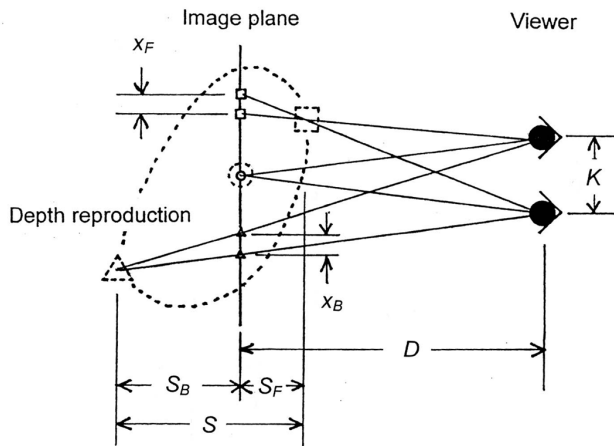


図 5.4-4 奥行き再現図

度の奥行き再現量（立体感）が得られることになる。

（山田千彦）

#### 参考文献

- 1) 大越孝敬：「三次元画像工学」、産業図書刊、(1972.6)
- 2) 新聞「印刷タイムス」、(1976.1)
- 3) N.A.Valyus：「STEREOSCOPY」、The Focul Press 刊、(1966)
- 4) R.Boerner：「Autostereoscopic 3D-imaging by Front and Rear Projection and on Flat Panel Displays」、DISPLAYS, Vol.14, No.01, (1993)
- 5) 山田千彦：「ステレオ印刷とその利用」、印刷雑誌、Vol.58, No.08, pp.19-25, (1975.8)
- 6) 山田千彦：「レンチキュラー板三次元画像」、画像ラボ、Vol.01, No.12, pp.17-22, (1990.12)
- 7) 山田千彦：「古くて新しい「ステレオ印刷」」、3D映像、Vol.16, No.03, pp.30-37, (2002.9)
- 8) 久富 潮、鈴木羊三：「レンチキュラーレンズをカクリーンとして用いる立体写真の方式」、第8回眼光学学会抄録集 (1972.9)
- 9) 郭 水泳、上田裕一：「臨床医学に三次元映像の到来」、映像情報、(1973.1)

### 5.5 ランダムドットステレオグラム

ランダムドットステレオグラム（RDS：Random Dot Stereogram）とは、一見何も認識できないランダムなドット構成の画像であるが、両眼立体視によって模様が立体的に浮かび上がって見えるステレオグラムの一種である。図 5.5-1 にその一例を示す。この図を水平に保ち、図上部の▼印を平行法で融像するようにすると、ランダムなドット画像の中に立体的な図形（文字「3D」）が浮かび上がって見える（交差法の場合は沈んで見える）。

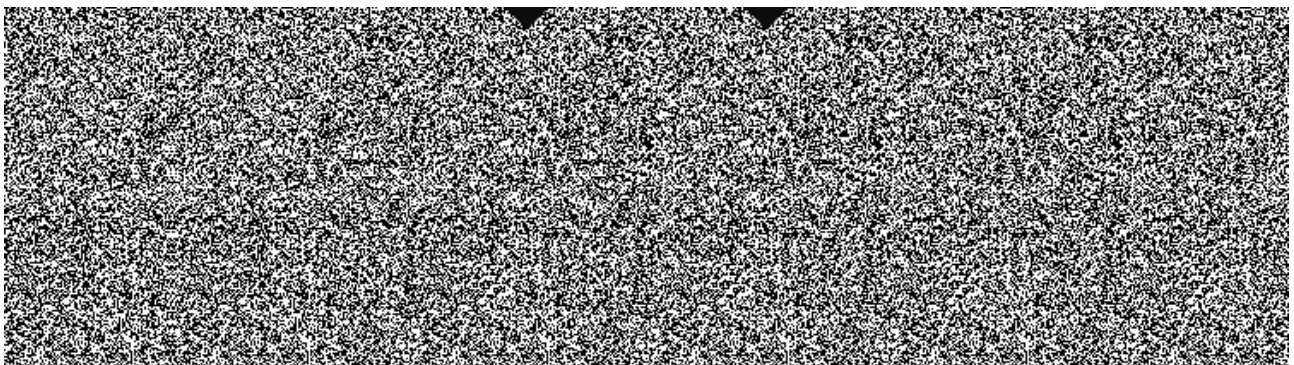


図 5.5-1 ランダムドットステレオグラムの一例

これは、一見ランダムなドット画像の中に「両眼視差」に対応した視差画像が隠されているためである。このような画像は、例えば、基準となるランダムドットパターンを用意し、奥行きに応じた視差量だけ離れた位置からドットパターンを複製することにより作成できる<sup>1)</sup>。

**RDS** は、もともと立体視のメカニズムを研究する手法として、1960年に **Bela Julesz** により考案された<sup>2)</sup>。**RDS** を用いて立体視を行う場合、立体感を与える諸要因のうち「両眼視差」のみが寄与し、網膜像の大きさや陰影などの網膜像から得られる諸要因は除去される。このため、経験に依存する立体視要因を除去した研究に用いられている。

一方、出版業界では、ランダムパターンから立体像が浮かび上がる不思議さと、簡単な印刷で立体表示できる手軽さから多くの書籍が出版されるようになり、これまでに2回の**RDS** ブームが起きている<sup>3)</sup>。1992年から1994年には、少なくとも数十冊の**RDS**に関する書籍が出版され一大ブームを巻き起こした。この時には多くのパソコン雑誌で**RDS** 作成のアルゴリズムやソフトウェアが紹介された。また、2001年から始まった第2のブームは2005年現在も継続している。**RDS** を見ることで目のトレーニングになり視機能の改善につながるという説もあり、「目の健康」というキーワードで**RDS** に関する多数の書籍が出版されている。

(北村 満)

#### 参考文献

- 1) 鏡 : O plus E No.154 (1992.9) 152-156
- 2) Bela Julesz : Binocular depth perception of computer-generated patterns, Bell Syst. Tech. J., vol. 39, No. 5, pp. 1125-1162, September 1960.
- 3) 鏡 : O plus E Vol.25 No.7 (2003.7) 817-820

## 5.6 アナグリフ、その他最近の情報

### (1) アナグリフ 赤青眼鏡方式

印刷、出版分野で三次元表現をする場合に、コストの面からアナグリフ方式が多く使われている。アナグリフ用眼鏡は左眼に赤、右眼に青のフィルターを用いるのが一般的である。画像は視差のある左眼用画像を赤フィルターの補色である青系統に、右眼用画像を青フィルターの補色である赤系統に着色加工し、その2つの画像を重ね合わせ作成する。この方式では印刷画像の色相とフィルターの色相の相性が悪いとクロストークが発生し、立体視が困難となることから印刷のカラーマネージメントが重要となる。最近では

(株) ナムコが提案する「遠山式」と称する方式<sup>1)</sup>がある。同様な方法が海外では Phantogram<sup>2)</sup>とも呼ばれ、通常は画像を正面から観察するように視差をつけるが、画像に対し正面 45° 下の方向から観察するような視差がつけられている。

## (2) CMY 方式

近年、CMY 方式と称する新しい 2 色眼鏡による方式が CYCORE 社から ColorCode3D として<sup>3)</sup>提案されている。この方式では、右眼用・左眼用それぞれの画像を分解するとき色配合比率を変え、中間色の藍 (Cyan) と黄色 (Yellow) を用いることで、赤青では表現しづらかった色を表現できるようにしている。CMY 方式の眼鏡は、左眼には黄色を透過するフィルター、右眼には青を透過するフィルターを用いている。この方式は印刷での利用はまだほとんどなく、最近発売された DVD<sup>4)</sup>でこの眼鏡を用いて立体視できるものがある。

## (3) ステレオビューア方式

この方式はレンズのついたビューア (専用眼鏡) を用いて並べて配置した 2 枚の視差画像を観察するものである。通常、必要なビューアが本に添付されていたり、本と一体化されてレンズ焦点面に画像がくるように工夫されたものもある。レンズを用いることからコストがかかってしまうが、忠実なカラー画像を立体視することが可能<sup>5)</sup>である。この方式ではビューアの光学設計が重要となる。また、専用レンズをつけない場合も多く、この方式では裸眼で立体視することも可能である。ただし、裸眼立体視には若干の慣れや、訓練の必要がある。

## (4) クロマデプス方式

光の波長によってプリズムでの屈折角度が異なることを用い、マイクロプリズムシートを眼鏡にして、屈折角度の違いを視差として立体視する方法がクロマデプス方式<sup>6)</sup>である。波長の長い赤系の色が浮いて見え、青系の色が沈んで見える。この方式では画像の色によって奥行きが決定してしまうため、画像に任意の視差を与えることができないことから擬似立体視方法といえる。

## (5) パララックスバリア方式、その他

出版物以外での印刷での利用例としては、3D 液晶の表示などで用いられているパララックスバリア方式がある。この方式はレンチキュラー方式に比べ画像が暗くなってしまう

ことから、印刷で用いることは少ないが、フィルム等に印刷して背面から照明する利用法はある。地下鉄の駅など特殊光源（通常の 4～6 倍の明るさが必要）による照明装置が備えられる場所での利用に限られる。

#### (6) まとめ

印刷、出版分野での立体映像の利用としては、レンチキュラー方式が数量では圧倒的に多く利用されており、ここで紹介した、アナグリフ赤青眼鏡方式、CMY 方式、ステレオビューア方式、クロマデプス方式、パララックスバリア方式などの利用の割合はそれほど多くはない。

(岸本 康)

#### 参考文献

- 1) 遠山茂樹、他：遠山式超立体写真集 Touch it!、小学館、2004.11 刊
- 2) U.S.Patent：US6389236、US6614427
- 3) ColorCode3D： <http://www.colorcode3d.com/>
- 4) 「タイタニックの秘密」：ジェネオン エンタテインメント、GNBF-1027、2004.07
- 5) 杉山誠：3D MUSIUM、小学館、1996.01 刊
- 6) 「スリーディー・スケープ」：株式会社アスキー、1997.01 刊

## 6 その他の分野における立体映像の利用

### 6.1 はじめに

その他の分野における立体映像表示の応用事例を調査するにあたって、関連する学術雑誌に加えて、新聞記事などの検索が可能な各種データベースを利用した（2004年12月28日に実施）。朝日新聞、AERA、週刊朝日の各ニュース記事を対象とした「聞蔵 DNA for Libraries」では、「立体映像」と「応用」をキーワードとして検索したところ、45件がヒットした。内容的には新技術の紹介記事が中心であり、とりわけVR関連のトピックとして1994年前後に集中していた。日経四紙記事全文、企業・人事情報などを対象とした「日経テレコン 21」では、同一キーワードで196件がヒットした。内訳としては日経産業新聞が116件と最も多く、内容的にはやはり技術的なトピックが中心であった。時期的には、1980年代の半ば、1990年代の半ば、そして2002年以降に多くの記事が見られ、10年前後の周期で社会的な関心が集まるという過去の指摘に、対応しているように思われた。応用という点では、医療分野と娯楽分野が多い傾向にあった。本節では、立体映像表示の活用が期待されるその他の諸分野として、事例を交え、以下に概観する。

### 6.2 娯楽分野における応用

立体映像の娯楽分野での応用としては、やはりTVゲームが中心となる。TVゲームは、大きく、ゲームセンターやテーマパーク向けのアーケード機と、家庭用のコンシューマ機に分類される。文献などの資料が乏しい分野であるため、主にインターネットを用いて調査したところ、アーケード機、コンシューマ機ともに、立体映像の応用事例が存在することが分かった。

まず、アーケード機では、筆者の調査した範囲においては、1980年代の後半に事例が集中しており、時分割方式を用いたシューティング（射撃風）ゲームが中心であることが分かった（表6-1）。他に、放物面鏡を用いて2次元画像を立体的に呈示する方式のアクションゲームが2タイトル、それぞれ1991年と1992年にセガより発売されている。

コンシューマ機では、時分割方式を用いた事例が、任天堂のファミコンとセガのマークIIIにみられた。まず、ファミコンでは、1987年から1989年にかけて7タイトルのゲームソフトが発売されており、ジャンルとしてはシューティングゲームが4タイトル、レースゲームが2タイトル、アクションゲームが1タイトルであった。一方、マークIIIでは、1987



年から 1988 年にかけて、3 タイトルのシューティングゲームと 1 タイトルのアクションゲームが発売されている。加えて、ファミコンでは、1987 年にアナグリフ方式のゲームソフトも 1 タイトル、発売されている。その後、任天堂は、立体映像表示に特化したコンシューマ機、バーチャルボーイを 1995 年に発売した。これは、ヘッドマウント方式と近似なビューワー型のゲーム機であり、赤色のみの表示という特徴的なものであった。ゲームソフトとしては、1995 年に 19 タイトルが発売されており、80 年代の事例に較べて、ゲームとしてのジャンルが多岐に渡っていることが分かる（表 6-2）。

表 6-1 アーケード機における応用事例

タイトル	メーカー	方式	発売年	ジャンル
サンダーセプター2	ナムコ	時分割方式	1986	シューティング
コンチネンタルサーカス	タイトー	時分割方式	1988	ドライブ
エンフォース	タイトー	時分割方式	1988	シューティング
バトルシャーク	タイトー	時分割方式	1989	シューティング
バトルバード	アイレム	アナグリフ方式	1986	シューティング

表 6-2 バーチャルボーイのゲームタイトル

タイトル	メーカー	ジャンル
ギャラクティック・ピンボール	任天堂	ピンボール
テレロボクサー	任天堂	ボクシング
とびだせ！ばにボン	ハドソン	パズル
マリオズテニス	任天堂	テニス
レッドアラーム	T&E ソフト	シューティング
T&E ヴァーチャルゴルフ	T&E ソフト	ゴルフ
バーチャルプロ野球'95	ケムコ	野球
バーティカルフォース	ハドソン	シューティング
V-テトリス	BPS	パズル
スペーススカッシュ	ココナッツジャパン	アクション
マリオクラッシュ	任天堂	アクション
ジャック・ブラザーズの迷路でヒーロー！	アトラス	アクション
バーチャルフィッシング	パック・イン・ビデオ	釣り
インスマウスの館	アイマックス	アクション
スペースインベーダー	タイトー	シューティング
ワリオランド アワゾンの秘宝	任天堂	アクション
バーチャル LAB	J・ウイング	パズル
バーチャルボウリング	アテナ	ボウリング
SD ガンダム DIMENSION WAR	バンダイ	シミュレーション

その他の娯楽という意味では、立体映像を用いたパチンコ機の事例が上げられる。近年では、2003 年 4 月に「CR 浮世絵（図 6-1）」、2004 年 11 月に「CR ジャングルビート」が、それぞれ株式会社西陣より出荷された（開発・製造は、株式会社ソフィア）。これらは、微細な偏光素子であるマイクロボールを利用した裸眼方式の立体ディスプレイであり、

河合らは当該機種の視覚機能に与える影響の評価を行った<sup>1)</sup>。



図 6-1 CR 浮世絵における立体映像表示例

### 6.3 映画・映像分野における応用

テーマパークなどでの大型映像や展示映像では、立体映像表示が広く応用されているが、近年の動向としてメジャー系映画の立体版の製作・公開があげられる。

最近作では、2004年12月に公開された「ポラー・エクスプレス（ワーナー・ブラザーズ映画）」の3Dバージョンがある。表示には偏光フィルタ方式が用いられ、品川IMAXシアターのみで上映されている（2005年1月現在）。当該作品は、字幕版と日本語吹替版が存在し、字幕は画面の外に表示するという方式が採用されている。これは、画面前方に表示された対象に文字が重なった際に、奥行き情報の矛盾を回避することが目的と考えられる。

一方、家庭用のDVDとして、「スパイキッズ 3-D：ゲームオーバー 飛び出す！ DTSスペシャルエディション 初回限定 3D & 2D 2枚組（アスミック・エース エンタテインメント）」が2004年3月に発売されている。これは、2003年10月に、アナグリフ方式を用いて、全国の映画館で公開された作品である。また、2004年7月に発売されたDVD「ジェームズ・キャメロンのタイタニックの秘密 3D プレミアム（ジェネオン エンタテインメント）」では、シアンとイエローのフィルタを用いたアナグリフ方式が採用されている。

### 6.4 教育分野における応用

立体映像の教育分野における応用としては、学校教育における抽象概念の映像化をはじめとして、社員教育における商品の説明や見本の表示、医学教育における医学標本の表示、

自動車の運転シミュレータなど多岐に渡って期待されてきた<sup>2)</sup>。しかしながら現状では、医学教育を除くと高等教育での事例は乏しく、初等教育における実験的な取り組みにかかる報告が、いくつか散見される程度にとどまっている。

具体例として田幡は、科学雑誌において立体写真を用いて立体視の仕組みについて解説を行った<sup>3)</sup>。河合らも、同様に立体視の仕組みの理解を目的として、小学校中・高学年を対象とした教育イベントを実施し、その様子やアンケート結果について報告している<sup>4)</sup>。これらは、立体視に関する体験学習に立体映像表示を行うというものであり、応用例としては分かりやすいといえるが、その他の科目や課題への適用についても、併せて検討される必要がある。

また、近年の情報通信技術の発達に伴って、教育環境や教材の高度化が推進されており<sup>5)</sup>、そうした動向に呼応する形でネットワークを介した立体映像の利用も検討されている。例えば林らは、ギガビットネットワークを用いて各地に点在する科学館や博物館を相互接続し、インタラクティブな立体映像を伝送する、遠隔地間の共同体験学習システムの開発を行った<sup>6)</sup>。風間らも、ギガビットネットワークを用いた立体映像の教育利用について、画質などの諸要件に関する評価実験を行っている<sup>7)</sup> (図 6-2)。



図 6-2 風間らによるギガビットネットワークを介した教育イベントの実施風景

## 6.5 文化・芸術分野への応用

デジタルアーカイブは、貴重な文化遺産などを、映像情報メディア技術を用いて保存・蓄積・修復・公開することによって、次世代に正しく継承していくことが目的であり、国内外で多くの取り組みがなされている。河合らは、奈良県薬師寺の薬師三尊像やスペインの修道院をテーマとした立体映像コンテンツの制作・公開を行ってきたが<sup>8),9)</sup>、博物館や美術館におけるデジタルアーカイブの立体映像表示は未だ希少といえる<sup>10)</sup>。その原因として、技術的な関心が、表示よりも3次元計測等の構築に集まっていることがあげられる。

近年の、立体映像を用いた文化・芸術分野での取り組みとしては、柴田らが中国雲南省

チベット族自治州において行った、民族芸能の立体撮影の事例がある<sup>11)</sup>。また、新川らは、現代美術作品に特化した立体映像の撮影手法について実験的な検討を行った。結果から、パンフォーカス法は美術作品の傾向によっては必ずしも妥当ではなく、焦点を絞って背景をぼかした撮像法が叙情性を高め、美術作品の伝達や観察にも効果的であることを指摘した<sup>12)</sup>。さらに井上らは、ギガビットネットワークを介した立体映像の多視点ライブ通信システムを構築し、音楽コンサートの配信と評価を行っている<sup>13)</sup>。



図 6-3 河合らによる薬師三尊像の立体映像コンテンツ

## 6.6 健康・福祉分野における応用

映像情報メディアの健康・福祉分野への応用において、立体映像表示を伴うものでは、二瓶らによる事例が先駆的と思われる。二瓶らは、先天性筋ジストロフィー症、白血病、リュウマチなどの患児に対して、動物園の立体映像コンテンツを呈示した。その結果、精神的効果、体験効果、学習効果、訓練効果がそれぞれ認められたことを報告している<sup>14)</sup>。柴田らは、高齢者を対象とした立体映像リハビリテーションシステムを試作し、ADL (Activity of Daily Living: 日常生活動作) に基づく被験者の選定と歩行訓練による評価を行った<sup>15)</sup>。また、大須賀らは、インタラクティブな立体映像を用いたシステムを開発し、要支援・要介護者を対象としたデイサービスセンターのグループレクリエーションへの有効性の検討を行っている<sup>16)</sup>。

このような、病院や介護施設に加えて、職場や家庭などの身近な場面での利用も注目されている。河合は、疲労やストレス軽減のための立体映像表示に関する取り組みを行ってきたが<sup>17)</sup>、近年では眼精疲労解消用の RDS (Random Dot Stereogram) やステレオ写真

を掲載した書籍<sup>18),19)</sup>、時分割方式による DVD パッケージ<sup>20)</sup>などが市販されるようになってきた。宮尾らは、VDT 作業による眼精疲労の解消を目的とした、ステレオグラムの表示ソフトウェアを評価し、使用 4 週間後にユーザの作業時視力が向上したことを報告した<sup>21)</sup>。また、太田らは、マイクロポールを用いた偏光方式による眼精疲労解消システムを試作し、若年者と壮年者を対象とした評価結果について報告している<sup>22)</sup>。

## 6.7 おわりに

本節では、立体映像表示の活用が期待されるその他の諸分野として、筆者の携わってきたものを交え、最近の事例について紹介した。いずれの分野においても、実験的な取り組みが中心であり、立体映像表示が活用されているとは言えないのが現状である。ここでは本節のむすびとして、各分野における課題について、簡単に述べたい。

まず、娯楽分野の TV ゲームソフトは、シューティングゲームがほとんどであった。これは、射撃を行う際の距離感や位置関係を分かりやすく表示するという、作り手側の意図と考えられるが、結果としてキラーコンテンツとはならなかった。このことは、立体映像表示による奥行き弁別の向上はあったとしても、TV ゲームの本質的な面白さの向上につながらなかったことを示唆している。したがって、立体映像表示が必然的な、つまり立体であってはじめて面白いというゲームデザインが、今後の課題と考えている。市場規模という点では、縮小傾向が予想される玩具・ゲームコンテンツ関連市場に比べて<sup>23)</sup>、パチンコ関連機器の市場規模は好調に推移している<sup>24)</sup>。中でも、遊技機の液晶ユニットの市場規模は 1,840 億円、LED の市場規模が 172 億円と、いずれも拡大基調であることから、立体映像表示の応用分野として期待できる。

次に、映画・映像分野では、映画館での上映設備や家庭での再生機器の制約から、アナグリフ方式が採用される場合が多い。アナグリフ方式では、フルカラー表現の困難さやディスプレイの色調によるクロストークの発生に加え、視野闘争などによる眼精疲労が問題である。換言すれば、表示機器と方式の共用性が課題である。今後、デジタルシネマへの対応を目的とした映画館のリニューアルや、デジタル放送への対応を目的とした家庭用テレビの買い替えといったタイミングが、当該分野の課題を解決するための契機の 1 つと考えられる。

教育分野では、立体映像表示に適した科目や対象の検討と、教育効果の評価が課題といえる。市場性としては、ネットワークを介した立体映像の教育利用が期待されるが、教員が自由にカスタマイズ可能なオーサリングツールやフォーマットの標準化といった、環境

整備が課題として残されている。

文化・芸術分野では、立体映像表示による作品や事例の調査そのものが、困難であった。これは、1 つにコンテンツ系の学・協会が少ないことに起因していると思われる。このことは、同時に、技術系とは異なるクリエイティブな情報の共有を困難にしていると推測されるため、クリエイターやプロデューサ等の人材育成と併せ、課題として指摘しておく。

最後に、健康・福祉分野で紹介した、現代病とも言われる眼精疲労の解消は、社会的な関心の高い応用事例の 1 つと考えられる。従来、立体映像表示による眼精疲労が懸念されてきたが、これとは全く逆の利用方法という点で興味深いといえる。一方で、臨床的な知見や報告の乏しい現状において、効果ばかりを強調することは、懐疑的な印象を与えてしまう可能性も否定できない。そのため、科学的なデータに基づいた、エビデンスベースドな取り組みが重要である。

(河合隆史)

