3D テレビに関する検討会
最終報告書

2012 年 10 月
3D テレビに関する検討会

目次

はじめに 3
第１章 3Dテレビに関する生体への影響の考え方 4
1.1 対象範囲 4
1.2 ２眼式 3Dテレビの原理 4
1.3 3Dテレビの生体への影響 5
1.4 3Dテレビの生体への影響の要因 6
1.4.1 制作 6
1.4.2 表示 6
1.4.3 視聴 7
1.4.4 要因の複合性 8
第２章 3Dテレビを取り巻く現状 10
2.1 制作環境 10
2.1.1 3D番組制作 10
2.1.2 3Dカメラ 11
2.2 3Dディスプレイ 11
2.3 3Dテレビ関連の標準化動向 12
2.4 3Dテレビの生体への影響に関連する研究事例 13
2.4.1 立体知覚分野における研究事例 13
2.4.2 弱視・斜視分野における研究事例 18
2.4.3 3D映像の快適性と眼科医療応用事例 19
2.4.4 人間工学分野における研究事例 20
第３章 検討項目の現状と課題 23
3.1 検討項目の選定理由 23
3.2 ３D映像の評価手法 23
3.2.1 2D映像の評価手法の標準化事例 23
3.2.2 3D映像の評価手法に関する現状と課題 24
3.2.2.1 主観評価手法と客観評価手法 24
3.2.2.2 3D映像の評価手法 27
3.2.2.3 3Dディスプレイの評価手法 28
3.2.3 3D映像の評価手法の標準化 29
3.3 3D標準映像 30
3.3.1 2D標準映像の標準化事例 30
3.3.2 3D標準映像の現状と課題 30
3.3.3 3D標準映像の標準化動向 32
3.4 3Dの安全性に関する周知・配意事項 32
3.4.1 2Dの安全性に関する周知・配意事項の標準化事例 32
3.4.2 3Dの安全性に関する周知・配意事項に関する現状と課題 32

3.4.3　3Dの安全性に関する周知・配意事項に関する標準化動向 32
第４章 まとめ 33

【別添】快適な 3D放送を行うための配意事項 35
【参考資料A】　3Dテレビ関連標準化状況 37
A.1　ITU-R/ITU-T 37
A.2　ISO TC159 38
A.3　IEC TC110 39
A.4　Dpa 3D-WG 39
A.5　ARIB 41
【参考資料B】　3Dテレビに関する検討会名簿 42
参考文献 43

はじめに

我が国のICT分野における標準化戦略の在り方については、2009年に設置された総務大臣主宰の「グローバル時代におけるICT政策に関するタスクフォース」下の「国際競争力強化検討部会」等において検討が行われ、今後検討すべき標準化の重点分野の一つとして、3Dテレビが提示された。これを受けて、2010年4月に「国際標準化戦略に関する検討チーム」が設置され、重点分野の各テーマの標準化の具体的な進め方や推進体制等の検討が進められることとなった。

3Dテレビに関しては、2010年頃から、国内において、様々な放送事業者が3D番組の放送を開始し、メーカー各社から3Dテレビ受信機が発売されたことにより、一般視聴者が3D番組に接する機会が徐々に増えつつある。また、米国・韓国等においても、3Dテレビ受信機の販売、3D放送に向けた取組みが急速に進んでいるところである。3D番組の視聴に関しては、迫力や臨場感が得られるというメリットがある一方で、安全性や快適性についても関心が高まっているところである。

このような背景を受け、国際競争力強化検討部会においては、一般消費者が家庭内で安全に3Dテレビを見ることができることが重要との指摘があったことから、3Dテレビの生体への影響を中心に検討を進めていくことを目的として、2010年6月に、「3Dテレビに関する検討会」が設置された。

3Dの安全性に関しては、これまで、NHK放送技術研究所における研究をはじめとし、国内外において検討が進められてきたところであるが、本検討会では、最近の3D関連の制作環境・技術動向（2.1、2.2参照）や3D関連の標準化動向（2.3参照）、研究事例（2.4参照）を踏まえ、3D映像の評価手法、3D標準映像、3Dの安全性に関する周知・配意事項を中心に総合的な観点から検討を行った。本検討会には、3D放送を実施している事業者を含めた放送事業者、通信事業者、受信機メーカーのほか、医療関係者・大学等の有識者等が参画した（【参考資料B】参照）。

本報告書では、本検討会における検討結果を整理した上で、3Dテレビの生体への影響に関して、標準化を含めた現状を総括するとともに、今後に向けた提言を取りまとめた。本検討会での検討結果をもとに、3Dテレビのより安全かつ快適な視聴に加えて、魅力ある3D放送の実現に向けて、3Dテレビに関わる関係者が引き続き協力し取組みを進めていくことを期待する。

第1章　3D テレビに関する生体への影響の考え方

1.1　　対象範囲

本報告書では一般家庭で手軽に視聴可能な 3D テレビ放送システムを検討対象の中心とする。3D 方式としては「２眼式」「多眼式」などがあるが、現状の 3D 放送では２眼式（ステレオスコピック）3D が採用されていることから、２眼式 3D を想定する。

バーチャルリアリティ、医療用途、教育用途といった他の用途にも 3D の利用が進んでいるが、放送とは異なる要件も含まれる可能性があるため、直接の検討対象とはしない。

1.2　　２眼式 3D テレビの原理

人間の眼は左右に少しずれた位置にあり、この眼で外界を捉えている。このとき左右の網膜には、**図 1-1** に示すように被写体の奥行き量に応じて少しずれた像が投影される。このずれが両眼視差（網膜像差）である。実際の生活環境では、人間は両眼視差をはじめ様々な手がかりを用いて、脳内で外界の空間（立体）構造を再現、認識している。

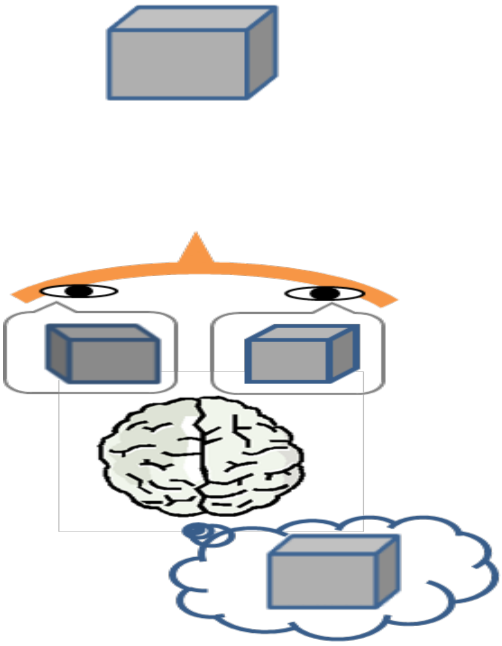

図 1-1 ヒトの立体視

2 台のカメラを左右に並べて被写体を撮影すると、人間の眼の場合と同じく、左右のカメラ映像は被写体の奥行き量に応じた画像ずれ、すなわち視差を伴った左右映像となる。この左右映像を3D ディスプレイ、3D メガネを通して左右の眼に別々に与えると、ちょうど**図 1-2** の２台のカメラが左右眼の働きをしていることが分かる。これが２眼式3D テレビの原理である。