#### 参考文献

- 1) 河合隆史, 柴田隆史, 裸眼立体ディスプレイを用いたパチンコ機の視機能に与える影響, 3次元画像コンファレンス 2003 講演論文集, 85-88 (2003)
- 2) 羽倉弘之, 三次元映像による教育分野への応用, テレビジョン学会技術報告, 12 (5), 1-4 (1988)
- 3) 田幡憲一, 生物を究めよう 3D写真で立体視を学ぶ, 生物の科学 遺伝, 別冊 (10), 102-104 (1998)
- 4) Takashi Kawai, Takashi Shibata, Kageyu Noro et al, Stereoscopic 3-D images and Open Learning, Proceedings of VSMM2000, 339-345 (2000)
- 5) 松山隆司, 視覚情報処理技術を使った教材, 教育環境の高度化, 情報処理学会研究報告, 2000 (51), 83-84 (2000)
- 6) 林達郎, 桃井直美, 芝原弘泰, ほか, ギガビットネットワークを活用した高臨場感遠隔共同体験学習システムの研究開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 102 (433), 37-40 (2002)
- 7) 風間瑞穂, 柴田隆史, 河合隆史, ほか, ブロードバンドネットワークにおける立体映像の教育利用, 人間工学, 38 (Supplement), 380-381 (2002)
- 8) Takashi Kawai, Hidenobu Takao, Tetsuri Inoue et al, Virtual museum of Japanese-Buddhist temple features for intercultural communication, 3295, 144-147 (1998)
- 9) Takashi Kawai, Takashi Shibata, Takayoshi Mochizuki et al, Production of

stereoscopic 3-D movies of a Spanish monastery for a digital archive, Proceedings of SPIE, 3957, 284-287 (2000)

- 10) デジタルアーカイブ推進協議会, デジタルアーカイブ白書 2004 (2004)
- 11) 柴田隆史, 寺島信義, 服部等作ほか, 立体映像によるチベット民俗芸能の記録, 3D 映像, 16 (4), 11-15 (2002)
- 12) 新川貴詩, 寺島信義, 2 眼式立体映像による現代美術作品撮像のパンフォーカスに関する検討, 3D 映像, 16 (2), 56-57 (2002)
- 13) 井上哲理, 小宮一三, 梅沢昭太郎ほか, 多視点立体映像ライブ通信に関する評価実験, 電子情報通信学会大会講演論文集, 2001 (基礎・境界), 344 (2001)
- 14) 二瓶 健次, 白川公子, 吉川泰弘ほか, DVI システムを用いた仮想現実体験ビデオ "動物園へ行こう" の長期入院する小児難病患児への応用, 3D 映像, 7(1), 28-33(1993)
- 15) 柴田隆史, 河合隆史, 寺島信義ほか, 高齢者を対象とした立体映像リハビリテーションシステムの開発と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 6 (1), 19-25 (2001)
- 16) 大須賀美恵子, 羽島一夫, 平澤宏祐ほか, 心身の活性化を目的とした遊びリハビリテーションシステムの開発 (第三報), 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, 245-248 (2002)
- 17) 河合隆史, 映像情報メディアと癒し ストレスや疲労に処方するコンテンツ制作, 人間生活工学, 3 (4), 25-30 (2002)
- 18) 21 世紀 3D アート眼力向上研究会, 栗田昌裕, 楽しく遊んでみるみる目が良くなるマジック・アイ, ワニブックス (2001)
- 19) 栗田昌裕, 3D 写真で目がどんどん良くなる本, 三笠書房 (2001)
- 20) アイパワースポーツ・オフィシャルサイト, <http://www.ep-s.jp/>
- 21) 宮尾克, 松下誠司, 中石仁ほか, パソコンに搭載された立体映像によるリラクゼーション効果, 日本人間工学会誌, 36 (Supplement), 212-213 (2000)
- 22) 太田啓路, 河合隆史, 柴田隆史ほか, 立体映像の眼精疲労解消への応用, 3 次元画像コンファレンス講演論文集 2003, 97-100 (2003)
- 23) 矢野経済研究所, 玩具産業白書 2005 年版 (2005)
- 24) 矢野経済研究所, 2004 年版 パチンコ関連メーカーの動向とマーケットシェア (2004)

## 第IV章 立体映像のシステム化技術等

1	立体映像入力機器	121
2	立体映像の情報量	126
3	三次元映像生成・処理技術	131
4	立体映像情報の保存・伝送	144
5	立体映像の標準化	149
6	立体映像の安全性とガイドライン	154
7	立体映像表示の海外動向	161



## 第IV章 立体映像のシステム化技術等

### 1 立体映像入力機器

#### 1.1 はじめに

「立体映像」と聞くと、二枚の写真を見る、眼鏡をかけてスクリーンを眺める、あるいはホログラムを見るなど、意識せずに「観察系」あるいは「表示系」を思い浮かべてしまう。また近年それらの映像の多くは、計算機の発達に伴ってCG (Computer Graphics) による「作られた映像」になっている。しかし、実際の光景を立体映像として鑑賞するには、何らかの手法で撮影しなければならない。CG であっても、元となる映像の素材は、実写されたモノであることが多い。

普通のカメラ（ごく一般的なスチールカメラやビデオカメラ）は、フィルムや撮像素子上に三次元空間の光景を二次元平面像として捉える。失われたひとつの次元は、光景の持つ奥行き情報である。立体映像では、この奥行き情報を如何に「撮影」するかが問題となる。本章では、奥行き情報を伴う映像の取得装置についてまとめてみたい。

#### 1.2 視差方式

人間の左右眼は成人で約 65mm の眼幅をもち、物体を観察する方向は左右で異なる。これにより視差のある映像を取得し、奥行き情報を知覚している（もちろん人間が取得する奥行き情報は視差だけではない）。異なる場所から撮影した視差のある映像を組み合わせることで立体映像を得る方法を視差方式と呼ぶことにする。

##### 1.2.1 二眼式

最も基本的なものは、右目用と左目用の 2 台のカメラを用意して 1 組の視差画像を得る方式。「二眼式」と呼ばれることが多い。古くは一つの筐体にレンズ 2 本を並べて 35mm フィルム上に左右の画像を撮影するステレオカメラが盛んに発売されていた。被写体に動きがないのであれば、1 台のカメラを左右に移動させて 2 枚の写真を撮影しても良い。ミラーによって視差を作り出すステレオアダプタ（図 1-1）では、デジタルカメラでもステレオ写真を簡便に撮影することができる。この例では、撮像素子を縦に 2 分し、視差像を同



図 1-1 ステレオアダプタ（ペンタックス）



図 1-2 3D ビデオアダプタ（3DCOM）

時に撮影するが、フォーマットは縦位置になってしまう。これ以外にも、水平方向に2分する方法もある。動画用のステレオアダプタ（図 1-2）<sup>1)</sup>は、左右像を時分割で記録するものである。この場合はフルサイズでの撮影が可能である。光学的には他に瞳分割方式もあるが、機構が複雑なためか、製品化されたものの短命に終わっている。

風景撮影など撮影距離が長い場合では、左右のカメラの光軸（向き）は略平行に設置し、深度（ピントが合う範囲）を深くするとよい。一方、極端に近距離の物体を撮影する際には、各々の光軸は物体を見込む角度（輻輳角）に設置する、眼幅を短くする、深度を浅くする、といった工夫が必要である。双眼実体顕微鏡では、ピント位置と輻輳が連動している場合が多いものの、視野角・ピント位置・被写界深度・輻輳角の関係についての十分な検討が為されたものは少ない。

### 1.2.2 多眼方式

二眼方式で得られる1つの視差像（1つの視点からの像）では、光景全てを三次元的に記録してはいない。頭を左右に振れば見える映像は異なるのが自然だが、この視点の移動には対応していない。「多眼方式」は、多視点からの複数の視差像を取得する方法と捉えることができる。主な手段としては、

- A：1台のカメラを高速に水平移動させて順次撮影する
- B：3台以上のカメラを用いて同時に撮影する
- C：ハエの目レンズを用いて同時に撮影する

Bの例では、水平に多数のカメラを並べる場合（直線上に並べる／円弧あるいは円形に並べる）や、垂直方向にも並べる場合がある。多眼方式は、多視点映像の表示可能なディスプレイの開発に伴って需要が出てくると考えられる。水平方向については、必要な眼数＝表示可能な視点数＋1、で有ることは自明である。さらに、超多眼ディスプレイ用の入力方法としては、数十から100視点程度を用意する必要があるが、カメラ間隔を狭くするの

には限界があるため、カメラを 10 台程度として、その間の映像を視差補間処理により算出するシステムが提唱されている<sup>2)</sup>。

### 1.3 干渉方式

光を波としてみた場合、物体からの波面情報を全て撮影し、再現できれば、その物体を三次元的に表示できることになる。波面そのものを単独で捉えることは困難であるが、位相のそろった別の波面（参照光）と合わせて干渉を起こさせ、生じた干渉縞を記録することは可能である。この干渉縞には、物体の明暗情報（振幅）と光が来た方向の情報（位相）が含まれており、参照光と同様な波面（照明光）を与えることで生じる回折光が、物体からの光波として再生される。

#### 1.3.1 ホログラフィ

干渉方式＝ホログラフィと捉えることができる。入力機器として捉える場合、多くは数千本/mm の超高解像度を有する写真乾板が用いられる。通常物体からの反射光はそのまま乾板に送られるが、イメージホログラフィのように光学系を介して実像としての波面を記録する方法もある。作成されたホログラムが他のホログラフィのマスターホログラムとして作成されるレインボーホログラムなどもある。

ホログラフィ技術として、物体からの複雑な波面ではなく平面波や球面波など簡単な波面を記録したホログラフィック光学素子（HOE）がある。角度選択性・多重記録性・波長選択性・波面変換特性などを有しており、平板な HOE が様々なレンズやフィルタとして機能させることができる。ディスプレイ機器の一部として装置の小型化などへの応用が考えられている<sup>3)</sup>。

#### 1.3.2 干渉縞の電気的入力

ホログラム用乾板の位置に CCD などの光電変換素子を配置すれば、電気的に干渉縞を記録することができる。これらデジタルホログラフィ技術では、写真乾板の 1/100 程度の解像度しかない CCD を用いても干渉縞を記録できるための工夫がなされている(図 1-3)<sup>4)</sup>。残念ながらリアルタイムでの動画には対応できていないのが現状である。

物体光と参照光からなる干渉縞そのものをコンピュータにより計算で求めることは可能

であるが、そうして得られた縞パターンを如何に再現するかが問題となる。この計算機合成ホログラム (CGH) の詳細は、第 II 章 3.1 と第 III 章 5.3 に記述されている。

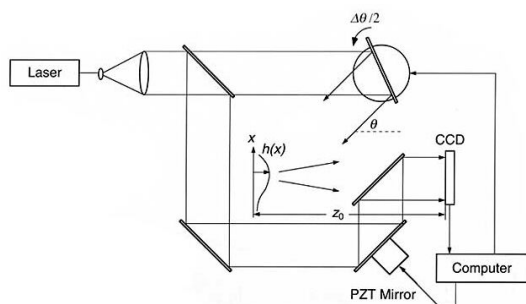


図 1-3 デジタルホログラフィの原理<sup>4)</sup>

## 1.4 モデリング技術

三角測量を考えると、対象物からの光を異なる 2 地点で観測する方法 (二眼方式など) 以外に、一方の地点から発した光を物体からの反射として捉える方法もある。格子パターンやスリット光を対象物に投影する光切断法やモアレパターン法 (図 1-4)<sup>5)</sup> やスポット光を投影する方法などがある (図 1-5)<sup>6)</sup>。もちろん、カメラ側から見えない部分の情報は取得できないため、対象物を回転させるか、カメラが周囲を回る必要がある。またこの方法では、凹凸形状の測定が行えるが、明暗や色の情報は得られない。立体視を行い映像とするためには、別途撮影した画像を貼り付ける (マッピング) 作業が必要となる。



図 1-4 モアレ 3D カメラ (OPTON 社<sup>5)</sup>)



図 1-5 三次元スキャナ (ローランド DG<sup>6)</sup>)

## 1.5 断層画像の積層

物体内部の構造を非破壊的に三次元情報とするため、平断面像を積層してボリュームとする方法がある。平断面像の取得には、超音波や X 線が用いられる。発した超音波の反射を利用して直線上 ( $x$  方向) の奥行き情報を取得する (この段階でその方向の奥行き情報

は得られている)プローブを、複数並べるか走査させて(y方向)断面像を形成する超音波画像に対して、X線CT(X-ray Computed Tomography)では、多数方向からの投影情報(個々には奥行き情報は圧縮されていて見えない)を演算して断面像(x, y)を求めている。これらをz方向に積層することで、内部構造を立体として捉えられる。

## 1.6 おわりに

立体映像の入力装置について簡単にまとめてみた。視差映像をそのままディスプレイに送ることの可能な機器は、分類上少ない。コンピュータによる支援を通して3D-CGとして扱うためのデータ入力機器の割合が多いが、動画像への対応は道半ばである。また、2D画像+奥行き画像を得る3Dカメラ<sup>7)</sup>など、十分紹介し切れていない情報もある。表示装置の機構に合わせた入力装置が必要な場合も多く、その際の映像記録規格などの整備にも入力機器は対応しなければならないであろう。

経済産業省の平成14年工業統計表<sup>8)</sup>による出荷金額は、携帯電話で1兆5886億円、ビデオカメラで8765億円である。立体動画撮影機能が搭載された機器が両機種合計の1/10とすれば、2465億円と試算できる。これらは入力装置単体ではなく、ディスプレイを含んでいる。

(関谷尊臣)

### 参考文献

- 1) [http://www.j-3d.com/products/nu\\_view.html](http://www.j-3d.com/products/nu_view.html) or <http://www.atex.pos.to/3dadapter.htm>
- 2) 超多眼ディスプレイに向けたリアルタイム視差補間システムー処理の実装と評価ー, 浜口忠彦他, 3次元画像コンファレンス2002講演論文集, pp129-132(2002)
- 3) ここまで来た立体映像技術 志水英二・岸本俊一 K Books 156(2000)
- 4) <http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/patent/2001/no.20/>
- 5) <http://www.opton.co.jp/>
- 6) <http://www.rolanddg.co.jp/>
- 7) 3次元カメラ(Axi-visionカメラ)とその応用, 川北真宏, 3次元画像コンファレンス2003講演論文集, pp121-124(2003)
- 8) 平成14年工業統計表「品目編」概況データ(経済産業省)  
<http://www.meti.go.jp/statistics/>

## 2 立体映像の情報量

立体映像表示方式には様々なものがあり、その情報量を単純に比較することは難しい。本文では文献<sup>1)</sup>の観察形態を規定した場合の情報量の比較をもとに一部加筆を行い、ホログラムの情報量の削減法についても示す。

まず、様々な立体像表示方式について、1枚(1コマ)を記述・表現するのに必要な情報量について述べる。その際、表示・観察する物体および立体像の観察条件として、図2-1に示す場合を仮定する。

まず、立体像を両目で観察する場合の観察者の視力を1.0、と仮定する。視力の定義は、目の分解能の視野角度を分で表し、その逆数をとったもので、この角度が0.5分な

ら、視力は2.0、2分なら、視力は0.5となる。また、以下では白色またはモノカラーの画像を扱うこととする。

この定義により、視力を1.0、物体までの観察距離を $z_k$ とすると、表示すべき像の物体面で必要なサンプリング間隔 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ は、次式で与えられる。

$$\Delta x, \Delta y = \frac{1.0 \times \pi}{60 \times 180} \times z_k \quad (2.1)$$

例えば、 $z_k = 500\text{mm}$ とすると、 $\Delta x, \Delta y = 0.145\text{mm} \doteq 0.15\text{mm}$ となる。即ち、物体面でのサンプリング間隔( $\Delta x, \Delta y$ )は、 $0.15\text{mm}$ とすればよい。 $x, y$ 方向ともに、 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ の大きさとするれば、それらの方向へのサンプル点数は、 $670 \times 670$ 点となる。

一方、両目で物体を見た場合の奥行き方向(図2.1での $z$ 方向)分解能は、 $x-y$ 方向に比べて一桁程度悪いので、 $1.5\text{mm}$ とする。奥行き方向に深さ $100\text{mm}$ の表面物体を記述す

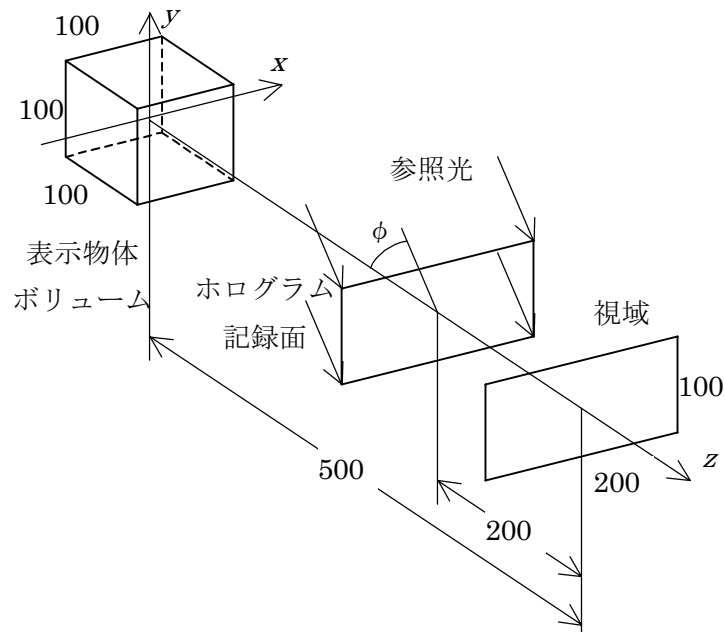


図 2-1 情報量の検討のための構成図  
(長さの単位は mm)

るためには、約 67 点で標本化すればよい。即ち、必要な 3 次元座標の点の数は、 $670 \times 670 \times 67 = 30,075,300$  点となる。各サンプル点の明るさを 256 レベル (8 bit = 1 Byte) で表すとすれば、この 3 次元表面形状を表現するためには、 $30,075,300 \text{ Byte} = 30.1 \text{ MB}$  程度となる。3 次元コンピュータグラフィックスの分野では、この情報量を少なくするために、形状の変化が緩やかな部分については、3 次元の点を省く方法が一般的に用いられている。

立体画像の情報量を議論する場合には、観察面 (両目を置く面) を制限することが不可欠である。ある範囲内に両目を置いた時に両目に視差を伴った画像全体が見える領域を、視域と呼ぶ。ここでは、この視域の大きさを、200mm (水平方向 (H))  $\times$  100mm (垂直方向 (V)) とする。

まず、一枚の画像の情報量について考える。これは、前述のように、観察者の視力から、必要な情報量が決まる。即ち必要な画素数は、同じく  $670 \times 670$  画素の画像であればよいから、1 画素のグレイレベルを 256 階調とすれば、449 KB である。

次に、立体表示に必要な画像の枚数を考える。目を視域内で左右・上下に動かした時に自然に見え方が変わっていくためには、視差画像のサンプリング間隔 (図 2-1 の視域面での間隔) は観察者の瞳の大きさ以下であれば良い。この目の瞳の直径を 4mm とすれば、サンプリング間隔は 4mm とすればよい。よって、このサンプル点数は、 $200/4 \text{ (H)} \times 100/4 \text{ (V)} = 1,250$  点となる。水平方向だけの視差画像列の場合には、50 点でよい。視域面全体に必要な情報量は、画像一枚の情報量の 1,250 倍 (水平垂直両方向視差を持たせる場合) の 561 MB、50 倍 (水平方向視差のみの場合) の 22.4 MB となる。視域面で 4mm ずつ離れた位置から撮影した画像は非常に似ている、即ち冗長性が非常に高いので、全体としての情報量の大幅な低減 (情報量の圧縮) が可能である。水平方向のみの場合、1/10 に圧縮が可能とすれば、約 2.2 MB になる。これらに関する研究もおこなわれ始めている。

次に、ホログラムの情報量について検討する。ホログラムの種類としては、フレネル・ホログラムを考える。そして、そのホログラムの位置は、図 2-1 に示すように、視域面から 200mm 物体側に寄った  $z$  軸と垂直な平面とする。即ちこの面で作成されたホログラムを通して、その奥に再生される立体像を見る場合を想定する。この配置で、前述の視域の大きさを実現するためには、水平方向のホログラムのサイズは、160mm となる。垂直方向については、同じ 100mm である。ホログラムの記録には、物体表面をレーザー光で照明しなければならない。フレネル・ホログラムであるので、再生にもレーザーが必要である。ここで用いるレーザーは He-Ne レーザーとする。そのレーザー光の波長は、 $0.633 \mu\text{m}$  である。

ホログラムの記録・再生表示のためには、物体光とある角度を持って、同一のレーザー

からのレーザー光をホログラム面に入射し（これを参照光波面と呼ぶ）、物体光波と干渉させ、その結果として生じる干渉縞パターンを写真的に記録する必要がある。参照光を平行光とし、 $y-z$ 面に含まれるように、斜め上方向から入射させるとする。その $z$ 軸となす角度を $\phi$ とすれば、ホログラム面での干渉縞の平均間隔 $P$ は次式で与えられる。

$$P = \lambda / \sin \phi \quad (2.2)$$

この角度が小さいほど干渉縞間隔が大きくなり、サンプリング間隔も大きくできる。しかし、これを小さくしすぎると、再生観察時に、照明（レーザー）光が観察者の目に直接入るといった問題が生じる。この問題を避ける最小の参照光入射角度は、ホログラム面を通過した光が視域に入らないという条件から、この参照光の $z$ 軸となす角度 $\phi$ は約 26.6 度になる。

この角度で平行参照光をホログラム面に入射した場合のホログラム面で最も細かい干渉縞の間隔 $Q$ は、ホログラム面から物体の最も下方向と参照光とのなす角度を $\gamma$ とすれば、次式で与えられる。

$$Q = \lambda / \sin \gamma \quad (2.3)$$

この場合には、 $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ 、 $\gamma = 45$ 度であるから、 $Q = 0.895 \mu\text{m}$ となる。即ち垂直方向については、この半分の  $0.448 \mu\text{m}$  のピッチでサンプリングしなければならない。水平方向については、 $\gamma$ の最大値は 14.6 度であるから、サンプリング間隔は  $1.26 \mu\text{m}$  となる。よって、全体のサンプル点数は、 $1.27 \times 10^5$  (H)  $\times 2.23 \times 10^5$  (V)  $= 2.84 \times 10^{10}$  となる。各サンプル点での光強度を 1Byte で量子化するとすれば、全体での情報量は、28.4 GB になる。垂直方向への視差を無くした場合、垂直方向に必要な第 1 ホログラムの幅を 5mm とすれば、全体の情報量は、1.42 GB 程度になる。また、AOD を利用したホログラフィックテレビジョンのように、垂直方向には走査線とした場合は、走査線数 670 本とするとサンプル点数は、 $1.27 \times 10^5$  (H)  $\times 670$  (V)  $= 8.51 \times 10^7$  となる。

以上のことを比較しやすくするために、その結果を表 2-1 に示す。3次元物体の表面をサンプリングしたものよりも、立体表示のほうが必要な情報量が多くなっているが、その理由はサンプリングした体積より広い範囲での表示が可能のためである。この表でわかるように、ホログラム 1 枚の持つ情報量は、他のそれに比べて 2 桁程度多い。ただし、水平視差のみで縦方向を走査線とした場合は多視点方式の 4 倍程度である。超多眼方式<sup>2),3)</sup>で



表 2-1 各種の立体ディスプレイに必要な情報量

考え方の種類		水平×垂直 (Full Parallax)	水平のみ (Horizontal Parallax Only)
1	3次元物体表面サンプリングによる情報量	30.1 MB	なし (設定できない)
2	観察位置からの画像列の情報量	561 MB * 視域面で 4mm 間隔	22.4 MB
3	ホログラム：参照光を入射した場合の光強度分布のサンプリングによる情報量	28.4 GB	1.42 GB (垂直方向：5mm) 85.1 MB (走査線：670本)