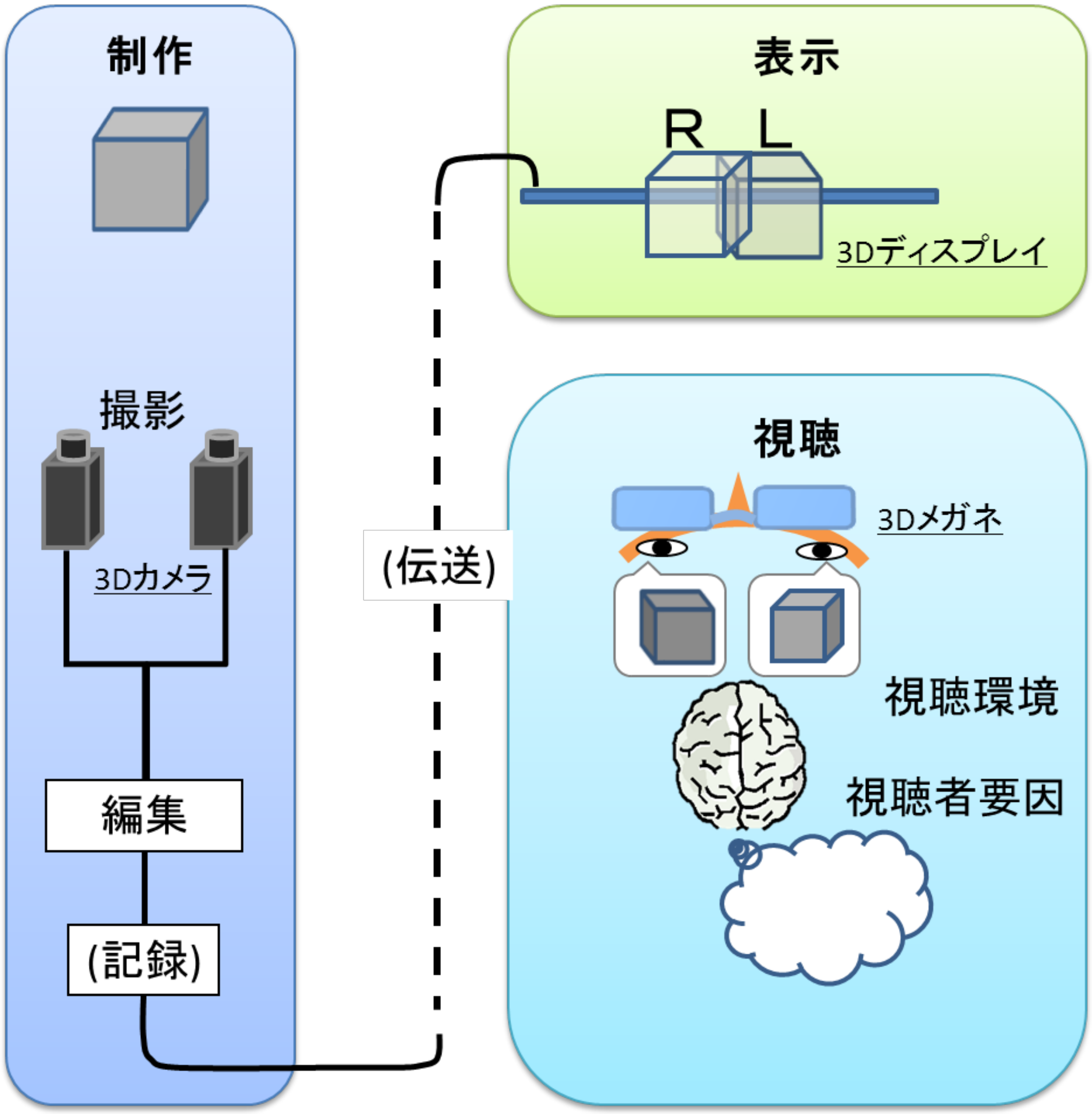

図 1-2　２眼式 3D テレビシステムの原理

この時の信号の流れは、図 1-2 に示すように、撮影、編集、記録、伝送、表示、視聴の各部分に分けることができる。奥行き感を与える視差は、図 1-2 の各部の様々な要因によって変化する。例えば、撮影時のカメラ間隔を広げると、同じ距離にある被写体でも左右画像のずれ量は大きくなり、従って視差も大きくなる。またディスプレイの画面サイズが変わるとき、画面上に表示されるずれ量（長さ）は画面サイズに比例して変化する。画面サイズに比例して視距離を変化させない場合は、視差も変化することになる。従って、立体感を引き起こす視差（ずれ量）は、映像そのものに内在することは言うまでもないが、ディスプレイや視聴環境によっても左右される。

1.3　3D テレビの生体への影響

3D 映像を安全・快適に見るためには 3D テレビの生体への影響が重要な要素である。生体への影響は大きく分けて、光過敏性発作、映像酔い、視覚疲労の３つであり、これらは 3D 特有のものではなく 2D 映像視聴時にも起こりうるものでもある。本報告書では、3D テレビ視聴

時に眼から感じられる疲労を「視覚疲労」とし、それを中心に述べる。視覚疲労には、医学的な定義がある「眼疲労」「眼精疲労」も包含することとする。

- 「眼疲労」: 一過性の視機能の低下などのような疲労であり、刺激終了後は時間経過と共に自然回復する眼の疲労。
- 「眼精疲労」: 一過性ではなく、刺激終了後も継続的に中枢処理・行動系も含む機能低下を引き起こす症状が残る眼の疲労。

違和感や不快感を生じさせるような 3D 映像を長時間視聴すると、視覚疲労につながる可能性が高いと一般的には想定されるが、現状では、関連性が明確に示されている研究はない。

1.4　3D テレビの生体への影響の要因

これまでの研究によれば、2 眼式3D テレビの安全性・快適性に影響を与える要因として、様々な事例が示されている。

1.4.1 制作

３D映像を制作するに当たっては、被写体の奥行き感をどのように表現・提示するかが、ヒューマンファクタの観点から重要な課題である。これまでの研究[1]によれば、同じ画面内にある複数の被写体の配置や背景との立体的位置の差（最大ー最小視差域、注視対象からの視差勾配などの空間・時間的な視差変化）が大きくなると、見づらさの程度が大きくなることが知られている[2]。また、映像制作に当たって行う編集作業では、つなぎ合わせのカット点前後で被写体の奥行き位置が大きく動くと見づらいことも実験で示されている[3]。３D映像制作においては、これらの点に留意して、視差管理を適切に行う必要がある。３D映像撮影時には、左右のカメラのアラインメント（上下ずれや回転等）の他、レンズの焦点距離変動（拡大・縮小）、左右カメラの電気的特性の違いなどが、左右画像の幾何学的ずれや信号の特性差として表れる。これらのずれは、多いほどみづらい 3D映像となる[4]ので、極力最小化する必要がある。

左右映像信号を別々に接続する機器の場合、誤って接続が逆になると左映像が右眼に、右映像が左眼に提示されることになる。左右の映像が逆転すると、飛び出し部分が引っ込み、引っ込んでいる部分が飛び出して見えることになる。通常、脳では本来のあるべき姿として解釈してしまい気がつかないことも多いが、違和感や不快感から視覚疲労を生じることもある。

1.4.2 表示

２眼式３D ディスプレイは、３D 映像を見るのに特別なメガネを必要とする眼鏡方式と、必要としない裸眼方式とに分けられる。裸眼方式は特殊なメガネを必要としないが、立体視可能な位置が基本的に限定される。一方眼鏡方式では、視聴位置に比較的依存しないため大人数での視聴が可能であるが、眼鏡を掛ける必要がある。３D メガネに関しては映像視聴時の違和感や疲労感等への影響を示す実験結果もある。

表 1-1　　２眼式3Dディスプレイの主な方式

種類		特徴
眼鏡方式	Active(時分割)方式	ディスプレイの右目映像、左目映像に同期して、メガネの右目、左目を液晶シャッターで開閉し、適切に両眼への映像が切り替わるようにしている。
	Passive(空間分割)方式	ディプレイ画面上に位相差板をパターニングし、ライン毎に左右映像を割り当て、偏光メガネとの組み合わせにより、右目には右目用映像のライン、左目には左目用映像のラインだけが見えるようにしている。
裸眼方式		種々な方式が検討されているが、縦長微小スリットを用いた視差バリア方式と、主にレンチキュラーレンズを用いたインテグラル方式が代表的である。現在テレビ受信機として商品化されているのは後者の方式で、インテグラルイメージング(ＩＩ)方式と称されている。この方式は、将来的に期待されるホログラフィも含めた光線再生型の一種と分類されている。

眼鏡方式と裸眼方式いずれの場合にも、左右の映像が混じり合って２重像として見えるクロストークが生じることがある。左右映像を短時間で切り替えて提示する時分割方式の場合には、ディスプレイの残像によってもクロストークが生じることがある。クロストーク成分が大きくなると見づらい映像となることが知られている[5]。

先にも述べたように、ディスプレイの大きさが変わるとき、ディスプレイの大きさに比例した視距離から見れば視差は同じである。ただしディスプレイを大画面化する場合、画面上の左右像の開散側のずれ量が両眼の間隔約 5cm（子供の場合、3DC安全ガイドライン[6]より)を超えることもあり得る。これは左右眼の視線が平行よりも開いてしまう開散視差となるため、両眼の開散運動で補正できない場合には、3D映像として破綻する場合があるので、注意が必要である。

また、左右映像は撮影されたときと同じタイミングで同期して再生する必要がある。時間的なずれが大きくなる場合も 3D 映像として破綻する場合があるので、注意が必要である。

1.4.3 視聴

視聴に関する要因としては「視聴環境」と「視聴者特性」に分類される。

（１）視聴環境

２眼式 3D 映像の安全性・快適性は、ディスプレイの大きさ、視距離、視聴姿勢等にも影響を受ける。２ 眼式 3D 映像を制作する際には、映像の視差分布を適切な範囲に納めるために、再生するディスプレイの大きさと視距離を想定して制作することが通常行われる。従って、視聴時にはこの視聴条件を守ることが望ましい。視聴条件を守ることのできない視聴環境の場合、特に視距離が極端に短い場合には視差の強調が生じる。このような場合は、視覚疲労に留意しながら視聴することが望ましい。

３D 映像視聴時の姿勢や視聴位置にも注意が必要である。頭が傾いて左右両眼の位置が水平からずれると垂直視差が生じる。また画面を斜めから見ると、ディスプレイの左右で遠近差が生じるため、いわゆる台形歪みが生じる。これらは 3D テレビの安全性・快適性に影響する。できるだけディスプレイの正面で正対して、頭を垂直にして視聴することが望ましい。

また、３D 映像視聴時の環境として部屋の明るさといった条件も考えられるが、映像画質を低下させない照明条件などについては研究がなされているものの、空間再現効果に関しては十分な研究はなされていない。

（２）視聴者特性

3D 映像を見るときは、立体視機能が駆使される。特に調節機能と輻湊機能の関係は、実体視では距離的に一致した状態になるが、３D映像では輻湊位置と調節位置とが異なる関係になる場合が生じる。屈折状態や調節機能には個人差があり、例えば、小学校高学年くらいまでは遠視が多く見られること、老視による調節幅の減退が起こること、不適切な屈折矯正による両眼機能差機能への影響等が挙げられる。一方、輻湊機能は斜視や斜位の眼位により、輻湊側、開散側各々に得手不得手が存在し、無理なく融像できる範囲の個人差も大きい。さらに、調節と輻湊の間には相互作用が強くはたらき、一方が変化すれば他方も変化する。この相互作用の強さにも個人差が存在する。また、同一個人においても、寝不足時など、体調の影響を受ける可能性がある。

従って、ある人に対して負担の少ない 3D 映像が、他の人にとっては負担が多いということもあり得るので、視差量を十分に統制する配慮が必要である。

また、3D 映像の制作者は一般に成人である。成人が制作した 3D 映像を瞳孔間隔が成人より狭い幼児が視聴する際には、奥行きが強調される。特に画面の奥側では眼球が平行よりも開散するような場合も起こりうる。加えて、幼児は視機能や脳の発達途中にあり、3D 映像が発達に及ぼす長期的影響が未知である。さらに、幼児は自己管理が困難であり、違和感や視覚疲労を訴えにくいという側面も否定できず、3D メガネも含めた視聴環境や視聴時間を周囲の成人が十分に管理する必要がある。すなわち、幼児の 3D 映像視聴の際には、年齢制限、時間制限、視聴環境の管理などのきめ細かい配慮が必要である。