提案されているように、視域において単眼に複数の光線が入るように標本化間隔を半分の 2mm にした多眼表示では、走査線式ホログラムとの情報量の違いはわずか 2 倍となる。

ホログラムに必要な情報量が膨大となる理由は、ホログラムの分解能の高い冗長性にある<sup>4)</sup>。ホログラムから再生される像の分解能は、ホログラム全体を開口とする回折により決まり、図 2-1 の条件では  $3.8\mu\text{m}$  となり、視力 1.0 での分解能の 40 倍ほどになる。ホログラムの分解能を低下させるには、ホログラムを小さくすれば良いが、それでは視域も狭くなってしまふ。ホログラム全体を小さくするかわりに、図 2-2 の様にホログラムを多数の小領域 (ストライプ状あるいはタイル状) に分割し、データを「間引き」することで視域を変えずに情報量を低減する方法が提案されている<sup>4),5)</sup>。図 2-2 において、斜線で塗りつぶしてある部分がホログラムで、白い部分は間引かれた部分である。間引きの割合を増やしていくと、ホログラム部分の割合が減って、再生される像の輝度が低下する。その場合は、ホログラムを空白部分に転写すればよい。ホログラムを分割したことにより、表示される像の分解能は低下するが、転写をした場合は多重像によるボケでさらに分解能が低下し、双方を合わせたものが全体の分解能となる。分割したホログラムが大きいと、回折によるボケは小さいが多重像によるボケは大きくなり、逆に分割が小さいときは回折によるボケが大きくなって多重像によるボケは減少する。すなわち、総合的な分解能の低下を最小にする最適な分割サイズが存在している<sup>4~7)</sup>。実際に音響光学偏向素子を用いたホロ

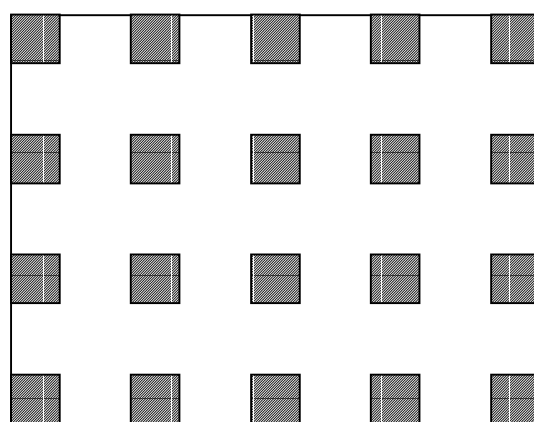


図 2-2 間引きによるホログラムの情報量低減

グラフィックテレビジョンで、間引き量と画質の関係を主観評価により調べたところ、情報を4分の1まで低減しても画質の変化はあまり気にならないという結果が得られている<sup>7)</sup>。

また、2次元画像におけるJPEGやMPEGの様に、ホログラムの干渉縞情報を圧縮する方法についても基本的な試みがなされている<sup>8,9)</sup>。しかし、ホログラム情報に適した圧縮方法については、まだまだ研究の余地が残されている。これに対して、計算機合成ホログラムなどで、ホログラムの計算を表示装置側で高速に実行が可能であれば<sup>10,11)</sup>、干渉縞情報のかわりに3次元形状データを送ればよく、効果的な情報圧縮が実現できると考えられる。

(吉川 浩、本田捷夫)

#### 参考文献

- 1) 本田捷夫：“立体映像技術とホログラフィー”，日本写真学会誌，65，1，pp. 10-14 (2002)
- 2) Y. Kajiki, H. Yoshikawa and T. Honda: “Ocular accommodation by Super Multi-View Stereogram and 45-view stereoscopic display,” Proc. of the third International Display Workshops (IDW'96), vol.2, p.489-492 (1996)
- 3) 須佐見憲史，下松雅也，永井大輔，梶木善裕，圓道知博，畑田豊彦，本田捷夫：“超多眼立体画像に対する輻輳・調節・瞳孔反応”，3次元画像コンファレンス2001講演論文集，p.121-124 (2001)
- 4) 大越孝敬：“3次元画像工学”，第8章，朝倉書店(1991)
- 5) C. B. Burckhardt: "Information Reduction in Holograms for Visual Display," J. of Optical Society of America, 58, 2, pp.241-246 (1968)
- 6) L. H. Lin: "A Method of Hologram Information Reduction by Spatial Frequency Sampling," Applied Optics, 7, 3, pp. 545-548 (1968)
- 7) 吉川浩，佐々木建光：“動画ホログラフィの情報低減”，画像電子学会誌、22，4，pp. 329-336 (1993)
- 8) 佐々木建光，丹治英一郎，吉川浩：“ホログラフィック3次元画像の情報圧縮”，テレビジョン学会誌，48，10，pp. 1238-1244 (1994)
- 9) 吉川浩：“ホログラフィックな立体動画像表示と情報圧縮”，光学，26，6，pp. 308-313 (1997)
- 10) 吉川浩：“超音波光変調器を用いた計算機ホログラムの像再生”，O plus E，204，pp. 90-94 (1996).
- 11) 岩瀬進，吉川浩：“差分法に基づくフレネルホログラムの高速計算法”，映像情報メディア学会誌、52，6，pp. 899-901 (1998)

### 3 三次元映像生成・処理技術

#### 3.1 三次元 CG による映像生成技術

コンピュータ・グラフィックス (Computer Graphics ; CG と略) とは、コンピュータの描画処理能力を使って画像を作成する方法、あるいはその方法によって作成された画像を意味する。

三次元 (3-D) CG とは、CG で作成された像が立体像として見える CG ではなく、CG として作成される元の仮定される物体 (“オブジェクト” と呼ばれる) が (平面ではなく) 空間的に奥行きを持つ 3 次元物体であることを意味する。3 次元物体であるから、見る位置 (ここでは「視点位置」と呼ぶことにする) が変わると、描かれる画像は変わる。もちろんこの視点位置を両目の間隔だけ離れた 2 枚の画像を同時に生成して表示・観察できれば、(ステレオ) 立体画像になる。

3D-CG のソフトウェアは、大きく基本的なグラフィックス (描画) 部分を受け持つ共通部分のソフトと、それを使って実際の画像を作るソフトに分類できる。後者としては、簡単なものから実際の映画制作で使われる高性能のものまで、5 種類程度のソフトが入手可能である。これらをここでは、「3-D グラフィックス・アプリケーション・ソフト」と呼ぶことにする。(後述)

##### 3.1.1 基本ソフトウェア

前者で普及しているものとしては、現在 2 つある。その一は描画・画像の生成に時間はかかるが、実写に近い (あるいは実写との区別がつかない) 画像を作ることを目的としたソフトであり、もう一つは、ビデオゲームでの映像表示のために、ゲームをする人のボタン操作により、ビデオレートの高速で描画・生成することを前提としたソフト (インタラクティブ 3D グラフィックスとも呼ばれる) である。

前者のために、シリコングラフィックス社 (米国) がコンピュータシステムの基本ソフトとして開発し、製造販売しているソフト「Open GL」(GL は Graphics Library の略) は、Unix OS 上で動作するように開発されたが、その後複数のプラットフォーム、OS 上で使用できるようにレベルアップされ、3D-CG の分野で、実質的に標準の地位を獲得しつつある。最近のハードの高速化により、Open GL 上でのゲームソフトも実用的になってきつつある。

それに対して、後者のために開発されたソフトとして、マイクロソフト社（米国）が Windows OS 上で動作するマルチメディア・アプリケーションを高速で動作させる API（Application Program Interface）ソフトとして「Direct X」があり、そのサブシステムの一つとして 3D-CG 対応として開発されたソフトが「Direct 3D」である。2002 年に“Direct X version 9” がリリースされ、大幅に能力アップした<sup>1)</sup>。

これらのソフトを高速で動作させるために、専用の CG 描画用 LSI およびその LSI を動作させるビデオカードが、どちらのソフトでも使われている。

### 3.1.2 ハードウェア

#### (a) グラフィックス LSI

グラフィックス LSI は、Graphics Processing Unit（GPU と略）と呼ばれる。コンピュータグラフィックスをビデオレートの高速で画像として描画することに特化したプロセッサである。歴史的には複雑な変遷があったが、現時点（2004 年末）では、GeForce FX（NVIDIA 社（米国））および RADEON 9700Pro（ATI Technologies 社（米国））がその代表である。その機能は、2D エンジン、3D エンジン、ビデオプロセッシングエンジン（VPE）の 3 つからなり、それ以外にディスプレイコントローラ、メモリコントローラ、RAM-DAC（Random Access Memory - Digital to Analog Converter）などで構成されている。

#### (b) ビデオカード

これは、前述の GPU、ビデオメモリ、AGP（Accelerated Graphics Port）、コンパニオンチップ、RGB、DVI、S 出力端子コネクタ、などよりなる（プリント）基板である。このカード（ボード）をパソコンマザーボードの AGP スロットに挿すことにより、動作する。このカードのコネクタに適合するディスプレイモニタを接続することにより、モニターに（3D）CG で描画した画像等を表示できる。色を含めてきれいな画像を表示するためには、適切なパラメータ設定が必要である。

### 3.1.3 3-D グラフィックス・アプリケーション・ソフト

これに属する広く市販されているソフトとしては、\*Light Wave 3D、\*STRATA 3D CX、\*Shade、\*六角大王、\*Blender、\*Poser、\*カシミール、\*3-D studio Max などがある。これら以外に、それぞれの分野に特化して販売されている CAD ソフトにその

結果表示用として使われているソフトがいくつかある。

詳細については、各ソフトの解説書などを参照されたい。

### 3.1.4 立体像表示用 CG 同時生成ソフト

「立体像表示用 CG」とは、「三次元 CG」の中で、ステレオ立体画像対（左右像）を自動的に生成できる機能をもっているソフトウェアを意味することにする。市販されている 3D-CG ソフトウェアの中で、立体視用の左右画像を作成することのできるものを調査した。以下にステレオ画像作成についての簡単な説明と価格、動作環境を示す。以下のソフトは左右眼用のステレオ画像対を作るソフトであり、実際に立体像として観察するためには、別に立体像観察が可能なパソコン、あるいは立体像表示装置が必要である。

#### (1) 「オメガスペース Ver3.0」

- ・ PC 環境でリアルタイムレンダリングを行い立体像として表示する VR 空間構築ツール。画面サイズに合わせての実行が可能で、マルチスクリーンなど様々な表示システムの設定も行うことができる。立体視、アーチ型、ドーム型など曲面スクリーンに対しての設定も可能である。
- ・ マルチシンフォニー機能を用いることで複数の PC から出力される映像を、LAN を介してフレーム単位で同期をとることが可能である。例えばスクリーン 3 面のステレオ画像であれば 6 台の PC の同期を取ることが可能である。

価格 840,000 円

動作環境

OS	Windows 2000/XP
CPU	PentiumIII 800MHz 以上 (PentiumIV 2.0GHz 以上推奨)
メモリ	512MB 以上 (1.0GB 以上推奨)
グラフィックス	64MB 以上のメモリを搭載したグラフィックボード (nVIDIA 製 GeforceFX シリーズ、Quadro シリーズを推奨)
その他	必要に応じて SiliconGraphics 製 IFL1.3.1 および、DirectX の最新版をインストール

販売：(株) ソリッドレイ研究所 <http://www.solidray.co.jp/product/soft/index.html>

#### (2) 「SOFTIMAGE|3D」

- ・ 統合 3DCG ソフトウェア。視差画像を作成するには nStereo の Lens シェーダとして組み込み、右目用、左目用のステレオ画像をレンダリングできる。視差量の調整など

を立体視しながら行うことができる。

価格 199,500 円

動作環境

OS	WindowsNT V4.0SP4 以降/Windows2000 および Macintosh
CPU	Intel Pentium II プロセッサを搭載した ワークステーション
メモリ	256 MB RAM
グラフィックス	OpenGL アクセラレータ・グラフィックス・カード 最低 1280×1024 の解像度)
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 空き容量 1GB 以上</li><li>・ 250 MB スワップ・ファイル</li><li>・ 3 つボタン付きマウス</li><li>・ CD-ROM ドライブ</li></ul>

販売：(株) SOFTIMAGE <http://www.softimage.jp/>

### (3) 「Ligth Wave 3D」

- ・ 統合 3DCG ソフトウェア。ステレオスコープレンドリングにより立体視用の画像を作成できる。動画での作成はできない。

価格 178,000 円

動作環境

OS	Windows 2000、Windows XP および Macintosh
CPU	Intel Pentium III 以上のプロセッサ、AMD プロセッサ、または同等以上のプロセッサ
メモリ	512MB 以上 (1GB 以上を推奨)
グラフィックス	OpenGL アクセラレータ必須、32MB 以上 (64MB 推奨) <ul style="list-style-type: none"><li>・ ディスプレイ解像度 : 1024×768 ピクセル以上</li><li>・ ホイール付き 3 ボタンマウス推奨</li></ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>・ サウンドカードまたは同等の機能を推奨</li><li>・ TCP/IP の動作必須</li><li>・ インターネット接続環境推奨</li></ul>

販売：(株) ディ・ストーム <http://www.dstorm.co.jp/index.htm/>

### (4) 「STRATA 3D CX 日本語版」

- ・ 統合 3DCG ソフトウェア。ステレオレンダリングを行うことができる。

価格 155,400 円

## 動作環境

OS	Mac OS X10.2 以降 (10.3 対応)
CPU	Power Macintosh
メモリ	256MB 以上の RAM(推奨 512MB)
その他	335MB 以上の空きディスク容量、解像度 800x600 以上のモニタ

販売：(株) SOFTWAREToo <http://www.swtoo.com/product/strata/index.html>

### (5) 「Shade」

- ・ 統合 3DCG ソフトウェア。SmartStereo インターレース機能を用いることで立体視用の画像を作成することができる。シャープ株式会社ノートパソコン PC-RD1-3D の立体ディスプレイに対応。作成した立体視用画像を表示することができる。

価格 148,000 円

## 動作環境

OS	Windows 2000/XP および Macintosh
メモリ	256MB 以上
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 800×600 ピクセル以上表示可能なカラーモニタ</li><li>・ CD-ROM ドライブ</li></ul>

販売：(株) イーフロンティア <http://shade.e-frontier.co.jp/index.html>

### (6) 「Animation Master」

- ・ 統合 3DCG ソフトウェア。立体視の動画出力が可能である。

価格 52,290 円

## 動作環境

OS	Windows および Macintosh
メモリ	64MB 以上 (推奨 64MB 以上)
その他	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 800×600 以上 (推奨 1,024×768 以上) モニタ推奨</li><li>・ CD-ROM ドライブ</li></ul>

販売：アートウェア (株) <http://www.artware.co.jp/index.html>

上記以外にゲーム用に特化しているソフトである Direct-3D のアプリケーション立体ソフトとして、ELSA 3D Revelator がある。このソフトは ELSA 製グラフィックボード上で作動する。このソフトには立体視用液晶シャッターメガネ (有線用、無線用がある) も付属品としてついており、左右画像に同期してシャッターメガネが透過・遮断を繰り返し、簡単に立体映像ゲームが見られる<sup>2)</sup>。但しこのソフトは、05年2月現在、販売終了で、入手することはできない。

### 3.2 画像・映像の 2D→3D 変換技術<sup>3)</sup>

従来の映像表示装置は 1 視点位置（ここでは、撮像レンズ位置を意味する）からの映像を表示するのに対し、両眼視差を用いる立体映像表示装置では少なくとも左眼用と右眼用の 2 視点からの映像が必要である。

立体映像普及のためには表示システムの開発と共に、立体表示用コンテンツの増加が不可欠である。3-DCG ではなく実写については、将来的には立体ビデオカメラで撮像されるようになるであろうが、それまでには未だ相当の期間が必要である。

1 枚の画像（これをここでは「元画像」と呼ぶ）例えばそれを左眼で見た画像であるとするれば、それに対応する右眼画像を作成してステレオ画像対にする作業を一般に「2D→3D 変換」作業と言う。この左右画像をここでは”対（つい）画像”と呼ぶことにする。この対画像としては、上述のように元画像を左画像とし、右画像を生成するやり方（あるいはその逆）と、元画像を左右画像の真中から撮った画像として、左右の対画像を生成するやり方とがある。

このような対画像を生成する作業は、大きく分けて

- ① 1 枚だけの画像を使って作成（基本的に静止画）
- ② 映画・ビデオのように、連続する時系列画像（ここでは映像と呼ぶ）を複数枚使って作成

する方法が考えられる。

①に関しては、使用者が、ある仮定に基づいて奥行き情報のパラメーターを入力することにより、半自動的に対画像を生成するソフトがあり、市販されている。また完全自動的に高速で対画像を生成するソフトが立体ビューア付き機器（携帯電話、ノートパソコン等）にインストールされている。特に後者の場合には、仮定と大きくずれた画像の場合には、対画像の自動作成が明らかに失敗する場合も多くある。

②については、現在の所オペレータが介在することが不可欠であり、その場合はリアルタイム生成は不可能である。作成業務としておこなっている会社もある。オペレータが介在する「2D→3D 変換」作業でも、その出来具合は、オペレータに依って異なる。

2D→3D 変換のソフトウェア、ハードウェア、変換業務について、調査した結果の一覧を、表 3.1 に示す。（2004 年末現在；他にもあるかもしれない。）



表 3-1 市販あるいは業務として行われている「2D→3D 変換」

変換時の 使用画像数	業務分類	会社名
1 枚のみ	変換ソフトの販売	アイオーデータ機器 (株) ; PLAY3DPC www.iodata.jp の「その他の製品」の中  ネプラス (株) : Depth Map Maker www.n-plus.co.jp  (株) レッツコーポレーション : Stereo Edit www.lets-co.co.jp/3dhp/pc system.html
	パソコン、立体ビューア 機器への組み込みのみへの 対応	(株) マーキュリーサンデー '04/11 に専用 L S I を発表した。 www.mercury3D.co.jp インターサイエンス (株) www.inter-s.co.jp
連続する 複数枚	変換業務をおこなっている 会社	DDD 社(Digital Dynamic Depth Co.) (株) 有沢製作所の資本参加を得て、専用 LSI の開発をスタートさせると発表 (米国) ; www.ddd.com  (株) マーキュリーサンデー www.mercury3D.co.jp
動きを積極 的に利用す る方式	ブルフリッヒ効果の利用	三洋電機 (株) が、立体表示装置のオプション として、以前に売っていた。

### 3.2.1 2D→3D 変換の基本

最も初歩的な 2D→3D 画像変換は、一つのかたまりである物体 (“オブジェクト” と呼ぶ) を、表示スクリーン面から手前側に飛び出して表示させるかあるいはスクリーンより奥に表示させることにより、立体像として見せることである。どのオブジェクトを手前側に表示し、どのオブジェクトを奥に表示するかはオペレータが指示する。図 3-1 では、スペースシャトルはスクリーン面から手前側に表示し、三日月は奥に表示する場合を示している。

ここでは左眼映像から右眼映像を生成することを想定する。その場合の右画像生成作業 (支援) の大まかな流れを図 3-2 に示す。オペレータの手間を省くために、図 3-2 の変換を手動部分と自動の部分に分けて行う。

手動部分は、

1. 強調させたいオブジェクトのおおまかな抽出

2. オブジェクト抽出法の選択
3. そのオブジェクトの飛び出し量（あるいは奥行き量）の指定  
であり、オペレータ入力により処理する。

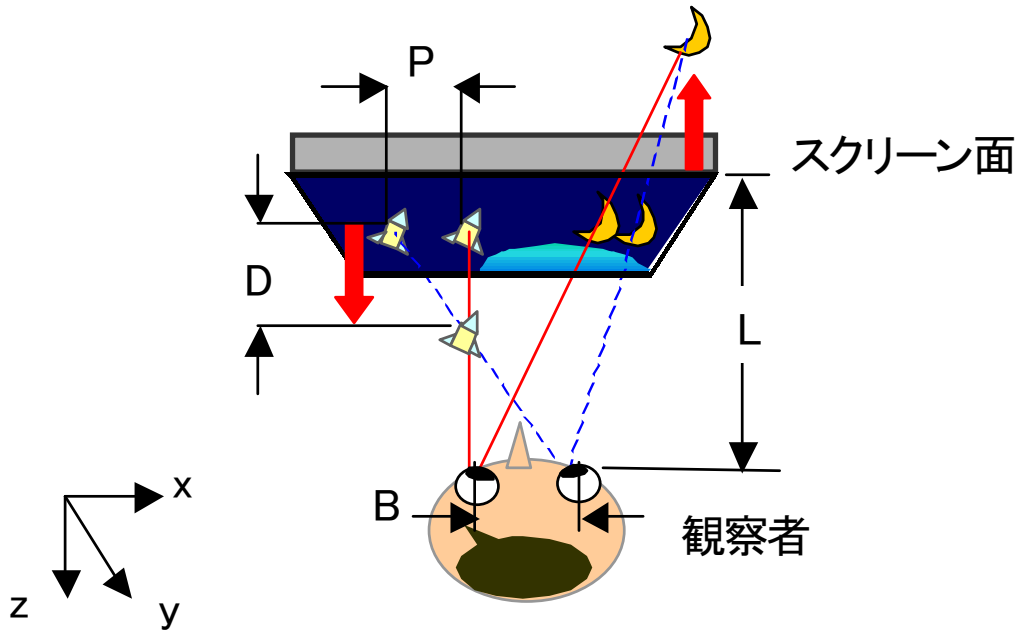


図 3-1 左右画像による立体像表示の原理図

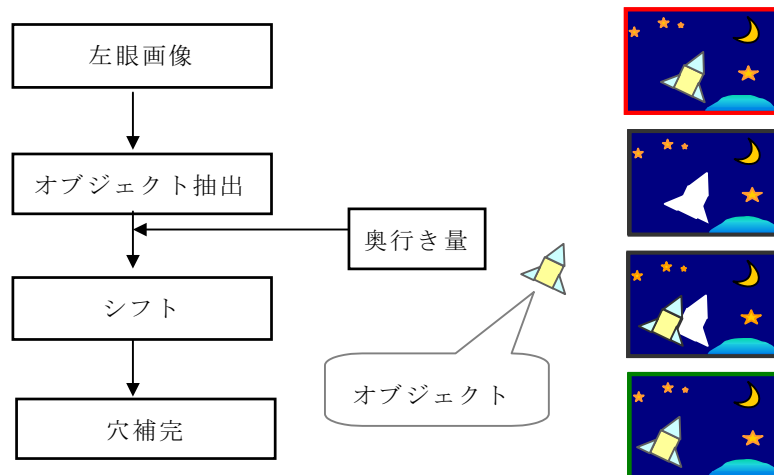


図 3-2 2D→3D 映像変換の

自動部分は、

1. オブジェクトの正確な抽出 4)~6)

2. オブジェクトの、飛び出し量（あるいは奥行き量）に対応した、水平方向へのシフト
3. オブジェクトが抜けた部分（ここでは穴と呼ぶ）の補完

であり、コンピュータソフトにより、自動画像処理を行う。

もう一つの異なったアプローチとして、デプスマップ（Depth Map）の作成による方法がある。デプスマップとはその画像の各画素に対して撮像位置からの距離を数値として持たせた2次元分布のことであり、距離画像とも呼ばれる。この作成はオペレータの助けによるが、種々の前提情報を組み込むことにより、作業の手助けをする。表 3-1 の市販されている変換ソフトは殆んどが、この方式を採用している。

### 3.2.2 より自然に見える 2D→3D 変換

画像・映像技術が生まれて一世紀余り、映画をはじめ家庭用のビデオを含め、過去に撮影された画像・映像は膨大にある。このような映像資産を立体映像用に変換することができれば立体表示装置用コンテンツは大幅に増え、これら映像資産の有効活用にもつながる。