1.4.4 要因の複合性

これらの生体への影響の要因をまとめると表 1-2 となる。すなわち、2 眼式３D テレビの安全性・快適性に影響を与える要因は、視差のみならず、制作、表示、視聴における様々な要因があること、また視差に関しても、制作過程の撮影・編集によってできあがる映像そのものだけでなく、表示、視聴の要因も関与している。特に、2 眼式 3D 映像の特質として映像の視差は視聴条件や視聴者特性によって変わることから、制作では、映像の視聴条件（ディスプレイの大きさや視距離）を想定して制作する必要があり、また視聴する際には制作側が想定した条件で視聴することが求められる。制作側では、家庭用のディスプレイで見る場合と大画面スクリーンで見る場合とでは、映像の作り方は違ってくる。また、視聴する際も標準視距離で見れば問題がないわけではなく、小画面用の映像を大画面でみると開散視差が生じて見にくくなるといったことを理解する必要がある。従って３D 関係者は、3D 映像制作、機器の製造、視聴に際して、このような２眼式３D 映像の特徴を理解する必要がある。

表 1-2　２眼式3D テレビの安全性・快適性に影響を与える要因

要因	系	分類	発生原因	物理要因
制作	撮影	書割効果	カメラシステム	絵画(2D)的情報と視差情報(3D)のずれ
		箱庭効果	カメラシステム	絵画(2D)的情報と視差情報(3D)のずれ（開散視差）
		左右像差	カメラ・レンズ・リグ	像のずれ(垂直・回転・焦点距離) フレームバイオレーションのような半遮蔽状態
			ビデオ信号	明るさ・クリップレベル差、ノイズ
		視差	視差管理	視差分布範囲（勾配）・時間変化
	編集	視差	視差管理	視差分布範囲（勾配）・カット時変化
		左右像同期ずれ/左右像逆	ビデオ信号・機器	融像不可・逆凹凸
表示	表示*	クロストーク	ディスプレイ・3D メガネ	左右映像の相互漏れ、両眼分離特性
		視差	画面サイズ	視差分布範囲（勾配）・開散視差
		左右像差	ビデオ信号・機器	像のずれ(垂直・回転・焦点距離)
		左右像同期ずれ/左右像逆	ビデオ信号・機器	融像不可・逆凹凸
		3D メガネ有無	眼鏡方式と裸眼方式の違い	3D メガネの装着感、重量
視聴	視聴環境	左右像差	斜め視聴・頭の傾き	像のずれ(垂直・回転・焦点距離)
		部屋の明るさ	照明	
		視差	視距離	視差分布範囲（勾配）・開散視差
	視聴者特性	個人差	眼間距離	
			立体視機能	感受性・立体盲・年齢・両眼視力差・融像域など
		体調		

*表示方式(直視型、プロジェクション型)、メガネありの場合の眼鏡方式(眼鏡シャッター、偏光、分光)、裸眼方式のレンチキュラー、視差バリアの違いなどによっても影響を受ける可能性はある。

第2章　3D テレビを取り巻く現状

2.1　　制作環境

2.1.1 3D 番組制作

我が国では 3D テレビ受信機の発売に合わせて、衛星放送を中心に多くの放送事業者が 3D 放送を開始したが、各社とも開始当初より 3D 放送の安全面においては多岐にわたり様々な取組みを行っている。放送番組制作においては、制作機材の進歩による定量的な管理だけでなく、安全思想の教育とスタッフ全体のレベル管理、番組放送までの各制作段階での映像の確認を行っており、それぞれが生放送を含む3D 放送を行う上で安全性・快適性を確保するための重要な要素となっている。

放送事業者各社が、実際に検討•導入した 3D番組制作における安全教育や研究資料としては、3Dコンソーシアムの３DC安全ガイドライン [6]、NHK放送技術研究所の研究、眼科資料等や、3D映像撮影機器メーカー等による映像制作技術指導などの例が挙げられる。これらを活用して各放送事業者が制作ガイドライン等の内規を定め、デジタル放送推進協会(Dpa)の「3D放送に関する周知事項[7]」にある留意事項の周知と併せて安全への留意を図っている。

3D 放送開始までは展示映像や研究的な映像が 3D 映像のほとんどだったが、実サービスを想定した場合、生放送やスポーツなど長時間の放送、複数台のカメラを使った収録など、快適な番組として成立させるための困難を乗り越えるためには、上記に示したような3D 放送の安全性を確保するための一連の取組みが必要である。実際の生放送のスポーツ番組制作における 3D 機材に関しては、被写体のスピードや変化に応じてリアルタイムに最適化できる体制と機材を導入し、生放送においても安全性を担保している。3D 映画はカットごとの撮影であるため、動きや視差量の調整・やり直しも可能であるが、スポーツや音楽ライブ等では条件が異なるため、3D 映像の安全面での最適化については注意点や手法も異なり、制作チームとしてのスキルや安全思想の管理がより重要となってくる。

3D 番組の安全管理は視差量の管理が主なものだが、編集時点ではそれらの物理的な調整だけでなく、より立体感や遠近感をわかりやすく、見やすくするために絵画的な手法も用いて修正を行い、快適な 3D 映像となるよう仕上げている。また放送前に主観評価によるチェックを通じ、体感上の不具合などを確認し、安全性の確保に十分に留意している。

このように、我が国の放送事業者における 3D 番組の制作現場では、視差量等を管理できる機材での撮影や編集についての教育を受けたスタッフが行っていることから、不快な 3D 映像は生じにくい。精度の出ない機材やレンズ間距離を調整できない機材に関しては、その特性に合わせた管理手法を理解し、安全な制作が行われている。また、放送事業者が導入しているミラーリグ式の 3D 撮影機材において、通常の制作での管理運用範囲における視差量では従来の研究で指摘されているほどの大きな左右像のずれを出すことは稀である。

以前の 3D 番組制作では避けられてきた箱庭効果・書割効果のような空間の歪みも、現在の技術思想と制作機材においては歪みの回避や量的調整の確認も容易で、積極的に強調/抑制等の有効な映像表現の技法として使うこともできるようになっている。このように制作技術と機材の進歩

により立体感や距離感を高い精度で安全に管理しながら制作できるようになっている。また、金属光沢感など 3D でしか質感を表現できないものも、視差量・ビデオ信号の双方を調整しながら安全な範囲でより豊かな表現をすることが可能となっている

2.1.2 3D カメラ

従来、3D映像制作では２台のカメラをリグ機構によって組み合わせたリグカメラが一部の3D専門家に使われてきたが、リグカメラを用いた場合に 3D 映像の安全性を確保するためには、左右の映像に縦ずれなどの幾何学歪の差や明るさ、コントラスト、色やフォーカスなどの画質の差が生じないよう厳密な調整が必須であり、準備調整工数や時間、コスト等で課題があった。最近の 3D 映画や 3D 放送の普及・実用化に当たって、リグ機構やその調整機能の合理化など、リグカメラの改善がなされ、使い勝手は良くなっている。しかし、コスト、形状（サイズ・重量）、可搬性など、まだ課題が多い。

リグカメラのこのような課題を踏まえ、2010 年よりプロ用の一体型２眼式 3D カメラが商品化され、コスト、サイズ、重量などについて大きな改善がなされ、3D 映像制作の普及につながっている。ただし、このタイプのカメラは両眼レンズ間隔が固定のため、リグタイプと比較して撮影条件について、一部留意すべき点もある。放送事業者やプロダクションなどプロ用の撮影においては、撮影対象や機材費用/制作費用も考慮して、リグカメラと一体型二眼式カメラが併用されている。プロ用一体型二眼式カメラについては、2011 年後半に、新たに、より高性能なものや、映像制作の裾野をさらに広げるための低価格なものが製品化されている。後者の低価格なものについては、視差量があらかじめ設定したパラメータ範囲を超えた場合に警告表示する機能なども備えているものが出てきている。

このように、3D 撮影経験の豊富なプロカメラマンだけでなく、セミプロやハイアマチュアなどに対しても安全で快適な 3D 撮影を行うことのできる環境が整いつつある。

2.2 3D ディスプレイ

本項では、現時点の国内市場で主流である、メガネ式の 3D ディスプレイについて述べる。

ディスプレイに表示される右目用映像は右目のみに、左目用映像は左目のみに届けば良いが、実際には右目に左目映像、左目に右目映像が混入する場合がある。これは3D クロストークと呼ばれ、画質を落としたり、快適な視聴に影響を与えたりすることがある。ここでは Active 方式のクロストーク除去技術について実際に市販の製品に採用されている技術を説明する。

クロストークの主な原因は、液晶の応答に起因する左右映像の切り替わり時の混ざり合いにある。対策として液晶の駆動周波数を上げ、バックライトの点灯制御を行うことなどがあげられる。

図 2-1 はバックライト全体を液晶の駆動（240Hz 駆動）に合わせ、液晶の応答の安定している期間のみに点灯させることで左右切り替わり時に混ざった映像が見えないようにした例である。

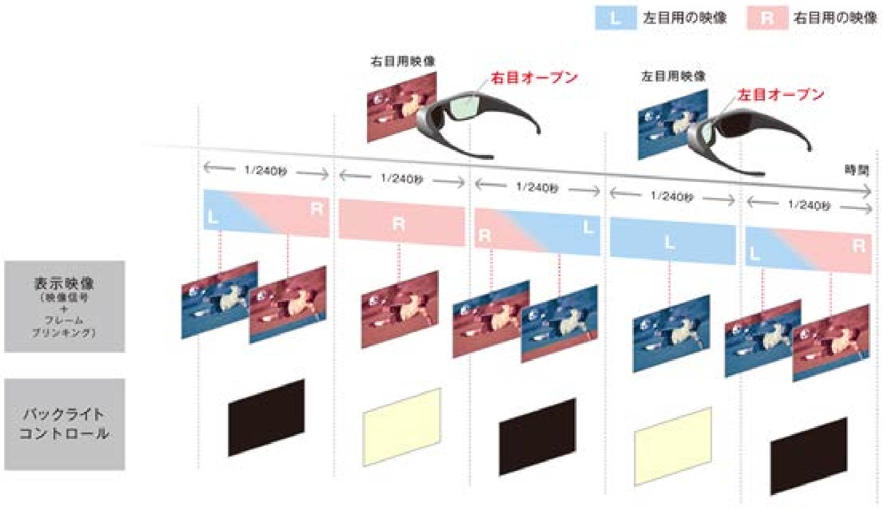

図 2-1 バックライト全体を液晶の駆動（240Hz 駆動）に合わせた例

図 2-2 はバックライトを上から下方向へ順に点灯させるスキャンバックライトを使った例で、液晶の駆動と応答の安定した部分から順にバックライトを同期点灯させ、クロストークを大幅に低減することができる。

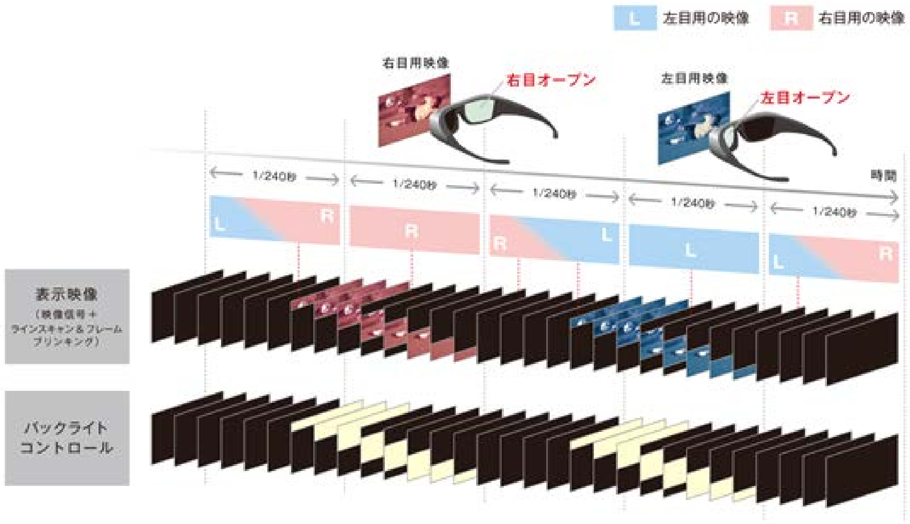

図 2-2 スキャンバックライトを使った例

上記の例のように、ディスプレイにおいても、クロストークが低減されるディスプレイ等によって、より安全・快適な視聴環境が整いつつある。

2.3　3D テレビ関連の標準化動向

まず、ITU に関して、ITU-R SG6 では、3D テレビの安全性・快適性に関する事項が議論されており、放送用 3DTV システムの特徴(ITU-R BT.2160)や、2 眼式 3DTV の主観評価手法(ITU-R BT.[3DTV_SUBMETH])などが検討されている。ITU-R SG6 の議論に関しては、生体安全性を議論している ISO TC159 に対してリエゾンが提出されている。また、ITU-T SG9

においては、3D 映像の画質に関する主観評価法、3D 映像画質評価におけるディスプレイの要求条件及び 3D 映像の視聴による疲労評価手法に関する勧告案の議論が進められている。（参考資料 A.1 参照）。

ISO TC159 では「3D 生体安全性」についての新規提案(NP)が承認され、検討が始まったところである（参考資料 A.2 参照）。同検討は、ITU-R SG6 とのリエゾンのもとに進められる予定である。