しかし、より自然に見え、高臨場感が得られる 2D→3D 変換を実現することは大変であり、現時点では生成の大部分はオペレータの作業によっておこなわれている。実写のステレオ映像と同じレベルの対画像列を作成するためには、オブジェクトの位置シフトだけではなく、その形状、照明具合の変化なども含めた作成が必要である。これらの作業も含めて、オペレータが介在する部分をできるだけ少なくしていくことが重要である。そのためには、画像に含まれる物体の理解を自動的におこなうこと、そのための（膨大になると思われる）オブジェクトのデータベース化も将来は必要になると思われる。

上記のことを目標にして、任意団体「立体映像産業推進協議会」<sup>7)</sup>の一つのワーキング・グループとして、活動をスタートさせている。

### 3.3 立体映像情報圧縮技術

この項は、立体映像の情報量（第IV章-2）、立体映像情報の保存・伝送（第IV章-4）、立体映像の標準化（第IV章-5）とも非常に関連が深い。またこの部分は立体映像情報の分野でシステムテックには（統一的に）研究がおこなわれておらず、上述の分野でそれぞれ独立に研究・提案されている。

しかし、将来的に重要な分野であることはまちがいない。早急にどこかのできれば中立

あるいは連合団体が指導的にまとめることを前提に進めていくべき分野である。

普通の 2-D 画像・映像と同じく、デジタル化に伴って非常に高い圧縮効果が期待できる。これまでに確立して使われている JPEG、MPEG のうち、立体映像として採用することができる部分をまず明確にし、それらを基本として進めていくのが一つのやり方であろう。この項では、他の節・項では述べられていない提案について述べる。

### 3.3.1 2 眼式立体ハイビジョン画像の高効率圧縮

1996 年にマルチビュープロファイル (Multi-View Profile ; 以下 MVP と略) と呼ばれる立体テレビ用高能率圧縮符号化方式が、MPEG-2 で標準化された。この圧縮方式は、左眼用画像に従来の (デジタル) 圧縮方式を採用し、現在のハイビジョン受像機と両立できるように配慮されている。そして、「右目用画像は左眼用画像と類似度が高い」という性質を用いて、高圧縮を可能にする。

まず普通のビデオ画像の圧縮に使われている圧縮法の基本について述べる。「時間的に前後する 2 つの画像は類似度が高い」という性質を利用する。ほとんどの場合、ある画像とその次の画像 (1/30 秒後) とは少しだけしか変わらないので、ある画像 (デジタル) データを送ったとすれば、その次の画像についてはその違いだけを送れば表示側 (受信側) で復元することができる。この復元をデコーディング (decoding) と言う。具体的には、まず一つの画像を 16 画素×16 画素のブロックに分割し、それぞれのブロックについて離散コサイン変換 (DCT)、量子化、可変長符号化をおこなう。次の時刻 (1/30 秒) の画像 (ここでは「次画像」と呼ぶ) との違いを「動きベクトル」と「残差信号」の 2 つに分けてコーディング (coding) する。「動きベクトル」とは動いた領域の移動の方向と移動距離である。「残差信号」とは動いた領域の変形や背景部分の見えあるいは隠れである。この二つの補償データを DCT、量子化、可変長符号化する。この 2 つのデータ量の合計は、次画像のデータ量に比べて非常に小さいため、大幅な圧縮が可能となる。この圧縮方式を「動き補償予測方式」と呼ぶ。現在試験的におこなわれている地上波デジタル放送も HD 規格でこの圧縮方式を採用している。また NTSC 規格 (現在の日本のアナログ放送方式) でも、DVD やデジタルビデオカメラのデジタル記録方式として採用されている。これは MPEG-2 メインプロファイル (MP と略) と呼ばれる。

この圧縮方式をステレオ立体映像に特に HD 規格について適応したのが「マルチビュープロファイル (圧縮) 方式」である。即ち、左眼画像を元画像とし、その時刻に対応する右眼画像を、「次画像」と見なして「動き補償予測方式」と同じ方式で右眼画像を圧縮して

いく方式である。但し、時系列画像の場合は図 3-3 に示すように、2 方向予測が過去と未来の画像を参照するところを、マルチビュープロファイルの右眼画像の符号化では、過去の右眼画像と左眼画像の 2 方向を参照するように予測ベクトルの定義を変更している部分が異なる。この方式をステレオ画像対の左画像を元画像として対応する右画像に適応する方式を「マルチビュープロファイル方式」と呼び、ステレオ立体映像の圧縮法としても、高圧縮が可能である。その信号の流れを図 3-3 に、実際の各フレーム画像の生成の概念図を図 3-4 に示す。この符号化方式の有効性については、NHK 技術研究所を代表として、外国の機関でも主観評価により、その高圧縮性が検証された<sup>8)~10)</sup>。このように圧縮符号化された立体映像 HD 規格信号をどのように保存あるいは送信していくかについては、規格はないようである。

しかし、この圧縮符号化方式はソフトによる検証のみに終わり、その後ハード化されたという報告はないようである。少し時代的に早過ぎたのかもしれない。標準化と併行してハード化される時期にきていると思う。

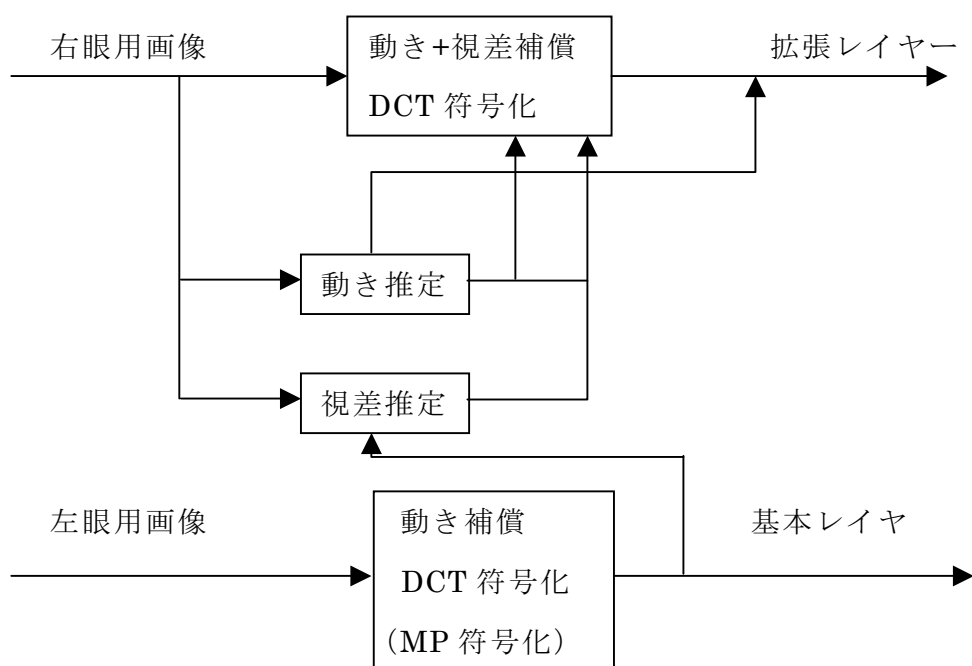


図 3-3 ステレオ映像信号のマルチビュープロファイル符号化の信号処理の概念図<sup>6)</sup>

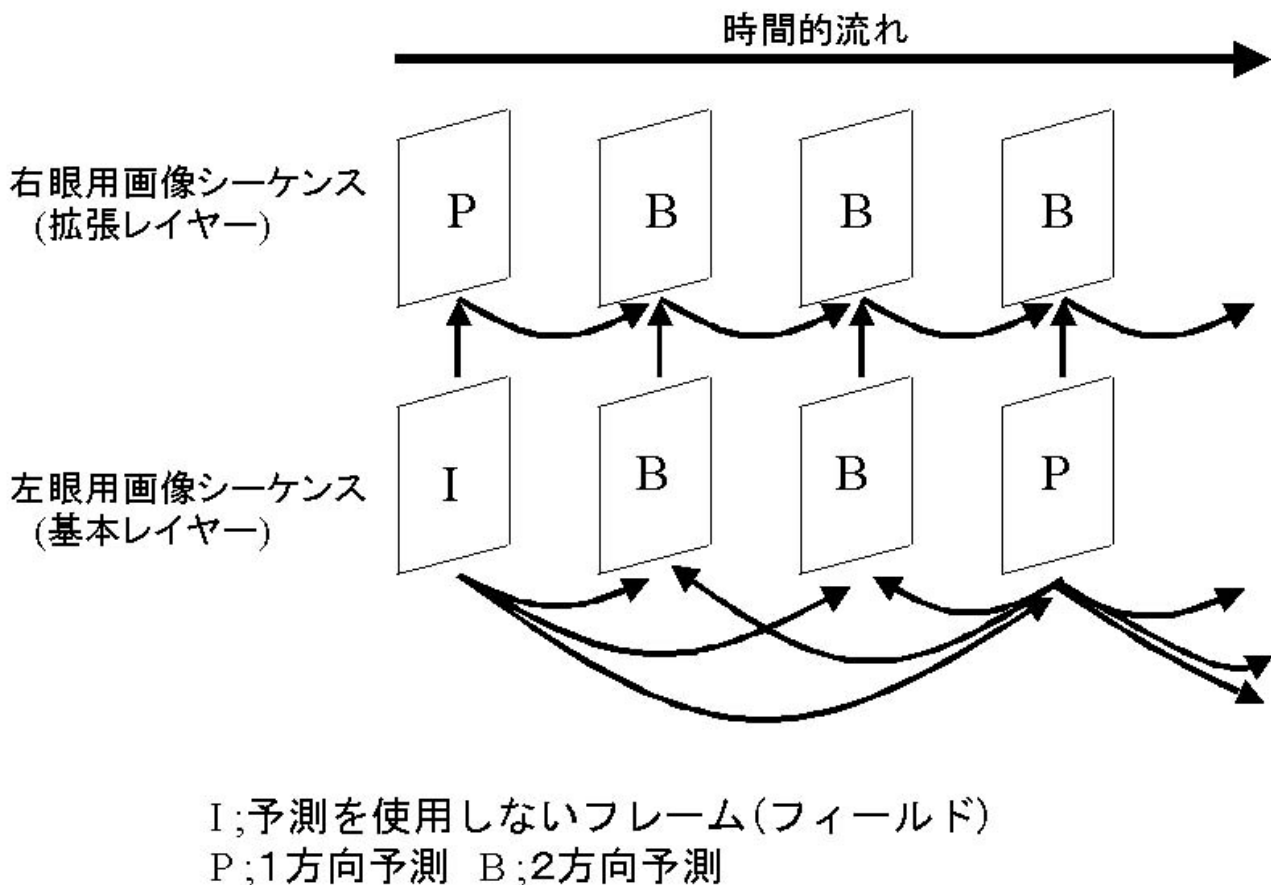


図 3-4 マルチビュープロファイル予測圧縮方式に使うフレーム(フィールド)を示す図<sup>6)</sup>

### 3.3.2 デプス・マップによる圧縮技術

1 枚の画像とその画像の各画素のカメラからの距離の値の画像（距離画像またはデプス・マップ (Depth Map) と呼ばれる）による圧縮法である。この 2 枚の画像（1 枚は普通の画像とは全く異なるが）があれば、異なる位置から撮られたであろう画像を生成することができる。この手法は前述のステレオ画像（対）の生成に適応できるだけでなく、将来重要になるとと思われる多視点画像の生成にも適応できるので、大幅な圧縮が可能になる。

しかしこの手法は、実際に異なる位置から撮られた（であろう）画像と比較すると、こまかいオクルージョン（奥の物体（の一部）が手前の物体に隠れて見えない現象）の部分や観察方向が異なるために生じる照明あるいは陰影の変化には対応できず、異なる観察位置からの画像として生成される画像は、場合によっては不自然な画像になってしまう場合がある。将来のより自然な立体映像の記録・伝送・表示にどの程度適応できるかは問題であると思われる。

またデプス・マップをどのようにして取得・生成するかも問題である。

(本田捷夫)

#### 参考文献

- 1) 例えば、DirectX 9 (3D ゲームプログラミング) vol.1 ; 大川善邦著 工学社 (2003)
- 2) <http://www.elsa-jp.co.jp/index2.html>
- 3) 本田捷夫他、映像の 2D→3D 変換、画像ラボ、2004.No.10.p9-13
- 4) 井田ら、“運動フォームの軌跡を合成する全自動 Flash Motion システムの開発”, SSII2003, pp495-500 (Jun.2003)
- 5) 境田ら, “背景差分法と時空間 watershed による領域拡張法を利用した動画像オブジェクトの抽出”, IEICE, Vol.J84-D2 ,No.12,pp.2541-2555 (Dec.2001)
- 6) L.Lucches et.al, “Unsupervised Segmentation of Color Images Based on K-means Clustering In the Chromaticity plane”, Proc. IEEE Workshop on Content Based Access of Image and Video Libraries, pp.77-78 (Jun.1999)
- 7) URL ; <http://www.rittaikyo.jp>
- 8) URL ; <http://www.nhk.or.jp/str1/publica/dayori/dayori98-04/kaisetsu2-2-j.html>
- 9) URL ; <http://www.nhk.or.jp/str1/publica/dayori/dayori99-05/kaisetsu1-j.html>
- 10) L.B.Stelmach, W.J.Tam, Stereoscopic image coding: Effect of disparate image-quality in left-and right-eye views, Signal Processing: Image Communication, 14,p.111-117(1998)

## 4 立体映像情報の保存・伝送

### 4.1 はじめに

立体映像表示技術は、本調査の他の章でも詳しく報告されている通り、すでにほぼ実用レベルにある。したがって今後はアプリケーションとリンクした適切なビジネスモデルがあればすぐにも普及するポテンシャルがあると考えられる。立体映像が「映像」である以上、最も大きな市場が期待できるシナリオは、現状のテレビ放送や、ビデオコンテンツ、映画、ゲームソフトなどを立体映像動画に置き換えていくことである。本節では、このような用途に対し最も現実的と思われるレンティキュラ方式などの多視点型ディスプレイを想定し、立体映像動画を保存、伝送するために必要なスペックを考察する。またそれを満足するインフラの現状と将来についてまとめる。

### 4.2 保存メディア要求仕様

保存メディアとしての要求仕様項目は大きくは2つである。1つは動画像データの容量であり、もう1つはデータの転送速度である。立体映像の情報容量に関し、例えば立体映像の静止映像の記録容量として視差を水平方向にのみ設定した場合、観察位置からの画像列の情報量として必要視点数50点で28.9MBという概算見積もりが示されている<sup>1)</sup>。NTSC方式での動画像のフレームレートは30Hzであるから、これを同じフレームレートの動画像とすると転送速度は867MB/s(6936Mbps)にも及ぶ。一方、現行のDVDビデオの標準画質の転送速度はMPEG2規格による圧縮が加わった状態で4.6Mbpsであるから、こちらを視点数50点として単純に50倍と考えれば230Mbpsとなる。他方、視点数としては9点<sup>2)</sup>、4点、7点<sup>3)</sup>などの立体画像表示用液晶ディスプレイが商品化されており、例えば9点を実用的な視点数と考えれば同様の画質において転送速度は41Mbpsとなる。また一方で、自由視点テレビ(FTV)という技術が動画像の国際標準化会議MPEGの3DAV(3D Audio Visual)アドホックグループに提案されており<sup>4)</sup>、この場合、視点数は100点にも及ぶ。もちろん立体映像は立体映像に合わせて動画圧縮符号化方式が今後提案されてくるものと推定されるが、例えば最近の平面動画用の符号化方式であるH.264<sup>5)</sup>ではMPEG2に比べて2倍以上、MPEG4 AVCなどでは同3倍以上の高圧縮を実現できる。したがって、これらを用いてMPEG2の3倍の圧縮を想定すれば、視点数50点で80Mbpsと見積もられる。



記録容量は基本的にこれらの転送速度で記録を行う場合の記録時間で決まる。DVD 単層の記録時間 132 分を立体映像動画についても標準時間と仮定すると、転送速度 80Mbps では約 80GB の記録容量が必要となる。

以上において、画質は基本的に DVD 標準画質を前提としたが、ハイビジョン画質の場合には、転送速度、容量とも、約 5 倍の高速、大容量化が必要となる。しかし多視点の立体ディスプレイは、レンティキュラ方式により画素を各視点に分割して表示することから立体表示状態でハイビジョン画質を得るのは当面難しいのではないかと見られる。

#### 4.3 保存メディア・装置の現状と可能性

平面動画像の保存メディアとして現状一般的なのは DVD である。DVD は再生専用メディア (ROM) の製造コストが安く、記録型メディアとの互換性があり、メディアの交換も可能であることから動画像のアーカイブに適している。またテープのような巻き戻しや早送りが不要となり、編集も容易で、転送速度に余裕があれば「追っかけ再生」「2 番組同時録画」などのトリックプレイも可能、と言った特長がある。

現状の DVD の記録容量は ROM が単層片面で 4.7GB、2 層で 8.5GB である。両面 2 層 17GB の規格もあるが、これはあまり普及していない。記録型は 1 回記録できる DVD-R と多数回書き換えが可能な DVD-RW と DVD-RAM があるが、それぞれ片面単層で ROM と同じく 4.7GB の容量がある。DVD-RAM では両面ディスクもあり、この場合は 9.4GB である。DVD-R では 2 層のディスクも最近商品化された。これも ROM の 2 層と同じく容量は 8.5GB である。また DVD+R、DVD+RW というそれぞれ追記型と書き換え型のメディアも商品化されている。これらは DVD の正式な規格団体である DVD フォーラムの規格ではないが、DVD-ROM との互換性もあり、最近のパソコン用記録型 DVD ドライブ装置ではこれらにも対応しているものが多い。DVD+R には 2 層のものがあり、こちらも容量は 8.5GB である。

DVD の転送速度は標準で 11Mbps であり、動画の標準画質 4.6Mbps から十分余裕を持たせてある。一方、DVD ドライブ装置の性能としては動画のダビングや、パソコンデータのバックアップなどを目的として年々高速化されてきている。ROM と追記型メディアについては、高速回転によりディスク破壊しない上限と言われる 10000rpm で実現可能な 16 倍速にすでに達している。このとき転送速度は 176Mbps である。しかし、上限が回転数で制限されていることから、176Mbps が可能なのは外周領域だけであり、内周では約 6 倍速 66Mbps が上限となる。

また最近、デジタルハイビジョン放送録画用に Blu-rayDisc (BD) という光ディスクが商品化された。これは青紫色半導体レーザと高 NA 対物レンズを用いることにより、容量を片面単層で 25GB まで高めている。記録層 2 層化による容量 50GB の規格もあり、これも松下電器が昨年より発売している。転送速度は最大 36Mbps である。これで MPEG2 の BS デジタルハイビジョン (24Mbps) をそのまま単層ディスクに 2 時間以上録画できる。他方、同じく青紫色半導体レーザを用いるが、DVD との互換性を重視して対物レンズに同程度の NA のものを用いた HD DVD と呼ばれる規格もある。こちらは 2005 年に東芝などから商品化される見通しである。これは再生専用が容量 15GB、記録型が 20GB だが MPEG4 AVC 方式や VC-9 方式により、MPEG2 の 1/3 まで圧縮して 15GB でもハイビジョン動画 4 時間の再生を可能とする<sup>6)</sup>。HD DVD でも BD と同じく容量が 2 倍の 2 層の規格もある。

これらの光ディスクを先に述べた立体映像表示に応用する場合、いずれも先に見積もった容量 80GB には及ばない。転送速度は DVD では外周で 80Mbps を超えるものの、内周ではその値に届かないため、データのバックアップやアーカイブには使えても、視点数 50 の立体映像動画の再生には使えない。しかし例えば BD2 層ディスクの 50GB、36Mbps で視点数 23 点に抑えれば、容量 1/3 の圧縮方式を用いて約 3 時間の立体映像動画記録が可能と考えられる。また現状実用化されている視点数 9 点の液晶ディスプレイを用いて同様の圧縮を想定すれば、転送速度は 14Mbps となり、50GB で約 8 時間の立体映像が記録できる。あるいは MPEG2 のままでも 3 時間弱程度の記録が可能と考えられる。これらの結果を図 4-1 にまとめた。

したがって当面の立体映像動画の保存には BD などハイビジョン対応の大容量光ディスクを用いれば、現行 DVD 画質程度の立体映像動画表示に特に大きな支障はないと考えられる。

さらに今後、ディスプレイの高精細化を前提として、立体映像においてもハイビジョン画質を求めるとすれば、保存メディアの容量と転送速度がいずれもほぼ 5 倍の大容量高速化が必要となる。これに対応する次世代光ディスク技術としては、多層光ディスクや、超解像技術、近接場記録技術、ホログラム技術などが検討されており、100~300GB の容量を目指した研究が進められている<sup>7)</sup>。高速化についても最終的に 10000rpm までの高速回転を想定すれば、BD 密度でかつ内周でも 180Mbps 程度までは実現可能と考えられる。

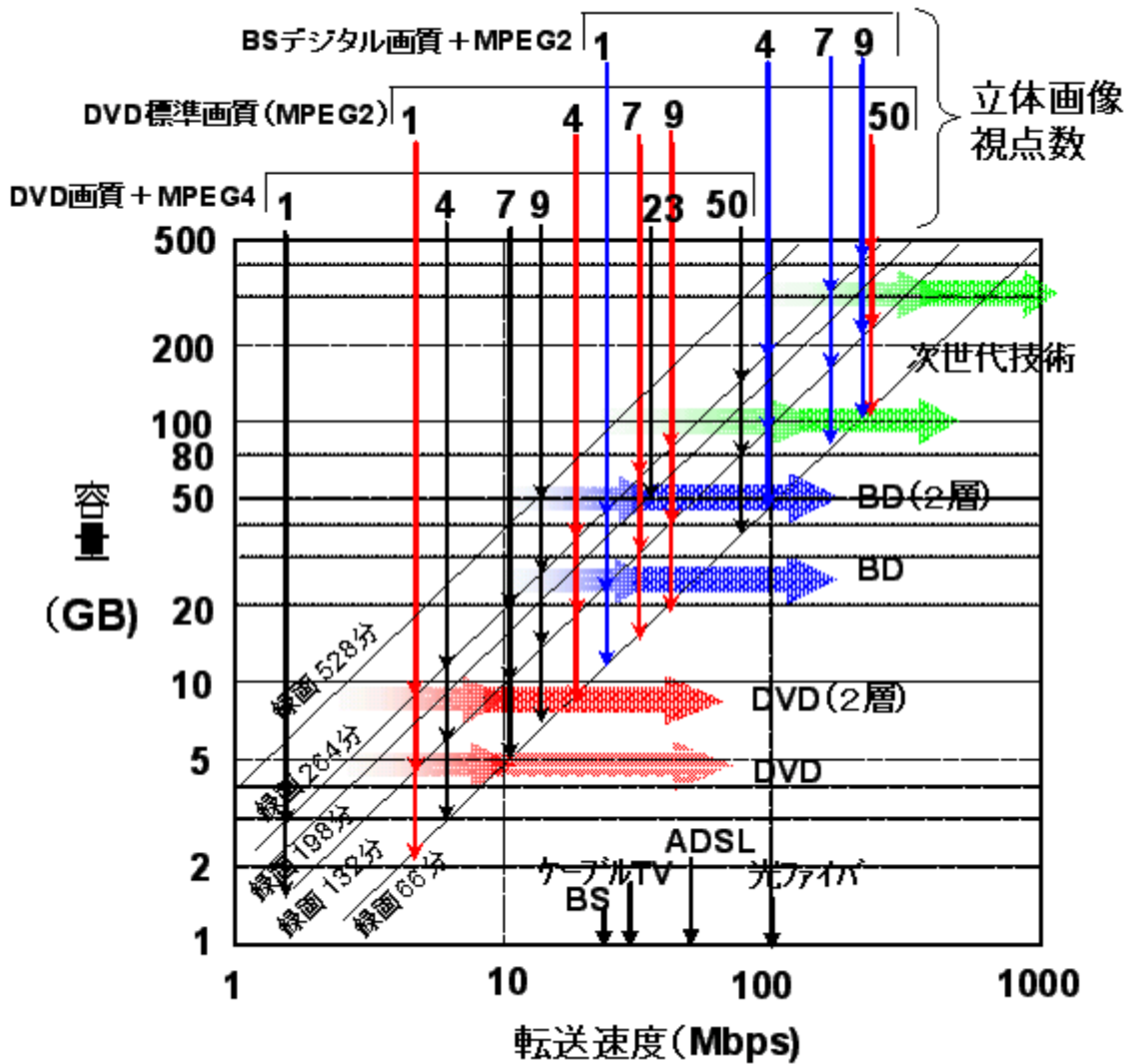


図 4-1 立体映像の視点数と、転送速度、容量

#### 4.4 伝送方式の現状と可能性

動画映像情報の配信、伝送の手段として、テレビ放送としては BS デジタルハイビジョン放送 (24Mbps)、地上デジタル放送 (17Mbps) などがある。前者では MPEG2 比 3 倍の圧縮を用いれば DVD 画質で視点数 15 点までが可能と考えられる。後者は同様条件において 11 点まで可能である。