IEC TC110 では 3D ディスプレイの光学特性の評価法について標準化が行われている（参考資料 A.3 参照）。

日本国内においてはデジタル放送推進協会(Dpa)にて「3Dコンテンツの識別手法」「3D放送に関する周知事項」が策定された（参考資料A.4）。また、電波産業会(ARIB)において 、２眼式ステレオ方式を放送応用した場合の課題の抽出等について検討がなされている(参考資料A.5)。

また、電子情報技術産業協会（JEITA）が IEC での検討に関連して「3D ディスプレイの光学特性の評価法」の検討を行うとともに、Dpa とも連携して ISO での「３Ｄ生体安全性」の標準化に関する国内での検討を行っている。

2.4 3D テレビの生体への影響に関連する研究事例

本節では 3D テレビに関わる関係者の今後の取組みに資するよう、直近の 3D 生体への影響に関連する研究事例を紹介する。なお、3D テレビの生体への影響に関する研究については、多岐にわたって継続されており、必ずしも統一的な見解が確立されてないことに留意が必要である。

2.4.1 立体知覚分野における研究事例

（１）はじめに

3D映像は、基本的に人間の両眼立体視機能を利用して立体を提示するものである。両眼立体視は２つの眼の網膜に映る像のずれに基づく知覚であり、そのずれは幾何学的に決まるものである [8,9]。しかし、他の知覚と同様に、そこには視覚神経系の処理メカニズムが関わり、様々な特性を示すものである。ここでは、両眼立体視の基本的な特性と立体知覚に関連した輻輳眼球運動についての研究事例をまとめる。

（２）視差と時空間周波数特性

視覚の初期過程は、網膜像の明暗変化（および色変化）に基づく画像処理機能として捉えることができる。空間周波数特性と時間周波数特性はその基本特性であり、両眼立体視についてもそれは同じであるが、両眼視差量（奥行量に対応する）が関わることで、平面形状認識などに比べてより複雑になる。視覚刺激の空間周波数、時間周波数および両眼視差を系統的に変化して、両眼立体視のコントラスト感度（奥行が知覚できる最小コントラストの逆数）の測定結果から、両眼立体視に特有な重要な特性が示されている [9,10]。そのひとつは、高い空間周波数の刺激(細かい刺激)であるほど、小さな視差（奥行）に感度をもつことである（大きさ－視差相関）[11,12]。これは、同じ奥行量を与えたとしても、画像によって奥行の見え方が異なることを意味し、適切な奥行表現のためには適切な画像が必要となることになる。時間条件においても、時間周波数が

高い（速い動きを持つ）刺激では、大きな視差に対する感度が高くなるなどの影響がある。つまり静止時に同じ奥行に見えていたとしても、動くことによって知覚される奥行が異なるかもしれないのである。図 2-3 は、観察画像の時空間周波数による立体感度変化を示す一例で、刺激画像の空間特性、時間特性に依存してコントラスト感度が変化する様子を示す。空間周波数が低いほど大きな両眼視差に感度を持つ（左）ことから、大きさ－視差相関が示され、時間周波数が4Hzの刺激で感度が最大となる（右）ことから、運動が感度の上昇を引き起こす様子がみえる。立体映像の見え方の評価は、空間特性に加えて時間特性も考慮することが重要であることがわかる。

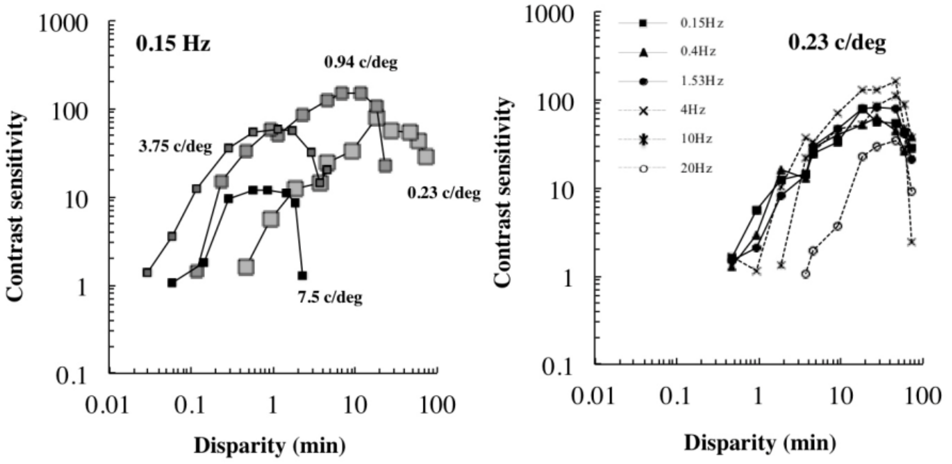

図 2-3 両眼視差量に対する両眼視差検出のコントラスト感度

空間周波数が低いほど大きな両眼視差に感度を持つが（左）、時間周波数による視差への影響は小さい（右）[12]

（3）奥行次元の時空間特性

両眼立体視においては、明暗変化に対する感度だけでなく、視差量に対する感度（立体視力）を知る必要がある。多くの研究ではランダムドットステレオグラムを用いて奥行が正弦波状に変化する刺激を利用する。その正弦波の周波数を変えることで、奥行き変化の特徴について大きなものから小さなものまで制御することができる、それぞれの周波数の刺激について、奥行変化の振幅を変えてぎりぎり奥行がわかる奥行量を求める（立体視力）ことで、両眼立体視の空間周波数特性を測定することが出来る。図 2-4 は多くの研究結果をまとめたものであるが、0.3cycle/deg付近の刺激でもっとも小さな奥行変化を検出することができることがわかる [10]。同様に時間変化についても、奥行が時間的に変化する刺激を用いて時間周波数特性が調べられている。時間に対しても、1Hz付近の変化を与えるときに、最大の立体視力が得られる帯域通過型の特性となる [10]。このような帯域通過型の特徴は、平面での輪郭部強調（マッハ効果）に対応し、視覚情報処理一般に見られ、視覚は刺激の変化に対して高い感度を持つと説明される。