インターネット配信ではブロードバンド通信技術として ADSL (下り 50Mbps)、光ファイバー (100Mbps)、ケーブルテレビ回線 (30Mbps) がある。ADSL では同様の条件で、視点数 32 点、光ファイバは 65 点、ケーブルテレビでは 19 点が可能となる。視点数 50 点で十分と考えれば、光ファイバでは圧縮の比率をもう少し落とすことで演算パワの負担を軽減したり、画質を向上させたりすることも可能となる。

その他のブロードバンド技術としては、基地局まで光ファイバで配信し、基地局から無線で各家庭に接続する無線インターネットというサービスも海外で一部始まっている<sup>8)</sup>。また電力ケーブルを用いたインターネット通信も検討されている<sup>9)</sup>。いずれもブロードバンドと言えるスピードが確保できれば同様の立体映像動画ストリーミングは可能と考える。

#### 4.5 おわりに

レンティキュラ方式の多視点立体ディスプレイを想定して、立体映像動画を保存、伝送するためのインフラの現状ポテンシャルについて概観した。現行標準 DVD 画質で視点数 9 点であれば、ハイビジョン録画に対応した最新の光ディスク製品を用いて、MPEG2 画質で 3 時間、圧縮技術の併用で 8 時間程度の録画再生が可能と見積もられる。

(島野 健)

#### 参考文献

- 1) 本田：立体映像表示技術とホログラフィー 日本写真学会誌 Vol.65 No.1 (2002.1) 10
- 2) 松浦：立体表示システムの現状 (日商エレクトロニクス社) 3D コンソーシアム (2004.5.28)
- 3) 濱岸：三洋電機における 3D ディスプレイの開発経緯と応用 3D コンソーシアム (2004.9.8)
- 4) 谷本：もし 100 個の目があればー自由視点テレビによる空間情報センシングー デンソーテクニカルレビュー Vol.9 No.2 (2004.2) 3
- 5) 恒川：H.264 の概要 PIONEER R&D Vol.13 No.1 (2003.1) 6
- 6) (株) 東芝 プレスリリース  
[http://www.toshiba.co.jp/about/press/2004\\_07/j2602/shiryo.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2004_07/j2602/shiryo.htm)
- 7) 解説：目指すは 4K×2K の記録再生 次々世代光ディスクの本命を競う 日経エレクトロニクス (2004.5.24) 77
- 8) (株) 京セラ プレスリリース <http://www.kyocera.co.jp/news/2004/1206.html>
- 9) 住友電工ニュースレター 第 327 号 (2004.12)

## 5 立体映像の標準化

### 5.1 フォーマットの必要性について

機器間のインターフェース仕様の共通化がハードおよびソフトの普及に肝要であることは言うまでもない。これまで市場が限定されていた立体表示は、さまざまなフォーマットがシステム別に使われてきた。ローカルなシステムであれば独自に設定したフォーマットで十分であるが、広範な普及を考えると標準化を避けて通れない。こうした流れの中で近年、VESA でハードウェアの標準化、MPEG-4 での多視点画像の符号化等の標準化に向けた動きが始まっている。

### 5.2 視差型のフォーマット

ステレオ映像を既存の映像機器で表示するためにさまざまな工夫やフォーマットが作られてきた。

図 5-1 に挙げるのは典型的な例である。複数枚の絵を並べるという古くから写真技術としてある技術であるが、実用性における優位はいまだ衰えない。一例として簡単な左右視差像を分離して同じコマに撮影できる光学的なアタッチメントはいまだ存在する。

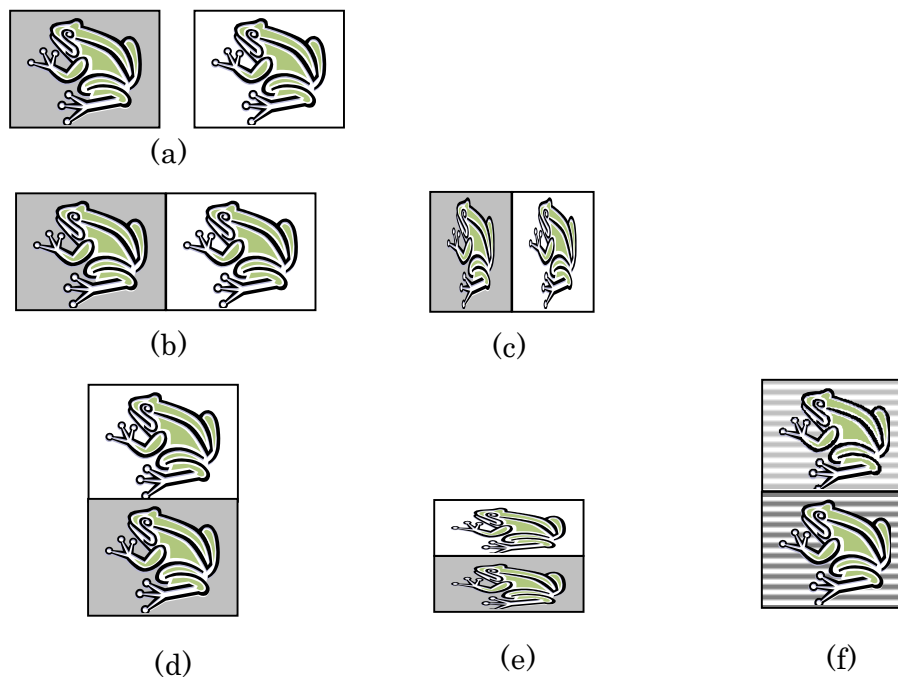


図 5-1

- (a) 基本の左(L)右(R)画像
- (b) Side by Side で並べたもの、この場合水平画素数も倍増する。
- (c) 主走査方向に圧縮して Side by Side で並べたもの
- (d) フレームを交互に Above Below にして左右に割り当てる方式
- (e) (d)を垂直方向に圧縮したもの
- (f) 走査線毎（インターレース走査）に左右を割り当てたもの

## 5.3 視差型の映像フォーマット

### 5.3.1 フィルム方式（歴史的な背景）

19世紀中ごろにはすでに Side by Side のステレオ写真が試みられ、これがステレオ視の最初のフォーマットといえることができる<sup>1)</sup>。その後 1970年代のステレオ偏光投影による飛び出す映画が生まれた。これは二つの映写機の同期運転であり通常の映画フォーマットでの応用であった。75mm フィルムを横に走らせる IMAX 方式の偏光投影方式である IMAX 3D は、当初ドームスクリーンを使用する制約から液晶シャッターメガネを用いて 24 フレーム/sec の左右映像を LRLR のシーケンスで交互に投影していた<sup>2)</sup>。現在は偏光メガネを用いた、左右 2 系列の映写機を同期運転する古くからある方法をとっている。

### 5.3.2 ビデオ方式

#### (1) ステレオ

フィルムでの方法をビデオに置き換えたものであり、もっとも簡単な手法は 2 つのビデオ装置の同期運転である。この際 GenLock といわれる同期技術が鍵になる。今でもこの方式は多用されている<sup>3)</sup>。

国内では HDTV のステレオ映像化が NHK を中心に行われてきた<sup>4)</sup>。左右の同期、信号圧縮がポイントであり、3D の HDTV 信号をフィールド内でサンプリングし、映像の横幅を圧縮して 1 枚の side by side 映像とし、これを 1 台の HD VTR に記録する。またはさらにこれを MPEG-2 で符号化しハードディスクに記録する。1 台のハードディスクに複数の番組を格納でき、博物館等の立体 HDTV の利用を促した。しかしながら市場が小さいため HDTV ビデオを対象とするローカルな仕様として存在し、標準化としての動きはみられない。

左右映像を並べる方式のほかに、インターレースフォーマットの奇数偶数フィールドに左右を割り当てる方式も古くから知られている。(図 5-1 の(f)に対応する)ビデオ信号を走査線で順次書き込んでいく CRT では有効な方法で、高速にフィールド毎に切り替えができる高速液晶シャッター眼鏡と組み合わせることで比較的簡単にステレオ視が可能となる。NTSC ではフレーム周波数が 30Hz なのでフリッカーが気になり問題が多い。一方、PC のディスプレイ等は順次走査なので 60Hz のフレーム毎に左右を割り当てる。この場合も画面全体では 30Hz 成分が現れるためフリッカーや疲労を感じることもある。このためフレーム周波数を 120Hz に上げたシステムも開発されている<sup>5)</sup>。

1998 年から SPIE、IS&T 主催の学会 Electronic Imaging の Stereoscopic Displays and Applications conference でビデオにおけるステレオフォーマットについて多くの議論がなされてきた。ステレオのハードウェアや映像配置の仕様の標準化を目的とした活動である<sup>6)</sup>。一例であるが偏光めがねの偏光方向も直交した斜め 45 度を標準にするといった議論もこの中で行われている。これとリンクして VESA(Video Electronics Standard Association)においてハードウェア仕様の標準化が進められた<sup>7)</sup>。これは初めに述べたように機器の開発、映像制作に必須だからである。現在制定されているのは、液晶シャッターめがねのコネクター仕様、制御信号仕様である。またステレオ画像配置の識別符号化の提案がなされている<sup>8)</sup>。

## (2) マルチアングル (多視点)

マルチアングルの映像記録再生フォーマットとしては、図 5-2 に示すような多視点映像を取り扱うディスプレイ専用の設計仕様がある。これはディスプレイの画素配置に対してどの視差画像のサンプル点を割り当てるといふものであり、特殊なインターフェース仕様である<sup>9)</sup>。

R <sub>5</sub>	G <sub>9</sub>	B <sub>7</sub>	R <sub>5</sub>	G <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>
R <sub>6</sub>	G <sub>3</sub>	B <sub>8</sub>	R <sub>6</sub>	G <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>
R <sub>7</sub>	G <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	R <sub>7</sub>	G <sub>5</sub>	B <sub>3</sub>
R <sub>8</sub>	G <sub>6</sub>	B <sub>3</sub>	R <sub>8</sub>	G <sub>6</sub>	B <sub>4</sub>
R <sub>9</sub>	G <sub>7</sub>	B <sub>4</sub>	R <sub>9</sub>	G <sub>8</sub>	B <sub>5</sub>
R <sub>1</sub>	G <sub>8</sub>	B <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	G <sub>9</sub>	B <sub>6</sub>

図 5-2

### 5.3.3 映像符号化

ステレオ画像を既存のフォーマットにどのように配置するかという従来の観点に対し、どのように圧縮記録し、伝送するかという映像符号化の観点での標準化の動きがある。ここでは符号化の標準化活動である MPEG(Moving Picture Experts Group)の立体表示に関する内容を簡単に述べる<sup>10)</sup>。

## (1) ステレオ映像

DVDにおけるMPEG2や音楽圧縮のMP3などが今日幅広く普及できたのは標準的な符号化方式としてのMPEGの多大な功績である。このMPEGの中で立体表示にも応用できる符号化標準としてすでに制定されているものにMPEG-2 Multiview Profileがある<sup>11)</sup>。このMPEG-2 Multiview Profileはステレオ映像が前提とし、左右の映像をベースメントレイヤとエンハンスメントレイヤに分けて符号化する。さらに映像の規模によるレベルに依存せずにメインプロファイル(MPEG-4の基準になる符号化ツールとシンタックス)でデコードできる特徴をもっている。つまりステレオ映像と通常映像の互換性を保つ工夫がされている。

MPEGは符号化の標準であるので対象とする画像の制限はない。そこで視差画像ではなくサブストリームの画像信号にDepth Mapを用いるという考え方がある。一例としてDDD社はMPEG-2のビデオストリームにDepth Map映像を用いる方式を提案している<sup>12)</sup>。なおDepthMap方式そのものは第IV章3.3.2項を参照されたい。

## (2) 自由視点映像

MPEG-4はマルチメディア対応できる映像符号化技術の標準化を目指す組織であり、また規格の名称である。1999年にMPEG-4 ver.1が制定された後も規格の新提案や拡張が進められている。そのひとつに多視点映像や全方位映像に関する活動がある。現在3DAVアドホック委員会が設置され、Call for evidenceからCall for proposalの段階に進んだところである。この委員会では、2次元映像を光線空間として記述し光線空間の冗長性を利用して高度に圧縮を行おうというJEITAあるいは名古屋大学からの提案などを審議している<sup>13)</sup>。光線空間を使った方法によると任意視点の映像が比較的自由に作り出せることから、視差数に関するスケーラビリティがよく、ステレオから多視差型まで幅広い立体表示システムに対応できるメリットがある。

## 5.4 標準化の今後

映像記録、配信のフォーマットは圧縮技術との関連が強く、映像やデジカメ等の静止画と同じく画像符号化の標準化が製品間の互換性を保つ上で鍵を握るであろう。当然ながら符号化の標準は信号を作り出すレベルでの活動であり、使用される映像機器は多様であることが予想される立体表示ではハードウェアに関わる項目も多く、立体映像信号の互換性等のインターフェース規格の標準化も継続して進めなければならないと考える。また評価



に用いる標準映像、性能評価の規格化についても学会、業界として議論の対象とする方向であろう。

(曾根原富雄)

#### 参考文献

- 1) 映像体験ミュージアム 東京都写真美術館監修 工作舎(2002)
- 2) Paul D. Panabaker, 他 : Large format 3D motion picture systems, Three Dimensional Image Tech. And Arts (1992) pp. 49-55
- 3) M. Starks : Progress in Stereoscopic Television, Three Dimensional Image Tech. And Arts (1992) pp. 89-96
- 4) 日本工業新聞(1994年10月6日)
- 5) 電波新聞(1994年11月25日)
- 6) <http://www.stereoscopic.org/standard/>
- 7) <http://www.vesa.org/public/VBE/vbe3.pdf>
- 8) <http://www.vrex.com/developer/sterdesc.pdf>
- 9) <http://www.stereographics.com/products/synthagram/synthagram.htm>
- 10) J. Ohm: Stereo/Multiview Video Encoding Using the MPEG Family of Standards SPIE Vol. 3639 (1999) pp. 242-253
- 11) <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-2/mpeg-2.htm>
- 12) [http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt\\_wg\\_rep/031030a/a7.zip](http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/031030a/a7.zip)
- 13) [http://www.3dc.gr.jp/jp/act\\_rep/031030/a2.zip](http://www.3dc.gr.jp/jp/act_rep/031030/a2.zip)

## 6 立体映像の安全性とガイドライン

### 6.1 立体映像表示と視覚負担

立体映像は、次世代の映像情報メディアとして期待されてきたが、これまで普及してこなかった。その主な原因として、多人数かつ裸眼での自由な観察が困難といったディスプレイ側の問題に加えて、コンテンツの不足や応用領域が不明瞭であること、そして観察者に与える負担が指摘されてきた。

さて、立体映像の観察者に与える負担として、メガネなどの装着物やフリッカに起因するものは、裸眼方式が主流となることで大きく改善されつつあると考える。そのため、現行の二眼式立体表示における主要な問題として、視覚系（輻湊と調節）の不整合が関与するとされる視覚負担があげられる。この不整合とは、両眼視差を利用した立体映像を観察する場合に、輻湊は再生される立体像の位置に働くのに対し、水晶体の調節は画像呈示面近傍に固定されているために生じる、輻湊と調節との奥行き情報の矛盾である。なお、自然視の状態では、輻湊と調節の奥行き情報は一致している（図 6.1）。

こうした立体映像観察時の視覚系の不整合と負担の評価にかかる取り組みは、1990 年前後から関連分野において散見される。

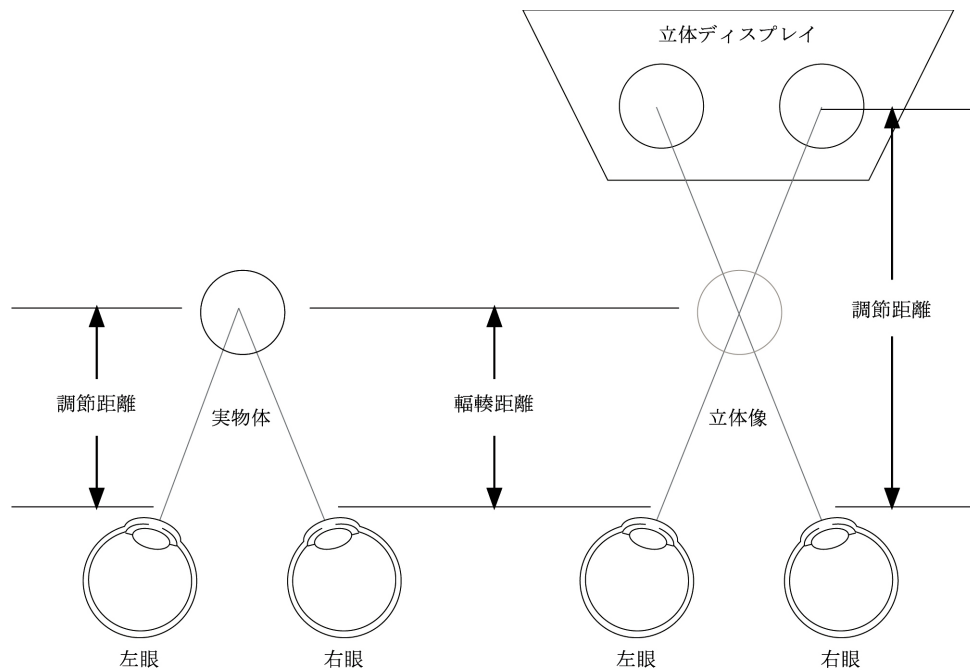


図 6.1 立体映像観察時の視覚系の不整合

例えば、比留間らは、偏光方式を用いて立体映像を呈示し、観察中の被験者の調節を測定した。結果から、輻湊運動に伴う調節反応が観察され、焦点深度を越える範囲ではそれが抑制されることを示した<sup>1)</sup>。また、井上らは、時分割方式を用いて立体映像を観察中の、被験者の眼球運動を測定した。視差量別に共同運動の崩壊率を分析した結果から、1度を越える条件で顕著な上昇を認めている<sup>2)</sup>。

1990年代の後半からは、おそらく時分割方式をはじめとした表示機器の多様化に伴い、実験系の構築にかかる利便性が向上したことも手伝って、さまざまな取り組みがなされるようになってきた。具体的には、眼精疲労に関する主観評価実験<sup>3)</sup>や、各種視覚機能の測定による総合的な評価<sup>4)</sup>等が行われたことで、立体映像による視覚的な負担に対しても、眼科学や人間工学分野で利用されてきた評価手法が適用可能であることが示唆された。

その後の取り組みは、立体映像観察時の視覚機能の特性に関する検討と、特定の条件下での視覚負担の評価という、大きく2つの方向性に分類できる。前者の近年の事例では、武田らが、実像と立体映像による虚像を呈示した際の、被験者の輻湊と調節を測定した。その結果、調節のオーバーシュートと、その後の静定の様子を記録することができたと報告している<sup>5)</sup>。また、岩崎らは、3段階の視差を交差方向と平行方向にそれぞれ設定し、調節反応を測定した。結果から、交差方向に視差を1度以上にした場合、刺激量よりも過剰な調節反応がみられた<sup>6)</sup>。このことから立体映像の視差は、交差方向に1度を越えない条件が望ましいと指摘しており、前述の井上らによる報告を異なる実測値より支持している。一方、後者の事例は、例えば、交差法と平行法で撮影された立体映像の視覚負担の平面映像との比較や<sup>7)</sup>、表示サイズと左右像の大きさの差異による疲労特性の調査など<sup>8)</sup>、多岐に渡っている。

このような、映像情報メディアの人体に与える影響への社会的な関心は、1997年12月に、人気テレビアニメを視聴していた多数の幼児・児童が、けいれん発作や意識障害を生じ、病院で治療を受けたという事件以降<sup>9)</sup>、高まってきている。さらに、近年の立体映像表示への産業界の動向に呼応する形で、立体映像表示の安全性とガイドライン策定にかかる取り組みが急速に進められている。

## 6.2 国内における取り組み

筆者の私見では、わが国は当該分野において、立体映像の評価に従事する研究者の割合が、諸外国に比べて多いという印象を持っている。前述のように、こうした取り組みの中にはガイドライン的な知見の報告も多く、また、ガイドライン自体を示した例もある<sup>10)</sup>。

総合的な取り組みとしては、電子情報技術産業協会（JEITA）が、機械システム振興協会からの受託事業として 1996 年から 2002 年にかけて行った、映像の生体影響に関する調査研究があげられる。JEITA はその成果を、「安全な映像制作のための支援データベース」の Web 一体型 DVD として公開した<sup>11)</sup>。これは、映像に含まれる要素と生体への影響を分類・体系化したものであり、資料として 3 次元映像ガイドライン試案が収録されている。

このガイドライン試案は、機器の開発者向け、コンテンツ制作者向け、観察者向けの、3 カテゴリから構成されている（図 6.2）。各カテゴリは分類がなされ、細分化された項目に対してガイドラインが策定されている。そして、各項目・ガイドラインに対して、根拠となる実験結果・過去の知見・参考データ・参考文献、および評価方法・注意が明示されている。

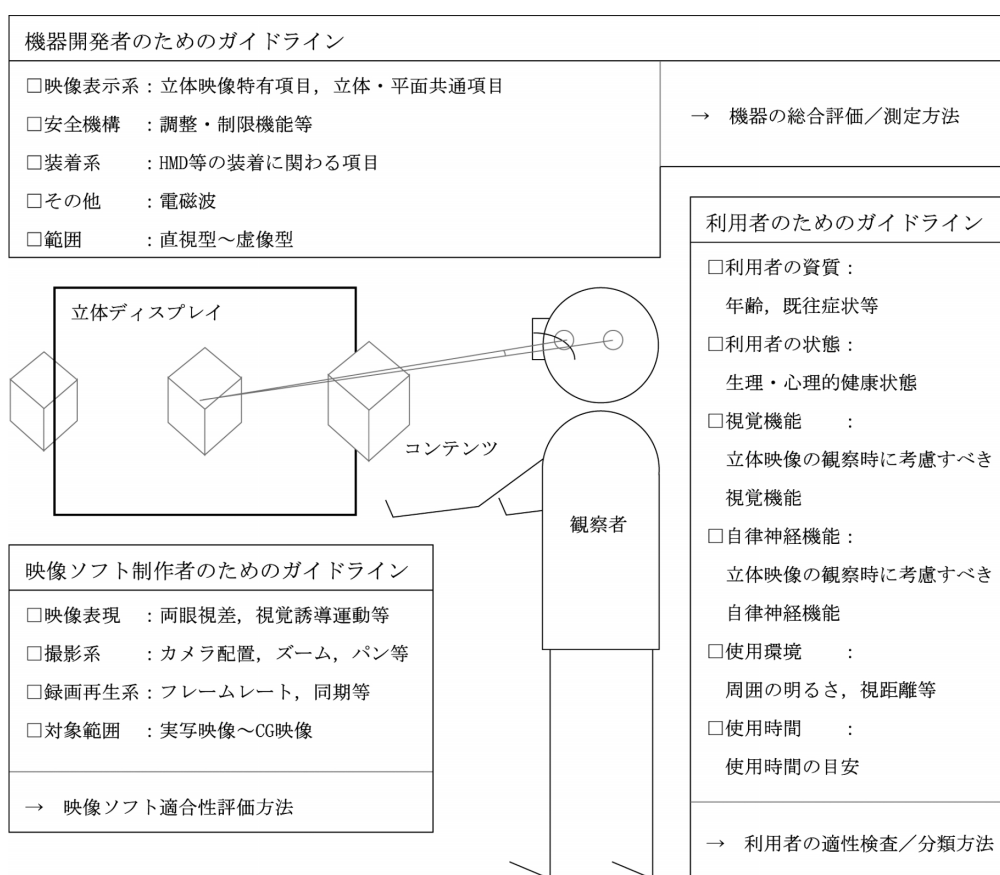


図 6.2 JEITA によるガイドライン試案の構成

例えば、観察者向けのカテゴリ中の「年齢」という項目では、「視覚機能の発達段階において不適切な映像を与えると、健全な視覚発達に影響を与える可能性があるため十分な注意が必要である」「使用する装置の取扱説明書等に記載されている年齢制限に従うことが大切である」というガイドラインが示されている。基礎データベースとしては、関連分野

の文献などから視覚機能の発達段階が整理され、紹介されている。この中で、両眼立体視機能は、生後すぐには存在しないが、その後、活発な成長を遂げ、3歳から6歳にかけて成人と同等になると述べられている。一方で、水晶体の調節は、10歳前後までかけて成長することから、対象年齢の設定においては注意が必要であることが分かる。

その後、国内のガイドラインとしては、3D コンソーシアム<sup>12)</sup>による「3DC安全ガイドライン」が最新である。3D コンソーシアムは、立体映像表示の新たな市場創出を目的として設立された業界団体であり、他にも同様の目的を持った立体映像産業推進協議会<sup>13)</sup>が、ほぼ同時期（2003年3月）に設立されている。

3D コンソーシアムには、相互に必要な技術を検討する技術部会、市場の活性化を図るサービス／コンテンツ部会、ガイドラインを検討して普及活動を行う安全ガイドライン部会が開設されている<sup>14)</sup>。3DC安全ガイドラインも、この部会によるものであり、2004年12月28日に公開された。このガイドラインは、JEITAのガイドライン試案をベースとして、関連する研究者のヒアリング結果を加味し、実用性の高い内容に絞ってまとめられている。なお、このガイドラインは、3D コンソーシアムの会員限定資料とされているため、具体的な引用は避けるが、構成として両眼視差の設定に関わるガイドライン、表示装置の利用に関わるガイドライン、コンテンツ制作に関わるガイドラインから構成されている。加えて、これらのガイドラインを活用するための基礎知識についても紹介されている。

### 6.3 国際的な取り組み

立体映像表示の安全性とガイドラインにかかる最近の国際的な取り組みでは、特筆すべき動向として、映像の生体安全性にかかる ISO (International Organization for Standardization : 国際標準化機構) 国際ワークショップ (International Workshop on Image Safety) があげられる<sup>15)</sup>。

本ワークショップは、産業技術総合研究所と日本工業標準調査会の主催によって、2004年12月7日～9日にかけて行われた。ここでは、光感受性発作 (photosensitive seizures)、映像酔い (visually induced motion sickness)、立体映像を含めた眼精疲労 (visual fatigue) を中心とした総合的な生体安全性の評価方法について、世界各国の専門家が集まり、討論することで、ISO の国際合意文書である IWA (International Workshop Agreement) としての内容のまとめと、ガイドラインの策定に取り組んでいる。

なお、この合意文書 (IWA3) の草案は、本稿の執筆段階 (2005年2月現在) では、2005年2月15日付のもの (Ver.3.0) が最新版となっており、審議中である。この草案の主な

目的は、(1) 映像プロバイダおよび視聴者が、映像による生体安全性の問題を十分に認識すること、(2) 映像プロバイダおよび視聴者に対する提言を提供すること、(3) 生体安全性評価法の国際標準をめざして、さらに利害関係者が協力して活動することを認識すること、などとなっている。なお、この草案が採択され、発行されると、映像の生体安全性について、ほとんどのカテゴリの映像と主要な3つの生体影響を対象とした、初めての国際文書となる。

関連する国際的な取り組みとしては、1993年に英国でTVコマーシャルによる光感受性発作が起こったことを受け、ITC (Independent Television Commission in United Kingdom : 英国独立テレビジョン委員会) が1994年に策定し、2001年に改訂した「Guidance note for licensees on flashing images and regular patterns in television」があげられる。また、ITU-R (International Telecommunication Union Radio-communication : 国際電気通信連合無線通信部門) においても、Study Group 6が新たな勧告「Guidance for the reduction of photosensitive epileptic seizures caused by television (ITU-R BT. 1702)」を2005年2月15日付で採択した。これらはいずれも光感受性発作を対象としたものであるため、立体映像を含めた安全性にかかる取り組みとしては、発行されればIWA3が最初と考えられる。

さて、IWA3の草案では、生体影響である光感受性発作、映像酔い、眼精疲労について、各々その概要が、簡潔にまとめられており、その中では、影響を与える要因についても記述されている。立体映像による眼精疲労のリスクを軽減するために、立体映像の観察者向けに、両眼に対して立体ディスプレイを水平に設置することや、二重像に気付いたら観察を中断することなどが示されている。なお、これらはいずれも草案における記述であることから、今後の動向により変更される可能性があることを留意されたい。

## 6.4 おわりに

本節では、立体映像表示の安全性とガイドライン策定にかかる国内外の取り組みについて紹介した。まず、国内のガイドラインとしてJEITAによる試案は、非常に広範囲に渡ってまとめられていることから、網羅性は高いが、活用にあたっては相応の専門的な知識を要すると考えられる。これに対して3Dコンソーシアムによるガイドラインは、実用性を考慮して内容が絞られているが、現時点では会員に限定されている。

一方、国際的なガイドラインという観点では、未だ普及していない立体映像について、標準的な表示方式や評価方法に関する考え方や、エビデンスとしての実験データ等を常に

更新・蓄積していくことが重要と思われる。

さらに筆者の私見では、立体映像の与える負担として、認知的なものに関しても配慮していく必要があると考えている。例えば、平面映像から立体映像を作り出す 2D→3D 変換では、多くの取り組みがなされており、すでに事業化の例もある。しかしながら、完全な立体映像化、特にリアルタイムでの自動変換は困難であることから、観察者は常に不完全な両眼立体情報を呈示されることになる。こうした状態、つまり画面全体あるいは一部に不適切な両眼視差が呈示されている状態においては、調節と輻湊の不整合に加えて、認知的な矛盾が生じており、早期に疲労が生起されることが予想される。同様の状態は、テロップや CG の合成等の制作過程においても容易に生じる可能性があるため、注意を要する。

さらに、撮影条件や観察条件によっては、箱庭効果や書割効果といった、立体映像表示において特徴的な現象による違和感が生じる場合もある<sup>16)</sup>。これらも一種の認知的な矛盾としてとらえることもできるが、その影響については十分に調査がなされていないのが現状である。こうした現象を軽減・回避する方法も一部で検討されているが、映像表現の自由度や迫力などとのトレードオフとなることが予想される。

立体映像表示の安全性については、今後も予期し得ない影響や問題が生じる可能性があるが、ネガティブな側面だけでなく、メディアとしてのポジティブな効果や応用方法を併せ、両側面から検討していくことが重要と考える。

(河合隆史)

#### 参考文献

- 1) N. Hiruma, Viewing conditions of binocular stereoscopic TV images in the light of accommodation response of the eye, NHK Lab Note, 395, 12 (1991)
- 2) 井上哲理, 野呂影勇, ほか, 視覚機能から見た立体映像の呈示条件, テレビジョン学会誌, 48 (10), 1301-1305 (1994)
- 3) 不二門尚, 視覚情報処理機構からみた眼精疲労 3D 映像視聴の影響を中心に, あたらしい眼科, 14 (9), 1295-1299 (1997)
- 4) 奥山文雄, 宮尾克, 三次元立体画像が視覚機能に与える影響 視覚機能検査とアンケート調査, 映像情報メディア学会技術報告, 22 (47), 25-28 (1998)
- 5) 武田常広, 橋本佳三, 比留間伸行, 立体ディスプレイに対する焦点調節特性と視覚疲労, 人間工学, 35 (Supplement), 228-229 (1999)
- 6) 岩崎常人, 田原昭彦, 立体像注視時の眼焦点調節応答特性からみた両眼視差の許容量, 人間工学, 40 (Supplement), 546-547 (2004)
- 7) 矢野澄男, 井出真司, 立体映像の見やすさと調節変動からみた視覚疲労, 電子情報通

信学会技術研究報告, 99 (647), 73-78 (2000)

- 8) 田崎新二, 和田親宗, ほか, 3次元ステレオ映像の感性向上表示サイズと左右映像の大きさずれによる疲労特性, 映像情報メディア学会誌, 57 (12), 1717-1726 (2003)
- 9) 郵政省 (総務省): 医学的アプローチを中心としたセルアニメーション表示手法に関する中間報告 (1998)
- 10) 伊福部達, 立体画像技術の最近の進展 立体映像の人体影響の評価と設計指針, 光学, 31 (3), 163-165 (2002)
- 11) 電子情報技術産業協会, 安全な映像制作のための支援データベース (2002)
- 12) 3D コンソーシアム, <http://www.3dc.gr.jp/>
- 13) 立体映像産業推進協議会, <http://www.rittaikyo.jp/>
- 14) 今井孝一, 3D コンソーシアム, 3D 映像, 17 (2), 3-5 (2003)
- 15) ISO International Workshop on Image Safety,  
<http://unit.aist.go.jp/humanbiomed/i-safety/IWA-workshop/index.htm>
- 16) 山之上裕一, 湯山一郎, 立体映像における撮像条件と画面効果, 電子情報通信学会大会講演論文集, 1993 (Shuki 6), 373-374 (1993)



## 7 立体映像表示の海外動向

### 7.1 海外技術動向

立体映像表示技術に関して、世界の主要な国から最も最先端の発表がなされる国際会議として、SPIE (The Society for Imaging Science and Technology) 主催の Electronic Imaging 05 (05.1.16-20, San Jose, California, USA) およびその次の週に同じ所で開かれた SPIE Photonics West の会議についての報告を中心に、その動向を紹介する。この報告が上記コンファレンスの“会議報告”のようになってしまったことをお許し頂きたい。

SPIE Electronic Imaging 05 は、例年に比べてかなり盛りあがっていたように思った。これは、“Stereographic Displays and Applications”のセッションチェアである Andrew J. Wood (Ct. for Marine Science and Technology/ Curtin Univ. of Technology (Australia)) が、今回の全体のチェアの一人だったことも影響していると思う。関連するセッションとしては、The Engineering Reality of Virtual Reality, Videometrics などがあった。こちらもけっこう盛り上がっていた。

その一つの例として、特別講演として、

20 Cameras on Mars; The Mars Exploration Rover Imaging System,  
(Justin Maki, Jet Propulsion Lab., USA)

があり、火星表面のステレオ立体写真を多く見せた。プロジェクター2台に偏光フィルターをセットし、参加者(500人程度)全員に簡易偏光メガネを配って見せていた。

このステレオ画像は元々は、2004年1月に火星に軟着陸させた2台の探査車それぞれにつけてあり(全部で20台)、そのうちの適当なステレオカメラ対がとらえたステレオ画像を地球へ送り、地球上のオペレータがそれを見て、その車近傍の地形を推定することを目的とした。その目的の中には、その車をどの方向に動かすかやその車に乗せてあるロボットアームの操作の指令を出す目的であるが、それ以外に非常に多くの(ステレオ)画像が入手できたので見せていた。昔(何億年前かは知らないが)川であった(当然“水”があった)と推測される地形やクレーターと思われる地形も(立体画像として)見せていた。地形の3次元計測にステレオ画像を非常に有効に使った例である。

SESSION 1 Convergence Accommodation Issues のセッションでは、立体映像観察中の輻湊と調節の不整合の改善にかかる研究発表がなされた。まず、Shibata らによる「Stereoscopic 3D display with dynamic optical correction for recovering from asthenopia」では、光学的な補正による調節を伴った立体映像表示を、視覚系の遠方化に

利用することで、眼精疲労の解消や視力向上への応用可能性を示した。Jin らは、視距離と視野角を変化させた際の融像範囲に関する主観評価について、「Creating a comfortable stereoscopic viewing experience: effects of viewing (accommodative) distance and field of view on fusional range」として報告した。Shevlin らは、「Fixed-viewpoint volumetric stereoscopic 3D display using adaptive optics」において、形状可変鏡 (deformable mirror) を用いて複数の調節距離を設定可能な立体表示方式を提案した。Nakanuma らは「Natural 3D display with 128 directional images used for human-engineering evaluation」として紹介した。そして Endrikhovski らは、「Predicting individual fusional range from optometric data」において、融像範囲を予測するための光学的な計算モデルの開発について報告した。

SESSION 2 Human Factors のセッションでは、主に人間工学的なアプローチによる立体映像表示の取り組みについて、研究発表がなされた。まず、Coltekin は、大型スクリーンを用いた効率的な立体映像表示のための手法について、「Stereo-foveation for anaglyph imaging」として提案した。Takaki らは、「Thin-type natural three-dimensional display with 72 directional images」において Ohmori らは、奥行き方向に移動する視標を観察中の調節の変動について、「Accommodative load for stereoscopic displays」として報告した。最後に Speranza らは、「Perceived smoothness in multiview stereoscopic displays」として、多眼式の立体映像表示における視点移動に伴う滑らかさについて、多様な条件からなる主観評価の結果を報告した。

3D Screening Session では、多くのステレオビデオのデモが上映された。トップに上映されたのが NHK-テクニカルサービス (株) (TS と略) の海の中で熱帯魚が回遊するビデオであった。

Session-5 : 2D to 3D Conversion は、今回始めて設定された。今後、この分野は研究発表が増えるのではと想像される。

### Stereoscopic Displays & Applications Demonstration Session

このデモ展示には、スポンサー (費用のサポートなど) として、NuVision (MacNaughton Inc) , VREX-Malaysia, IMAX がついていた。展示デモしていた企業名、大学研究室名を以下に挙げる。

Opticality Corporation: 20" 3D display

Dep3D CRC, Canada: CRC-3D display estimation and multi-view video generation

Lightspeed Design Group: OpenGL hardware accelerated algorithms for  
auto-stereoscopic monitor pattern generation

Johannes Kepler University: Stereoscopic player and stereoscopic multiplexer software

Philips: high quality images rendered in real time for Philips multiview display

University of Durham: New methods for creating stereoscopic images with controlled perceived depth demonstrated using a Sharp RD3D laptop

Curtin University of Technology & Welaptega Marine: Underwater stereoscopic video camera

Toshiba: Prototype autostereoscopic display

21st Century 3D: “3DVX” 3D video camera

RFAEL: Automatic video-to-stereoscopic-video conversion

Planar Systems & McLaughlin Cosulting Group: Stereomirror demonstration

University of Tokyo: Long viewing distance autostereoscopic display

Stereographics Corp. : SynthaGram monitors and Photoshop plug-in

Dynamic Digital Depth Cobalt Entertainment: 2D-3D conversion

MacNaughton Inc : Laser induced images inside crystals

Lightspace Technologies: DepthCube 3D volumetric display

VREX Malaysia: new 17” TNuPol 3D enabled laptop with “clipon” attachment and SterVu™ 2D-3D stereoscopic conversion software

Tsukuba University Takeya Lab.: Stereoscopic display without contradiction of accommodation and convergence

Keynote session; presenter: Steve Schklair ( Cobalt Entertainment )

title:Digital Technology and the Resurgence (復活) of Commercial Stereoscopic Entertainment

1970年代からステレオ映画の世界で20年以上仕事をしてきたSchklair氏である。ビジネスとしての視点、制作者としての視点から示唆に富む意見を述べた。デモ作品の完成度も高く、スーパーボウルNFLのプロモーション、TOYOTAのコマーシャルフィルムは見事な立体感と訴求力を持っていた。実写の3D技術がこの会社の持ち味でありノウハウである。

ビジネスとして展開する以上、制作コストを避けて通ることはできない。「通常の映画撮影が30~40ショット撮れるとすると3Dの場合は6~7ショットしか取れない。しかし3D化したとしても観客は2倍払ってくれない。」これが3D制作ビジネスの一番つらいところ

だそう。

今後の方向性としていくつか挙げた内容を列挙すると、

①Digital化が3D化を後押しする、②CGとの融合、③2D-2.5D変換、④偏光メガネは問題ない、⑤圧縮はできるだけしない、⑥プロジェクターの重要性。

以上、200”の偏光HDステレオでデモを含めながらの発表であった。

SPIE Photonics West(05.1.22-25)

**Displays and Holography (Practical Holography XIX:Materials and Applications)**

今回はこのコンファレンスは従来の Electric Imaging より分かれ、Photonic West に含まれることになった。

ポスターセッションを含め SESSION1 Digital Holography I、SESSION2 Digital Holography II、SESSION3 Art and Culture、SESSION4 Techniques and Applications I、SESSION5 Techniques and Applications II、SESSION6 Materials and Processing I、SESSION7 Materials and Processing II の合計 8 つのセッションが行われた。

今回の傾向としては CGH 関係と材料関係の発表が多かったと思うが、その中で、3D 関係のいくつかを紹介する。

- **Development of direct fringe printer for computer generated holograms** (H. Yoshikawa, et al, Nihon Univ. (Japan) ) ;CGHを描画するフリンジプリンターの話でLCDのSLMを使った装置を作り、192メガピクセルのホログラム (2.7ミクロンピッチ) を40分で描画することができた。
- **Computer generated cylindrical hologram** (Y. Sakamoto, et al, Hokkaido Univ. (Japan) ) ;シリンダリカルタイプのCGHを作成する、新しい方法を考案して従来の方法の1000倍の早さで計算ができた。
- **Large viewing angle electro-holography by modified specific 3D screen** (K. Sato et al, Shonan Institute of Technology (Japan) ) ;空間に投影する方法を用いた広視域のエレクトロホログラフィー、3D空間スクリーンには非常に小さな水滴を用い、20度～30度の視域が得られた。
- **Holographic video display using digital micromirrors** (M. L. Huebschman, et al, Univ. of Texas Southwestern Medical Ctr./Dallas) ;CGHを映像化するためにSLMの代わりにDMDを使用する場合のgrating effect解像力、視域、グレースケールレベルを調べた。

- **Exact hidden-surface removal in digitally synthetic fullparallax holograms** (K. Matsushima, Kansai Univ. (Japan) ) ;CGHの陰面処理の新しい方法について報告。
- **Computer-generated holograms of 3D images in optical security devices** (V. I. Girnyk, Optronics, et al,PC(Ukraine));CGHでDiffractive Optically Variable Image Devices (DOVIDs) と Combined Optical/Digital Security Devices (CO/DSD) を作成した。CO/DSDはDOVIDsを複雑化したもので、通常の画像のほかにレーザーで読み取れる2Dと3Dの画像が記録されている。
- **Holographic full-color 3D display system using color-LCoS spatial light modulator** (E. Kim, et al, Kwangwoon Univ. (South Korea) ) ;CHGのフルカラー画像をLCOS (Liquid Crystal On Silicon) を使ったSLMで表示するシステムを作った。R,G,Bのフリッジパターンを作り、カラーホイールフィルターを回転させて、それぞれのカラービームを当て切り替える。
- **Full-color holographic display and recording of 3D images** (A. Sugita, et al, Univ. of Hyogo (Japan) ) ;反射型で1920×1080の液晶パネル(ピッチ8.1ミクロン)とR,G,BのLDを用いてCGHおよび、高分解能・高画素数のCMOS(3088×2056、ピッチ7.1ミクロン)から入力した実際の画像を再生し、良好な画像を得た。
- **Optimizing optical storage densities in volume holographic recording** (K. E. Anderson, Inphase Technologies) ;日本のOptwareと対抗して次世代ホログラムディスクを開発しているInphaseの発表。比較的コンベンショナルな2光束干渉法を用いてコードを記録してそれを読み出すのであるが、狙っているのは大容量ライトワンスメモリーで主にアーカイブ用。容量の目標は年内に200GBの試作、数年以内に1.6TBの予定。

なお、講演があったわけではないが、イギリスに **OpTIC Technium** という研究機関ができたということが紹介された。これは De Montfort University から H.Bjelkhagen、N.Phillips などが移って成立した研究機関のようである。ここでは Holography と Optical Nano-lithography を研究開発するようで、3D 関係も含まれているようなので紹介しておく。

研究項目としては、

1. Developed processes in all aspects of holography including
2. Study and development of new Recording materials
3. Developing auto-stereoscopic 3D screen

4. Development of Nano-lithographic processes
5. Providing vibration measurements using holographic interferometry
6. Digital holographic microscopy
7. full document security based on OVD(Optical Variable Device) and Lippmann photography

その他

1 : VR(Virtual Reality ; 仮想現実感)の応用を目的とした 3D-CG の発展により、毎年アメリカで開催されている SIGGRAPH( Special Interest Group on computer GRAPHics;シーグラフ)を中心として、VR 関連国際会議での発表等が世界的に盛んになってきており、立体画像・映像もこの分野からブレイクしていく予感がする。

2 : 韓国の状況

韓国では、1988 年におこなわれたソウルオリンピックでは、試験的にサッカーの試合などが立体ビデオカメラで撮られ、それを 100 人程度が同時に見られる立体テレビ視聴室で放映・視聴されたが、その後この試みは留まったままのようである。しかしこの 1~2 年、立体テレビ放送の機運が盛り上がっているようで、ETRI が中心となり、“Realistic Broadcasting” プロジェクトが 60 万米ドル/年で 8 年間の研究開発をおこない、2010 年には韓国のある民放が立体テレビ放送を本格的にスタートさせるつもりで、種々の準備を始めつつあるとの情報もある。

3 : 中国の状況

中国の立体映像（技術）関係者の間では、「2008 年の北京オリンピックは、立体テレビ放送を実現し、それを（立体映像として）録画しよう」というのが一つの声になっているとのことである。そのための具体的な方策としてどのようなことを（まず技術的に）開発しつつあるのかは不明である。

(本田捷夫、河合隆史、曾根原富雄、岩田藤郎)

## 7.2 エンターテイメント分野

立体映像は、現在、エンターテイメントの分野で広く普及している。ここでは、立体や大型映像を主体とするエンターテイメント新映像システムについて紹介する。ここで新映像システムとは「最新の主としてデジタルテクノロジーを駆使して作成された映像が主体となっているシステム」と言える。この様な新映像システムは、様々な所で活躍し、注目

されている。特に近年、米国や日本において、博物館、博覧会、遊園地、テーマパーク等が様変わりし、その主役が各種の新映像システムとなっており、かつ多大な人気を得ており、そこでは様々な映像表現がなされている。

### 7.2.1 新映像システムの分類

これらの新映像システムは、以下の様に大きく分類できる。最近の傾向としては、唯単に大型スクリーンというのではなく、5感に訴えるとのコンセプトで、マルチメディア化が進んでいるとも言える。

#### ① 超大型映像システム（画面の大型化）。

フィルム系（IMAX、IMAX-DOME等）

電子系（HDTV、スーパーハイビジョン等）

#### ② 多画面化による視野の拡大

大型多画面化（フィルム系、HDTV系）

NTSC平面拡大用多画面化、

視野角拡大用多画面化（CAVE等）

#### ③ 立体化

大型立体、立体テレビ

#### ④ マルチメディア化

体感シアター（モーションライド）

匂い、水、霧

### 7.2.2 新映像システムの世界における体験場所

現在、新映像システムが体験できる場所は多岐にわたっている。代表的な場所が、万博や、ディズニーワールドに代表されるテーマパークであるが、最近では、博物館や美術館において、新しい展示物としての新映像システムの導入が進んでおり、また政府、自治体や企業がより効果のある宣伝を兼ねて、無料もしくは極めて安い入場料で新映像システムを鑑賞可能な場所が増えている。以下に代表的な体験場所を地域別に紹介する。