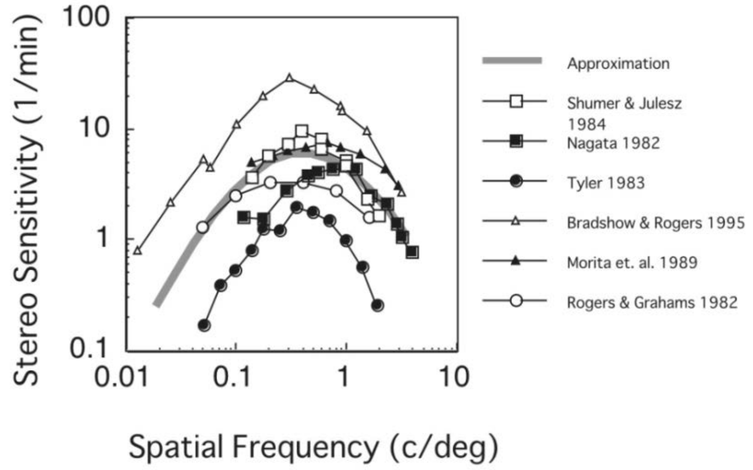

図 2-4 視差検出感度（立体視力）の奥行変調空間周波数特性

（各シンボルは異なる報告に基づくデータで、灰色の実線は実験式による予測値）

（4）立体映像のゆがみ

両眼立体映像表現における大きな問題として、箱庭効果（劇場効果）と書割効果が指摘されている。これらは、実物と異なる形状が知覚されるものであり、立体知覚のゆがみとしてとらえることができる。ここでのゆがみは、奥行の大小が変化することで、通常の意味で画像の縦横がゆがむということではない。両眼視差の原理からわかるように、観察距離が奥行知覚に関連することから、これらのゆがみに距離が関連すると考えて間違いない[9,13,14]。ここでは，立体知覚に影響する距離を，物理的な距離ではなく知覚される距離の問題として捉える考え方について説明する[15,16,17]。運動視差など他の要因の指摘もあるがここでは触れない[13,14,18]。

○箱庭効果

箱庭効果は、立体表示システムにおいて人物などがミニチュアのように見える効果である。幾何学的な関係から、両眼立体視による奥行量は両眼視差に比例し、対象までの距離の二乗に反比例する（図 2-5 下図の曲線)。視差が一定であれば、対象までの距離が遠くなるとその二乗に比例して奥行量が大きくなる。箱庭効果は小さく見えるのであるから、奥行量を過小評価した結果と考えることができる。例えばディスプレイまでの距離が実際の観察に比べて近い場合には起こりうる事態である。

ここで指摘しておきたいのは、大きさが距離と関連するのは平面映像でも同じ点である。実際の距離と異なる距離で観察する映像は、実際と異なる大きさに見えてもよい。立体映像が異なるのは距離との関係である。網膜像の大きさが一定であれば、対象物の大きさは距離に比例して大きくなると推定される（図 2-5 下図の直線)。しかし、平面映像において箱庭効果のような現象を聞くことはほとんどない。

箱庭効果などの立体映像の問題は、平面的大きさ（視線に垂直な面上での大きさ）と奥行方向の大きさの関係に起因すると考えることができる。一般に実物の観察と同じ条件（視差と網膜像の大きさ）を実現できれば、箱庭効果などの問題はない。その条件では、平面方向と奥行方向がいずれも正しく知覚される距離は一意に決まる(図 2-5 左図)。いま２つのカメラ間の間隔を

長く取り両眼視差を強調する映像を作ったとする（奥行強調条件）、その場合でも実物と同じ形状、つまり平面サイズと奥行量の比率が実物と同じ状況は一意に決まる。そしてそれは実際より近い距離であり、箱庭的な知覚はその結果であると説明することができる(図 2-5 中図)。

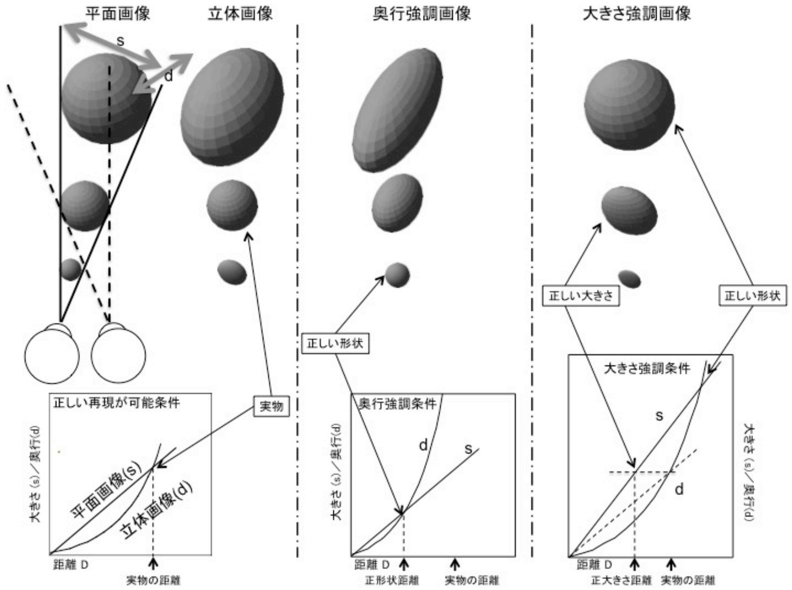

図 2-5 箱庭効果と書割効果の説明

実物の観察と同じ条件で観察出来る場合は、実物に対するものと同じ知覚がなされる（正しい再現が可能な条件）。箱庭効果は、撮影時のカメラ間距離を大きくして奥行強調した場合（奥行強調条件）に生じやすい。この条件で観察者が正しい形状を知覚したとする(図 2-5：「正しい形状」の場合)。正しい形状とは、平面的大きさと奥行の比が実物と同じことを意味する。この例でそれを実現する距離は実際より近くなり、その結果、対象物を実物より小さく知覚されることになる。書割効果は、ズームにより大きさを拡大した場合（大きさ強調条件）に生じやすい。この条件で観察者が実物と同じ大きさを知覚したとする。この例でそれを実現する距離はズームなしの画像で正しい形状となる距離とする。そこでは大きさと奥行の比は実物と異なり、相対的に奥行が小さい(図 2-5：「正しい大きさ」の場合)。その結果、対象物は奥行方向につぶれたものとして知覚されると説明することが出来る。

〇書割効果

書割効果は、実物を撮った 3D 映像が書割のように見えるものである。書割は舞台セットの平面の背景画なので、奥行が過小評価されていることを意味する。箱庭効果と異なるのは、知覚される形状が正しくない点である。奥行がつぶれて見えるのであるから、奥行が平面サイズよりも相対的に小さく知覚されることになる。図 2-5 からわかるように、奥行がつぶれて評価されるのは、正しい距離より近くに見えるときである。顕著な書割効果は、比較的遠くの対象をズームした場合に生じる。それは視差を変えずに映像を平面的に拡大する条件である（大きさ強調条件）。この状況でも正しい形状を知覚できる距離がある。実際より遠くにあると仮定すると正しい形状と知覚されてもよいはずである(図 2-5：「正しい形状」の場合)。しかし、その場合対象の大きさは非常に大きいことになる。対象が人間のようにその大きさが確立している場合は極端

に大きく知覚するのは不自然であり、そのような知覚はしないであろう。むしろ実際の人と同じ大きさ知覚をする可能性が高い(**図 2-5**：「正しい大きさ」の場合)。その場合、対象までの距離は近いと認識され、相対的に奥行量が小さくなる。これによって前後のつぶれた書割効果が説明出来る。