#### (1) 欧州における代表的な映像システム

近年、欧州における新しい映像システムのオープンが目立っている。その主なものを紹

介する。

### (1-1) Parc du Futuroscope

フランスの南部にあるポアチエにある映像コンセプトとするテーマパーク。ここは、一日では回ることが不可能な、多くの立体映像システムを集めた映像のみをコンセプトとするテーマパークとなっている。過去の万博や SIGGRAPH で話題となった作品がここで再上映されるケースが目立っている。

### (1-2) 終局の特殊効果システム 「Holland Experience」

これは、アムステルダム市内のダム広場にできた「The Ultimate Sightseeing Show」と名づけるオランダの体験館である（図 7.2-1）。

ここでは、これ以上はないと言うほどの多くの特殊効果（映像、実物の登場、匂い、洪水、風、サイクロラマ、等）を体験させてくれる。



図 7.2-1 Holland Experience のパンフレットより

### (1-3) 未来の博物館 「ZKM」、「AEC」

未来の映像博物館として西ドイツカールスルーエにオープンしたのが「ZKM」、そして欧州で最初の CAVE が設置されたのが、オーストリアの LINZ にある、AEC（アルス・エレクトロニカ・センター）である。双方とも「21 世紀の美術館、Museum of The Future」と



言われ様に、現在、メディア、アート、テクノロジーの最新動向を体験するのに最適な施設となっている。因みに、ZKMは、1996年9月に、総工費 約1億8千万オーストリアシリング（約20億円、1億が建物、残りが設備に、州と市からの出資、床面積 2,000mm）をかけて増築された巨大な施設である（図 7.2-2 参照）。



図 7.2-2 ZKM の入り口の様子

## (2) アメリカ。ラスベガス地区

アメリカラスベガス地区は、世界を代表する新映像システムが集中している地区であり、たえず最新のシステムがオープンしている地区ともいえる。

以下に代表的な立体映像の体験場を紹介する。

### (2-1) EFX（ラスベガス MGM ホテル）

大掛かりなライブショーの演出効果を高めるために、各種のビジュアルエフェクト映像を多用したものである。例えば、本ショーはトーキングヘッドからスタートする。これは人間の顔の形をした大型の立体スクリーンに、そのサイズにちょうど合う顔面の映像を映写し、まるで本物の顔が喋っているような効果が演出している。もともとはMITのメディアラボなどで、テレビ会議用に考えられたアイデアであるが、ディズニーランドのホーンテッド・マンションなどで採用され、大きな視覚効果を上げた。またショーの中頃では、偏光方式の立体映像が上映され、演出効果の幅を広げている。

### (2-2) RACE for ATRANTIS（Forum shops）

公開されたばかりの現在、最も注目されている、世界初のIMAX-3D映像を用いたシミュレーションライド(図 7.2-3 参照)。



図 7.2-3 Race for ATLANTIS の入り口

### (2-3) STAR TREK-The EXPERIENCE

昨年 10 月に開始された、世界初とも言われる IMAX-DOME とシュミレーションライドとの組み合わせ。このショーの時間は合計 20 分であるが、実際の立体映像ライドの時間は 4 分間のみであるが、そこまでの過程で、指令室などに導き臨場感を高めているのが特徴。また入り口までの長いプロムナードには、待ち時間を飽きさせないように、STAR TREK 所縁の展示物やパネル展示により飽きさせないように工夫し、定着しつつある。

### (3) アメリカ オーランド地区

アメリカオーランド地区は、世界を代表するテーマパークが多数あり、立体映像システムの宝庫ともいえる。

#### (3-1) ユニバーサルスタジオ 「ターミネーター2：3D～バトル・アクロス・タイム」

この大型映像システムは、従来にない画期的な新映像システムであったと言える。これはフィルム系における大型画面の多画面化とも言える。これは 1996 年 6 月にオープンした新アトラクション。ショーはライブステージに移動し、生身の役者（代役）とアニメトロンクスによる舞台を観る。テロリストのジョンとサラ、ターミネーター T-800、それを襲う T-1000 らが、ステージでダイナミックなアクションを繰り広げる。やがて彼らは、スクリーンの中の立体映像へと移動する（映像の中は本物の役者が演じている）。ショーの後半は、コンピュータ防衛システム「スカイネット」にシュワルツェネッガーたちが潜入する所から、大きく変貌する。スクリーンはそれまでの 1 面(7m×15m)から、ほぼ視野全体を覆う 3 面(7m×45m)へと展開し、立体視効果が抜群に向上する。そして最後に

T-1000000 が爆発すると同時に劇場内を煙が蔓延する演出となっている。

### (3-2) Honey, I shrank the audience (マイクロアドベンチャー)

(ディズニーワールド・エプコットセンター、東京ディズニーランド)

ディズニーワールドの EPCOT センターにおける「ハニー アイシュランク ジ オーディエンス」においては、最終場面に於いて、幕間から覗く巨大化した犬がくしゃみをするシーンでは、観客席に水飛沫が撒る。また、ネズミの逃げ出すシーンにおいてパルス状の風を足元に吹き付けることにより、その効果を演出している。なおこのアトラクションは、東京ディズニーランドでも鑑賞可能で、名称は「マイクロアドベンチャー！」となっている。

### (3-3) Disney Quest

Disney が、世界展開を考えている、多数の VR をコンセプトとする新しいコンセプトのゲームセンターの第 1 号が、6 月にディズニービレッジに誕生し、話題となっている。多くの VR 関連のシステムがあるがその主なものを列挙する。

- Hercules in Underworld

5 面 CAVE、立体映像、4 人のゲーム

- Aladdin Magic Carpet

HMD を用いた、4 人の対戦ゲーム

- Cyber Space Mountain

自分でコースを設計できる。仮想ジェットコースタ、等多数

### (3-4) It's Touch to be a Bug! (Disney Animal Kingdom)

最も新しい動物をコンセプトとするテーマパーク。本テーマパークの中央に位置し、目玉の催しである。偏光方式の立体、模型の虫の登場、ボディソニック等多彩である(図 7.2-4 参照)。

### (3-5) 世界最高の立体映像「スパイダーマン」

日本においても来春大阪に「ユニバーサルスタジオ」がオープンすることが話題となっているが、本場アメリカのオーランドにおいても続々新しい施設がオープンし話題を呼んでいる。特に、1999 年に開園 10 周年を記念して、ユニバーサル・スタジオ・フロリダに隣接して新たなテーマパーク“アイランド・オブ・アドベンチャー”をオープンさせた。こ

こでの最大の話題は、なんといっても、アトラクション「アメージング・アドベンチャーズ・オブ・スパイダーマン」である。これは、立体映像と高速に移動するライドを組み合わせた施設である。観客は、セットで作られた街並みを人乗りのライドに乗って移動していくが、そのセットと正確にパースを合わせた立体映像から、「スパイダーマン」のキャラクターたちが飛び出してくる。ライドのボンネットに乗っかってくる。そのリアリティは現在鑑賞できる立体映像の中でも最高と断言できる。もはや世界最高に映像ともいえる「ターミネータ 3D」(ユニバーサルスタジオ、オーランドおよびロスでも開始)を上回るとも言える。ぜひ、オーランドへ行った際は体験することを勧める。図 7.2-5 はスパイダーマンの入り口風景。



図 7.2-4 Animal Kingdom の入り口



図 7.2-5 世界最高の立体映像 スパイダーマンより

#### (4) その他の地域

その他、新映像システムが鑑賞できる場所は、多くの観客が集まる大都市に集中している。

例えばアメリカでは、ニューヨーク地区（SONY IMAX シアター、歴史博物館、エンパイアステートビル等多くの話題の映像施設が集まっている。）、ロスアンゼルス地区（オンタリオモール地区、産業博物館など、最新の新映像システムが多くある）が有名である。

また日本においても長崎のハウステンボスに代表されるテーマパークでは、最も人気のある催しものとして立体映像や大型映像などの新映像システムが鑑賞可能である。

（中嶋正之）

## 第V章 結 言

- 1 立体映像表示の現状認識と今後への期待 ----- 175
- 2 立体映像表示の短期的課題 ----- 176
- 3 立体映像表示の将来展望 ----- 176
- 4 産業活性化へのプランと政策への提言 ----- 177

## 第V章 結言

### 1 立体映像表示の現状認識と今後への期待

立体映像表示に使用されるハードウェア技術に関する現状は、第II章に述べた通りである。静止立体画像を表示するものでは、最近の技術として計算機合成ホログラムを出力するフリンジプリンタとステレオグラムタイプを取り上げたが、両者とも実用化間近の技術と考えられる。最も自然な立体感が得られる画像を表現できるものとして、今後の研究開発の進展に期待したい。

動画ホログラフィーに関しては、現状では立体像の大きさ、画質に関して満足すべきものは得られていない。したがって当面立体動画像に関しては、2眼、多眼式の表示が中心となる。その中でも特に、裸眼立体モニターの普及が大いに期待される。大型立体ディスプレイでは残念ながら裸眼で観察可能なものはないが、要眼鏡の不便さを補って余りある臨場感が得られるため、大きな需要が存在することが再認識された。動画ホログラフィーと多眼式の間位置する技術である超多眼式は、日本発の技術でもあり、今後実用化に向けて周辺環境の整備も含めた研究開発への一層の支援が望まれる。

ユーザー側からの視点に立った立体映像表示の現状は、産業分野毎に第III章にまとめた。現状で実用化に成功しているもの、古くから提案、実験が繰り返されている割には普及の進まないもの、及び最近取り組みが始まったものがあるが、それぞれその理由を明らかにすることにある程度成功したように思われる。第III章での報告に基づき、現状ですでに相当程度立体映像の利用がなされているもの、及び将来的に利用が活発になると予測されるものについて、本章最終節にて市場予測を試みる。

立体映像表示を取り巻く環境に関しては第IV章で取り上げた。残念ながら現状において、立体映像表示のシステム化技術に関する系統的な研究開発はほとんどなされていない。当面通常の平面画像用周辺機器と、通信等の社会インフラを利用した事業が展開することとなろう。映像フォーマットの標準化や、立体映像に関する視覚負担に対するガイドライン策定等の周辺環境の整備も重要であり、それと相まって立体映像専用の周辺機器も増加するものと思われる。

立体映像表示に関する国際的動向について、技術的側面では日本は指導的地位を保っていると思われる。また、立体映像の視覚に与える影響、生体安全性に関しても比較的関心が高く、立体映像の周辺環境が整えられつつある状況である。しかしながら立体映像の利用状況では、必ずしも他国に比較して活発ではないと感じられる。立体映像表示装置の供

給者は、利用者に対し、平面から立体へと展開していくための垣根を取り払う努力を今後とも続けていくべきである。

## 2 立体映像表示の短期的課題

立体映像が広く一般に普及するためには、わずらわしくない、違和感がない、疲れにくいという3要素が必要である。表示技術に関しては、これら3要素を満たす方向性を持って研究開発をすすめるべきである。さらに、利用される応用分野によってまちまちである視野、視域、解像度に対する要求仕様を満たすべく表示性能を向上させる必要がある。多くの応用分野では、これらに加えてリアルタイム性が求められる。表示技術、システム化技術、及び利用分野に固有の具体的課題は前章までに述べられている通りであり、適切な目標値を定めて課題解決のための方策を探ることが重要である。

立体映像産業を育てる上で、もう一つの大きな課題は映し出すコンテンツの充実である。これには、ハードウェアに依存しないコンテンツの作製が、誰にでも簡単にできるようにする必要があり、周辺技術の充実が必須となる。また新たに作製するだけでなく、既にある三次元情報から立体映像を作り出すための仕組みや、平面映像から立体映像を作り出す2D→3D変換技術の開発が不可欠となろう。

## 3 立体映像表示の将来展望

情報化時代の流れは止まることがなく、将来的にも身の回りに情報があふれ続けることは容易に想像される。その流れの中で、欲しい情報にいかに早く正確にたどりつくかということが、競争を勝ち抜き、豊かで生きがいのある生活を送るための重大なポイントとなる。言うまでもなく三次元情報は、二次元情報より格段に情報量が多い。したがって、将来情報量が増え続ければ、三次元的に情報を保存、あるいは伝達しなければならない時代ともなりかねない。その時、三次元情報へのアクセス手段としての立体映像表示の役割は増大する。

将来的に立体映像表示に期待されるもう一つの役割は、人間の脳機能との関わりにおいて、何らかの有益な結果を得る手段となることである。例えば、平面映像を見た場合と立体映像を見た場合での、脳内における信号伝達の違い、記憶の違い、あるいは映像によって引き起こされる感情の違い等、興味ある研究課題は数多く存在する。これらの脳機能を解明するための道具として立体映像表示は使用されるであろうし、また解明された結果を



学習や治療といった場面で利用するためにも立体映像表示が不可欠となるであろう。

#### 4 産業活性化へのプランと政策への提言

立体映像表示に関する今後の研究開発の方向性については、画質等の向上を追及し、観察者の満足度を高めるための究極を目指す方向、応用に特化する方向、及び標準化を目指す方向等が有望と思われる。いずれにしても、立体映像産業活性化への鍵は、次の3点に要約されると言えよう。

- 1) 立体映像の必要性、メリットの大きなものから順次導入すること。
- 2) コンテンツが既にあるもの、あるいは容易に取得可能なものから導入すること。
- 3) 立体映像を使用する効果を早急に明らかにすること。

立体映像表示は、多くの分野にまたがって利用されるものであり、またまとまった統計資料等も存在しないため、立体映像産業の市場規模を調査、予測することは非常に困難である。しかしながら、利用分野はかなり網羅的に調査できており、ある程度の仮定、推定はやむを得ないものとして、5年後（2010年）における国内の立体映像表示システムの売上高を試算した。以下は、主に立体映像表示のためのハードウェアシステムとその付随ソフトウェアのみを考え、コンテンツのみのソフトウェア販売については考慮していない、控えめな予測である。

まず製造分野においては、企画設計段階における三次元 CAD ソフトウェアの売り上げが現在 10 万シートということから、その 10%（1 万シート）に、1 システム 100 万円の立体映像表示装置を付属させると、その売り上げは 100 億円となる。製造分野における企画設計段階以外での取り組みは実験的段階であるから大きな売り上げは期待できないが、製造分野全体で百数十億円の市場規模を見込める。

ロボット分野においては、立体映像機能付のロボット市場が 640 億円と予想されているが、そのうち立体映像表示に関わる部分を約 1 割として、70 億円程度の市場規模は見込めるであろう。

医療分野では、三次元医用画像診断装置の付属装置として 30 億円程度の市場規模は見込める。

土木・建築系シミュレーション分野では、販売台数はさほど多くないと思われるが、大型のシステムとなるため 1 システム当りの金額が大きく、30 億円程度と見積もる。

印刷・出版分野では、公表されたデータではないものの、既に 100 億円以上の売り上げがあると考えられ、今後もセキュリティ用途での需要が増すことから、5 年後には 200 億

円程度の市場規模になると予測する。

その他の分野では、遊技機に立体映像用液晶ユニットが適用されれば、現市場規模の1%としても200億円程度の市場規模は期待できる。2010年に立体映像の放送が開始されるとは考えがたいが、インターネットを通じた立体映像の配信と、それを通じた教育(eラーニング)はかなりの増加が見込まれており<sup>1)</sup>、配信された立体映像を家庭や職場で見るためのパソコン用ディスプレイとして、数十億円から百億円の市場が期待できる。さらに、携帯電話等のモバイル機器に搭載される立体ディスプレイとしても同様の市場が期待できる。

以上合計すると、主にハードウェアシステムのみで、立体映像産業の市場規模は2010年に800億円以上になると推計される。

このように大きな市場が期待される立体映像産業を着実に育成するために、国として今後行うべき施策としては、次の5つが考えられる。

- 1) 動画ホログラフィー、超多眼立体映像表示など、究極の立体映像表示を目指す研究開発の推進。
- 2) 立体映像が学習、訓練、治療等に及ぼす効果を立証するための研究の推進。
- 3) 立体映像の標準化に対する施策の推進。
- 4) 立体映像コンテンツクリエイターを育てるための施策の推進。
- 5) 文化遺産等の立体映像による保存と、その公的施設での公開の推進。

以上、本報告書が多くの方の参考となり、大いに活用されますことを期待する次第である。

本報告書の最後に当り、委員会及び分科会における見学、講演を快くお引き受け下さった方々、報告書の執筆にご協力下さった方々に深く感謝いたします。

(山内 真)

#### 参考文献

- 1) デジタル時代におけるリアル 3D ビジネスの有効活用事例と今後の有望分野、シードプランニング(2003) <http://www.seedplanning.co.jp>

## 付 録

1	立体映像機器一覽	179
2	立体映像関連情報	183
3	専門用語、略語、単位、規格	190

## 付 録

### 1 立体映像機器一覧（五十音順）

掲載機器は、下記展示会、学会での出展品やインターネット情報、委員からの情報に基づき調査を行ったものである。

- ・ SID04（米国）、SIGGRAPH2004（米国）、立体Expo（国内）、  
産業用バーチャルリアリティ展（IVR展）（国内）、  
3Dコンソーシアム総会（国内）、PAGE2004展示会（国内）

#### (1) 株式会社 IO データ機器

- ・ 3D フィルター&立体視 3D 編集鑑賞キット  
<http://www.iodata.jp/prod/multimedia/movie-camera/2004/pfl-play3d-i/>
- ・ 展示場所；〒101-0021 東京都千代田区外神田 4-7-1  
アイ・オー・データ機器秋葉原ビル 1F
- ・ 問合せ先；TEL：03-4288-1039

#### (2) 株式会社アペックス

- ・ 60 インチ立体視ディスプレイ（偏光めがね方式）、4D Magic・Box 他  
<http://www.apex-tokyo.co.jp>
- ・ 問合せ先；TEL：0426-46-3900

#### (3) 株式会社有沢製作所

- ・ 30"裸眼立体ディスプレイ他  
<http://www.arisawa.co.jp/jp/index.html>
- ・ 展示場所；〒111-0052 東京都台東区柳橋2-12-5（東京支店）
- ・ 問合せ先；TEL：03-3861-3625（第3ディスプレイ材料グループ）

#### (4) 株式会社イノバテック

- ・ Light Space 社奥行き標本型裸眼立体ディスプレイ  
<http://www.lightspacetech.com>  
<http://www.innovatec.co.jp/>
- ・ 問合せ先；TEL：03-3459-7321

#### (5) NTT データ三洋システム株式会社

- ・ 三洋電機 22"裸眼立体ディスプレイ、50"裸眼立体ディスプレイ他

[http://www.ddweb.ne.jp/products/thf/thf\\_catalog.pdf](http://www.ddweb.ne.jp/products/thf/thf_catalog.pdf)

[http://www.nttd-sanyo.co.jp/sitemap\\_index.html](http://www.nttd-sanyo.co.jp/sitemap_index.html)

- ・ 問合せ先 ; NTT データ三洋システム株式会社 ニュービジネス推進部

TEL : 03-3231-3481 (東京)、06-6994-3513 (大阪)

(6) コダック株式会社

- ・ 接眼式 3D ディスプレイ

<http://www.kodak.com/US/en/corp/researchDevelopment/whatWeDo/ventures/autostereoscopic/index.shtml>

(7) 株式会社ザ・ビット

- ・ 立体プロジェクションシステム、3D 撮影機材他

<http://www.the-bit.co.jp/top/index.html>

- ・ 問合せ先 ; TEL : 045-317-6210

(8) シャープ株式会社

- ・ 3D 対応液晶搭載ノートパソコン、15 インチメガネ無し 3D ディスプレイ

<http://www.sharp.co.jp/corporate/news/040610-a.html>

- ・ 展示場所 : 〒162-8408 東京都新宿区市谷八幡町8番地

<http://www.sharp.co.jp/corporate/showroom/ichigaya/index.html>

- ・ 問合せ先 ; TEL : 03-3260-1161 (代表) (同社ビル内ショールーム)

(9) スリーディ・コム株式会社

- ・ 裸眼立体ディスプレイ

<http://www.j-3d.com/>

- ・ 展示場所 : 〒107-6022 東京都港区赤坂1丁目12番32号 アーク森ビル22階

(本社内ショールーム)

- ・ 問合せ先 ; TEL : 03-6733-3030 (代表) E-mail : info@j-3d.com

(10) 株式会社ソリッドレイ研究所

- ・ 大型立体ディスプレイ、各種VR機器

<http://www.solidray.co.jp/>

- ・ 問合せ先 ; TEL : 045-324-6841 (セールスプロモーション課)

(11) 日商エレクトロニクス株式会社

- ・ Stereographics 社製 20”、40”裸眼立体ディスプレイ

- ・ Actuality Systems 社製体積走査型ディスプレイ (Perspectra)

<http://www.nissho-ele.co.jp/product/p09.html>

- ・ 展示場所：日商エレクトロニクスビジュアルショールーム NAVS（ナビス）（要予約）  
〒135-0063 東京都江東区有明 1-4-13 ヒシマサ第3ビル  
（日商エレクトロニクス ビジュアル事業部）

- ・ 問合せ先；TEL：03-3544-3496

(12) ネプラス株式会社

- ・ X3D 社製 15、17、19、43、50 インチ裸眼立体ディスプレイ  
<http://www.n-plus.co.jp/index.htm>

- ・ 展示場所；〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-1-5

ベンチャー・KANDA 508号室

- ・ 問合せ先；TEL：03-5282-2600 E-mail：netplus@n-plus.co.jp

(13) パルステック工業株式会社

- ・ 3D レーザスキャナなど

<http://www.pulstec.co.jp/index.html>

- ・ 問合せ先；TEL：03-5434-5001（代）（東京営業所）、  
TEL：06-6337-4711（代）（大阪営業所）

(14) 株式会社ビジュアルコミュニケーションズ

- ・ 3D テレビモニター、3D レンズ他

[http://www.e-vic.co.jp/sub01\\_01.htm](http://www.e-vic.co.jp/sub01_01.htm)

- ・ 問合せ先；TEL：03-5495-1381

(15) 株式会社フローベル

- ・ 3D 撮影カメラ、立体プロジェクションシステム

<http://www.flovel.co.jp/0.html>

- ・ 問合せ先；TEL：042-535-9311

(16) ペンタックス株式会社

- ・ 3D 撮影機能付きデジタルカメラ

<http://www.pentax.co.jp/japan/news/2002/200222.html>

- ・ 問合せ先；TEL：03-3960-0887（お客様相談センター）

(17) 松下電工株式会社

- ・ サイバードーム半球ドーム型映像提示システム

<http://www.mew.co.jp/press/0406/0406-6.htm>

- ・ 問合せ先；松下電工 照明事業分社 LED・調光・特品開発事業部  
TEL：06-6908-1131（代表）

(18) 株式会社リアルビズ社

- ・ DTI 社製 15”、18”裸眼立体ディスプレイ、Seareal 社製 18”裸眼立体ディスプレイ

<http://www.realviz.co.jp/index.html>

- ・ 問合せ先 ; TEL : 03-5207-6862 (代表)

(19) 株式会社レッツ・コーポレーション

- ・ 3D カメラシステム、各種立体ディスプレイ 他

<http://www.lets-co.co.jp/index.htm>

- ・ 問合せ先 ; TEL : 052-201-6230 (本社)、TEL : 03-3546-0889 (東京営業所)

(金山秀行)

## 2 立体映像関連情報

### 2.1 特許関連情報

立体映像に関する特許文献は膨大な数に上るが、ここでは日本国内で既に登録済の特許について調査する。調査方法は、特許電子図書館（IPDL）<sup>1)</sup>の検索エンジンを利用して、国際特許分類（IPC）第7版に基づいて行った。検索式は次の通りである。

検索式（IPC（第7版））：G01S7/20+ G02B21/22+ G02B/27/22

ただし、

G01S7/20・・・立体表示；三次元表示；擬似三次元表示

G02B21/22・・・立体視装置

G02B/27/22・・・立体視または他の三次元効果を生ずるもの

立体映像に関する他の分類コードとして、G03B35/00（立体写真）や H04N/13/00（立体テレビジョン方式）等もあるが、件数を絞るために今回の調査では割愛した。検索期間は、特許権の存続期間である20年間（1985年1月1日～2005年1月1日）とした。

以上の検索の結果、登録特許件数は448件であった。登録件数が10件以上の権利者は、三洋電機（株）82件、シャープ（株）44件、オリンパス（株）28件、キヤノン（株）27件（ただし（株）エム・アール・システム研究所2件を含む）、日本電信電話（株）21件、日本電気（株）14件、凸版印刷（株）12件、（株）トプコン10件であった。

以下の表2-1に検索した全448件のうち、登録日が新しい順に30件分のリストを示す。

表2-1 最新の登録特許リスト（30件）

	【特許番号】	【発明の名称】	【出願日】	【特許権者】
1	特許第3590982号	マイクロ・ミラー・デバイスを用いた立体・可変画像表示装置	1994/2/28	凸版印刷株式会社
2	特許第3590660号	カラー立体画像表示装置	1994/11/21	日本放送協会
3	特許第3590659号	カラー立体画像表示装置	1994/11/21	日本放送協会
4	特許第3587890号	撮像装置	1994/9/22	テルモ株式会社
5	特許第3587889号	撮像装置	1994/9/22	テルモ株式会社
6	特許第3585781号	立体表示装置	1999/8/31	株式会社東芝
7	特許第3583936号	眼鏡無し立体映像表示装置	1998/12/28	三洋電機株式会社
8	特許第3583634号	立体映像表示方法並びに装置及びその制御方法を記録した記録媒体	1999/1/21	日本電信電話株式会社
9	特許第3583613号	立体表示方法及び装置	1998/4/15	日本電信電話株式会社



	【特許番号】	【発明の名称】	【出願日】	【特許権者】
10	特許第 3583448 号	手術用顕微鏡装置	1993/3/12	オリンパス株式会社
11	特許第 3582688 号	立体視覚装置	1997/9/5	ソニー株式会社
12	特許第 3581408 号	立体視硬性内視鏡	1994/11/29	ペンタックス株式会社
13	特許第 3579685 号	航空管制用表示装置における航空機位置表示方法	2001/10/24	独立行政法人電子航法研究所／株式会社リアルビズ
14	特許第 3578808 号	立体表示装置	1994/9/7	日本放送協会
15	特許第 3577577 号	空中立体視装置	1996/2/23	株式会社タイテック
16	特許第 3577107 号	実体顕微鏡	1994/7/8	オリンパス株式会社
17	特許第 3577042 号	立体ディスプレイ装置及び立体ディスプレイ装置における画面制御方法	2002/1/15	キヤノン株式会社
18	特許第 3576521 号	立体表示方法及びその装置	2001/11/2	独立行政法人 科学技術振興機構
19	特許第 3575622 号	正確な立体三次元画像を発生する装置および方法	1994/1/14	サン・マイクロシステムズ・インコーポレイテッド
20	特許第 3574751 号	三次元表示方法および装置	1998/10/30	日本電信電話株式会社
21	特許第 3573270 号	立体視画像配布物	2000/3/30	江良 一成
22	特許第 3568338 号	液晶立体表示装置	1996/12/20	三洋電機株式会社
23	特許第 3566484 号	立体画像表示装置	1997/2/5	キヤノン株式会社
24	特許第 3565400 号	自動立体表示装置	1998/2/4	シャープ株式会社
25	特許第 3565391 号	視点補正自動立体表示装置	1997/1/27	シャープ株式会社
26	特許第 3564170 号	平面画像を立体画像昇華する処理関連物及び該製造方法	1994/4/11	川崎 光洋
27	特許第 3563454 号	立体画像表示装置	1994/8/24	日本放送協会
28	特許第 3562538 号	実体顕微鏡	1995/6/20	株式会社トプコン
29	特許第 3559341 号	立体視内視鏡	1995/2/15	ペンタックス株式会社
30	特許第 3554257 号	表示制御装置及び方法	2000/7/31	キヤノン株式会社

## 2.2 学術論文関連情報

立体映像に関する学術論文も枚挙にいとまがないが、ここでは国際会議で発表された学術論文について調査する。特に、米国の学会 SPIE (The International Society for Optical Engineering) が主催する国際会議 Stereoscopic Displays and Applications <sup>2)</sup> 及び Practical Holography : Materials and Applications <sup>3)</sup> は、毎年世界各国から最先端の立体映像技術の発表が行われている。そこで、両会合における発表件数を調査することとした。

調査期間は 2000 年から 2005 年までの 6 年間とした。表 2-2 及び表 2-3 に各国の発表件数の推移を示す。日本の発表件数は米国とほぼ肩を並べており、日本の立体映像の研究水準が世界のトップレベルにあることがわかる。

表 2-2 Stereoscopic Displays and Applications における発表件数

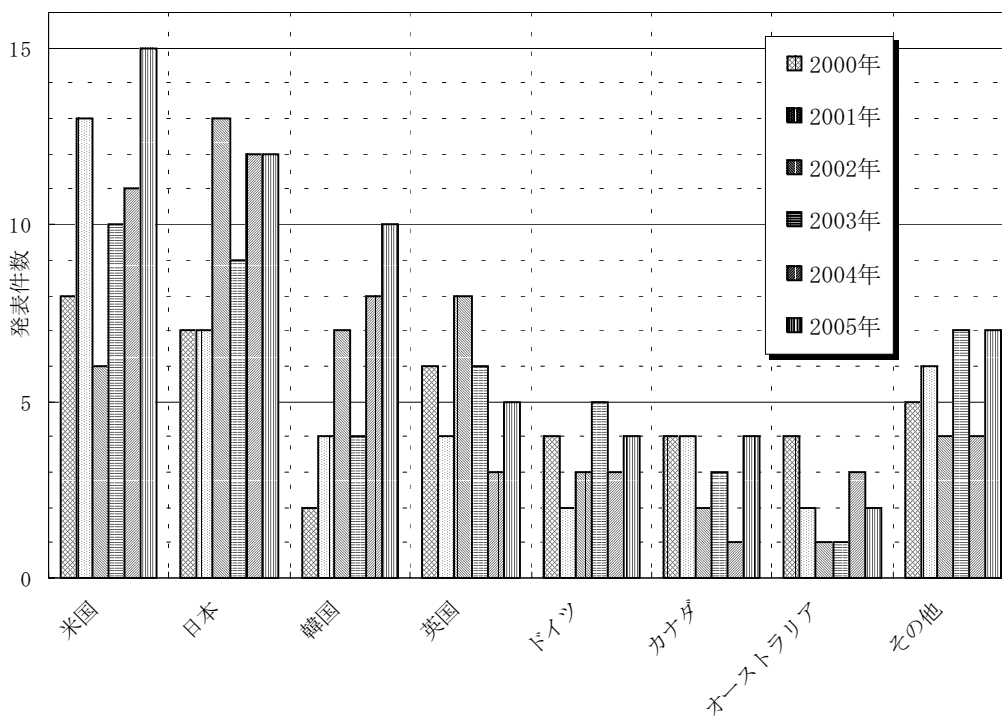
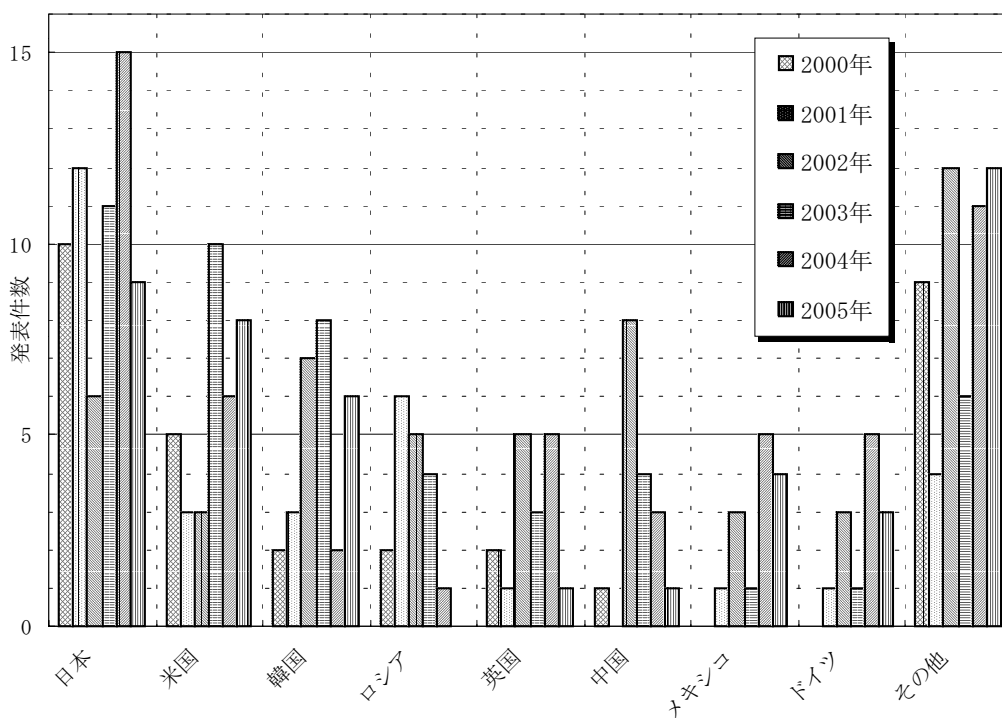


表 2-3 Practical Holography : Materials and Applications における発表件数



## 2.3 書籍関連情報

国立国会図書館の蔵書データベース<sup>4)</sup>を利用して抽出した和図書のリストを以下に示す。

- (1) ホログラフィーの原理 / P.ハリハラン 著, 吉川 浩, 羽倉弘之 共訳 -- オプトロニクス社, 2004.3
- (2) 立体映像表現 / 河合隆史, 田中見和 共著, 井上哲理 監修. -- カットシステム, 2003.12. -- (次世代メディアクリエイター入門 ; 1)
- (3) 立体映像革命 / 吉岡 翔. 著 -- 財界研究所, 2002.3
- (4) 高臨場感ディスプレイ / 谷 千束 著 -- 共立出版, 2001.10. -- (シリーズ先端ディスプレイ技術 ; 6)
- (5) 映像社会を変える高臨場感ディスプレイ / 谷 千束 著. -- 工業調査会, 2001.7. -- (K books series ; 167)
- (6) 立体映像の人体影響を探る -VR 環境構築の指針に向けて-/ 伊福部達 監修, 鈴木康夫, 井野秀一, 恩田能成 著. -- エム・アール・システム研究所, 2001.8
- (7) ここまできた立体映像技術 / 志水英二, 岸本俊一 共著. -- 工業調査会, 2000.8. -- (K books series ; 156)
- (8) 3次元画像用語事典 / 画像電子学会 3次元画像調査専門委員会 3次元画像用語事典編集委員会. -- 新技術コミュニケーションズ, 2000.7
- (9) 3次元画像と人間の科学 / 原島 博 監修, 元木紀雄, 矢野澄男 共編 -- オーム社, 2000.4
- (10) 立体視の不思議を探る / 井上弘 著. -- オプトロニクス社, 1999.2
- (11) 3次元ビジョン / 徐剛, 辻三郎 共著. -- 共立出版, 1998.4
- (12) ホログラフィー / 辻内順平 著. -- 裳華房, 1997.11. -- (物理学選書 ; 22)
- (13) ホログラムと回折型光学素子. -- [日本光学会], [1996]. -- (AP ; 962302)
- (14) ホログラフィ入門 / 久保田敏弘 著. -- 朝倉書店, 1995.11
- (15) 3次元映像の基礎 / 泉 武博 監修, NHK 放送技術研究所 編 -- オーム社, 1995.6
- (16) ホログラフィー / 辻内順平 著. -- 丸善, 1993.3. -- (Frontier technology series ; 34)
- (17) 実践ホログラフィ技術 / 鈴木正根 著. -- 増補改訂版. -- オプトロニクス社, 1993.4
- (18) 三次元映像 / 稲田修一 編著, 日下秀夫, 岩田藤郎, 羽倉弘之, 佐藤 誠 共著 -- 昭晃堂, 1991.7. -- (これからの画像情報シリーズ ; 7)

- (19) 三次元画像工学 / 大越孝敬 著. -- 朝倉書店, 1991.7. -- (先端科学技術シリーズ ; B4 エレクトロニクス)
- (20) ホログラフィックディスプレイ / 辻内順平 編著,池上皓治,石井勢津子,石川 洵,岩田藤郎,岡田勝行,勝間ひでとし,久保田敏弘,桑山哲郎,齋藤隆行,鈴木正根,羽倉弘之,本田捷夫,和田 隆 共著 -- 産業図書, 1990.12. -- (ディスプレイ技術シリーズ)
- (21) 3次元ディスプレイ / 増田千尋 著. -- 産業図書, 1990.5. -- (ディスプレイ技術シリーズ)
- (22) ホログラフィのはなし / 本田捷夫 著. -- 日刊工業新聞社, 1987.7. -- (Science and technology)
- (23) 実践ホログラフィ技術 / 鈴木正根 著. -- オプトロニクス社, 1986.7
- (24) ステレオグラフィックス&ホログラフィ : ザ 3D (The three dimensions) / 安居院猛,中嶋正之,羽倉弘之 共著 -- 秋葉出版,1986.2
- (25) ディスプレイホログラフィーハンドブック / 中島真人,花野和生 共著. -- 暁印書館, 1985.7
- (26) ホログラフィ / 大越孝敬 著. -- 電子通信学会, 1977.3
- (27) ホログラフィー入門 / 村田和美 著. -- 朝倉書店, 1976
- (28) ホログラフィー入門 / J.Ch.Vienot,P.Smigielski,H.Royer 共著, 辻内順平、中村琢磨 共訳. -- 共立出版, 1975. -- (光学技術シリーズ ; 3)
- (29) ホログラフィ / 沼倉俊郎 著. -- コロナ社, 1974. -- (電子工学進歩シリーズ ; 6)
- (30) 立体表示 / 阿妻知幸 著. -- 産業図書, 1973
- (31) 三次元画像工学 / 大越孝敬 著. -- 産業図書, 1972

## 2.4 学会関連情報

### 2.4.1 国内の学協会

#### 【学会】

- (1) 社団法人 映像情報メディア学会 <http://www.ite.or.jp/>
- (2) 社団法人 人工知能学会 <http://www.ai-gakkai.or.jp/jsai/>
- (3) 社団法人 応用物理学会 <http://www.jsap.or.jp/>
- (4) 社団法人 応用物理学会分科会 日本光学会 <http://annex.jsap.or.jp/OSJ/>
- (5) 社団法人 応用物理学会分科会 日本光学会研究グループ ホログラフィック

- ディスプレイ研究会 (HODIC) <http://www.hodic.org/>
- (6) 社団法人 可視化情報学会 <http://www.vsj.or.jp/index.html>
- (7) 社団法人 照明学会 <http://www.ieij.or.jp/>
- (8) 社団法人 情報処理学会 <http://www.ipsj.or.jp/>
- (9) 社団法人 精密工学会 <http://www.jspe.or.jp/>
- (10) 社団法人 電気学会 <http://www.iee.or.jp/>
- (11) 社団法人 電子情報通信学会 <http://www.ieice.org/jpn/index.html>
- (12) 社団法人 日本エム・イー学会 <http://www.jsmbe.or.jp/>
- (13) 社団法人 日本ロボット学会 <http://www.rsj.or.jp/>
- (14) 社団法人 日本解剖学会 <http://www.anatomy.or.jp/>
- (15) 社団法人 日本機械学会 <http://www.jsme.or.jp/>
- (16) 社団法人 日本写真学会 <http://wwwsoc.nii.ac.jp/spstj2/index.html>
- (17) 社団法人 日本超音波医学会 <http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsum/>
- (18) コンピュータ支援画像診断学会  
<http://www.toriwaki.nuie.nagoya-u.ac.jp/~cadm/japanese/>
- (19) バイオメカニズム学会 <http://www.sugano.mech.waseda.ac.jp/biomech/>
- (20) ヒューマンインタフェース学会 <http://www.his.gr.jp/>
- (21) 画像電子学会 <http://wwwsoc.nii.ac.jp/iieej/>
- (22) 芸術科学会 <http://www.art-science.org/artsci/>
- (23) 日本コンピュータ外科学会 <http://www.jscas.org/>
- (24) 日本シミュレーション外科学会 <http://www.jscas.gr.jp/>
- (25) 日本バーチャリアリティ学会 <http://www.vrsj.org/main.html>
- (26) 日本医用画像工学会 <http://www.jamit.jp/index-j.html>
- (27) 日本視覚学会 <http://wwwsoc.nii.ac.jp/vsj2/>
- (28) 日本 VR 医学会 <http://www.jsmvr.umin.ne.jp/>

#### 【協会】

- (1) 財団法人 イメージ情報科学研究所 <http://www.image-lab.or.jp/>
- (2) 財団法人 デジタルコンテンツ協会 <http://www.dcaj.org/>
- (3) 財団法人 光産業技術振興協会 <http://www.oitda.or.jp/index-j.html>
- (4) 社団法人 日本オプトメカトロニクス協会 <http://www.joem.or.jp/>
- (5) 社団法人 日本映画テレビ技術協会 <http://www.mpte.jp/>

- (6) 社団法人 日本工業技術振興協会 <http://www.jttas.or.jp/>
- (7) 3D コンソーシアム <http://www.3dc.gr.jp/>
- (8) CAVE/IPT コンソーシアム <http://caveipt.serveftp.com/>
- (9) 立体映像産業推進協議会 <http://www.rittaikyo.jp/index.html>
- (10) 三次元映像のフォーラム <http://www.hi.is.uec.ac.jp/3Dforum/>

#### 2.4.2 海外の学会

- (1) International Society for Computer Aided Surgery (ISCAS) <http://igs.slu.edu/>
- (2) The International Society for Optical Engineering (SPIE) <http://www.spie.org/>
- (3) The Optical Society of America (OSA) <http://www.osa.org/>
- (4) The Society for Imaging Science and Technology (IS&T)  
<http://www.imaging.org/>
- (5) The Society for Information Display (SID) <http://www.sid.org/>

(末廣晃也)

#### 参考文献

- 1) 特許電子図書館 (IPDL) : <http://www.ipdl.ncipi.go.jp/homepg.ipdl>
- 2) Stereoscopic Displays and Applications : <http://www.stereoscopic.org>
- 3) Practical Holography : Materials and Applications :  
<http://bookstore.spie.org/index.cfm?fuseaction=SearchResultsVolume&keywords=practical%20holography>
- 4) NDL-OPAC (国立国会図書館 蔵書検索・申込システム) : <http://opac.ndl.go.jp/>

### 3 専門用語、略語、単位、規格

#### 3.1 専門用語の解説

立体映像の専門用語をまとめて表 3-1 に示す。

表 3-1 立体映像に関する専門用語

語句	意味
二眼式	右眼用と左眼用の画像により立体視させる方式。
アナグリフ	赤と青の色で左右の像を分離する二眼式立体表示方式。
インテグラル フォト グラフィ	ハエの眼レンズにより多方向から見た像を記録し、立体像を再生する方式。
運動視差	視点が動くことによって物体の見え方が変わる事。
多眼式	多くの視点（通常横方向のみ）からみた画像により立体視させる方式。
調節	人間の眼におけるピント調節のこと。
パースペクティブ	遠近画法。
パララックスバリア	バリアにより左右の像を分離する立体表示方式。
輻輳	左右の眼が注視点に向くこと。
偏光	光の電気ベクトルが向く方向。またその方向が揃っている光。
ホログラム	ホログラフィーにおいて、光の干渉縞を記録した媒体。
ホログラフィー	光の干渉を利用した、光波面の記録再生方式。
ホログラフィック ステレオグラム	多方向から見た画像を記録し、その画像をホログラムに記録して立体像を再生する方式。
両眼視差	左右の眼で物体の見え方が変わる事。
レンチキュラー	主に立体視に使用する、かまぼこ型のレンズアレイ。

### 3.2 略語の解説

本報告書で使用されている代表的な略語を表 3-2 に示す。

表 3-2 本報告書で使用されている略語

略語	正式名称、訳等
2D	Two Dimension あるいは Two Dimensional。二次元(の)。
3D	Three Dimension あるいは Three Dimensional。三次元(の)。
AR	Augmented Reality。強化現実感。
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment。没入型表示システム。
CG	Computer Graphics。コンピューターで作成した画像。
CGH	Computer Generated Hologram。計算機合成ホログラム。
DFD	Depth-Fused 3D。奥行き方向に重なった像が融合して知覚される現象。
DMD	Digital Micromirror Device。デジタルマイクロミラーデバイス。
DVD	Digital Versatile Disk。デジタル多用途ディスク。光学式記録媒体の一つ。
GPU	Graphics Processing Unit。CG画像を高速で描画することに特化したプロセッサ。
HDTV	High Definition TeleVision。高品位テレビ。
HMD	Head Mounted Display。頭部装着式映像表示装置。
IP	Integral Photography。インテグラルフォトグラフィ。
LCD	Liquid Crystal Display。液晶ディスプレイ。
LD	Laser Diode。半導体レーザー
LED	Light Emitting Diode。半導体光源。
MR	Mixed Reality。複合現実感。
RGB	Red Green Blue。光の三原色。
VR	Virtual Reality。仮想現実感。



### 3.3 単位

本報告書で使用されている、解像度、情報量、情報伝達速度に関する単位をまとめて表 3-3 に示す。

表 3-3 単位

単位	意味
bps	bit per second。1秒間に1bitの情報を送信するスピード。
dpi	dot per inch。1インチ(25.4mm)当りのドット数。
GB	Giga Byte。情報量の単位。1024MBあるいは $10^9$ バイト。
MB	Mega Byte。情報量の単位。1024キロバイトあるいは $10^6$ バイト。
Mbps	Mega bit per second。1秒間に1メガビットの情報を送信するスピード。
ppi	pixel per inch。1インチ(25.4mm)当りの画素数。

### 3.4 平面映像の規格

本報告書に出てくる平面映像の規格をまとめて表 3-4 に示す。

表 3-4 平面映像の規格

語句	意味
JPEG	Joint Picture Experts Group。デジタル静止画像圧縮方式の一つ。
MPEG	Moving Picture Experts Group。デジタル動画画像圧縮方式の一つ。
NTSC	National Television Standards Committee。標準的なTV用ビデオ信号。
QUXGA-W	Quad-Ultra XGA-Wide。3840×2400画素の解像度を持つディスプレイ。
QVGA	Quarter VGA。320×240画素の解像度を持つディスプレイ。
SVGA	Super VGA。800×600画素の解像度を持つディスプレイ。
UXGA	Ultra XGA。1600×1200画素の解像度を持つディスプレイ。
VGA	Video Graphics Array。640×480画素の解像度を持つディスプレイ。
WXGA	Wide XGA。1280×768画素の解像度を持つディスプレイ。
XGA	eXtended Graphics Array。1024×768画素の解像度を持つディスプレイ。

(山内 真)

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

非 売 品  
禁無断転載

平 成 16 年 度  
立体映像表示に関する調査研究報告書

発 行 平成17年3月  
発行者 社団法人 日本機械工業連合会  
〒105-0011  
東京都港区芝公園三丁目5番8号  
機械振興会館  
電 話 03-3434-5384

社団法人 日本オプトメカトロニクス協会  
〒105-0011  
東京都港区芝公園三丁目5番22号  
機械振興会館別館4階  
電 話 03-3435-9321