実物と同じ形状として知覚される条件で箱庭効果が、同じ大きさに知覚される条件で書割効果が生じる可能性について述べた。いずれも知覚される距離に依存して大きさと奥行の知覚が変化するという説明である。ここで知覚距離が問題であるという表現をしたのは、物理的な距離に対して視覚処理過程における距離という意味である。実際には主観的な距離の知覚そのものが問題であるとは限らない。問題となるのは、大きさと奥行を決めるために利用されている（無意識的なものであるかもしれない）距離判断、スケール距離（scaling distance）と考えるべきである[9,15]。

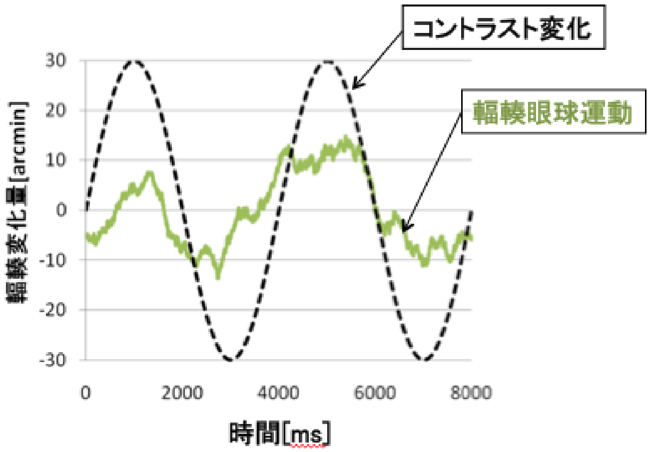

図 2-6 コントラスト変化による輻輳眼球運動の誘発

破線は刺激のコントラスト変化であるが、コントラストによる奥行を両眼視差で評価した実験[19]に基づいた視差量であり、輻輳変化(arcmin)と同一の単位で表現している。

（5）両眼視差変化、奥行変化による輻輳の誘導

奥行き変化があると、輻輳眼球運動が誘導される。両眼視差が変化する場合、左右画像が異なる動きをするため、対象の注視を続けると眼球が奥行き変化に対応した運動（輻輳眼球運動）が生じる。一方、視差変化がない平面画像においても、絵画的手がかりによって奥行き変化が知覚される場合には、輻輳眼球運動が生じることがある。よく知られている例は、大きさが変化であり、拡大、縮小を繰り返す画像を観察すると、その知覚に対応する輻輳運動が生じる。両眼視差と大きさが変化する場合は、両者が加算的な影響を及ぼす。その他明暗コントラストの変化によっても同様の輻輳変化が生じることも明らかにされている。 **図 2-6** に研究結果の一例を示す[20]。刺激の変化に従って輻輳が変化していることが明確に示されている。

3D 映像において輻輳眼球運動は、輻輳調節矛盾を引き起こすため、3D 映像の問題点として指摘されている。視差が変化するために輻輳が誘導されることは、実際の場面と同様であり問題ではない。しかし、調節は平面画像に固定する必要があるために、輻輳と調節に矛盾が生じる点が問題とされる。一方実際には、平面画像においても輻輳は誘導されることから、やはり輻輳と

調節に矛盾が生じる。これは、輻輳調節矛盾が 3D 映像特有の問題とはいえず、平面映像にとっても問題となることを意味する。これはテレビが普及して以来、我々はある程度の輻輳調節矛盾にさらされていた可能性があることになるが、この点は今後 3D 映像の評価を考える上で参考になるであろう点である。

（6）まとめ

本節では、3D 映像に関連する立体視の知見についてまとめた。3D 映像における奥行き知覚は、視覚系の特性に依存して変化するため、3D 映像の制作や評価にそれらを考慮することが重要である。ここでみたように画像や奥行きの時空間周波数特性、観察距離の奥行き知覚および輻輳眼球運動への影響等については、多くの知見が蓄積されている。このような知見を積極的に利用することが望まれる。

2.4.2 弱視・斜視分野における研究事例

3D 映像は、映像技術の進歩と疲れにくい映像の開発により、大きく普及する可能性が高い。3D 映像の普及と共に、日常生活で問題なくても、輻湊不全や、代償不全の斜位など何らかの眼科的素因のある人は、眼精疲労や複視を訴える場合があることに、注意する必要がある。6 歳位までの幼児は立体視の発達過程にあり(図 2-7)、調節性内斜視など、両眼視が障害されやすい素因のある場合、両眼を分離して見る 3D 映像の観賞は、注意する必要がある。また、立体視の弱い人は、3D 映画のような視差の小さい奥行き方向の映像は立体的に見えにくく、飛び出しの視差が大きいアトラクション系の 3D 映像の方が立体的に見えやすいことも考慮に入れる必要がある(図 2-8)。

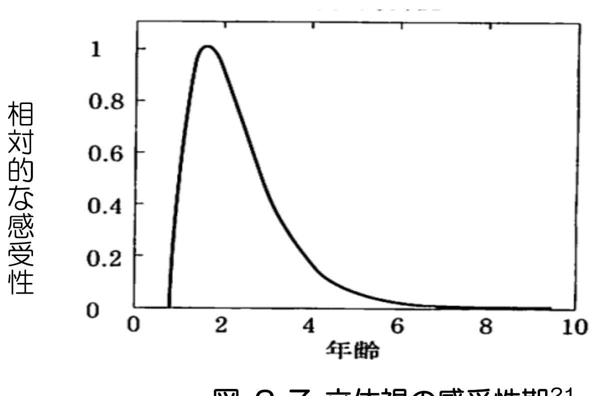

図 2-7 立体視の感受性期[21]

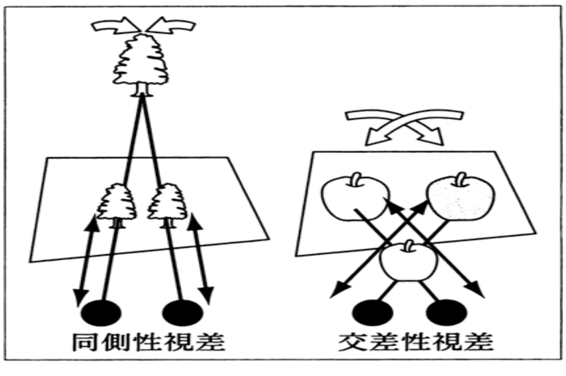

図 2-8　3D 映画（沈み込み）・3D アトラクション（飛び出し）での立体再現

幼児期に斜視手術を行った 26 名の患者さんの立体視検査の結果と 3D映像鑑賞の結果を比較した結果を示す。眼科検査で最も視差の大きいTitmus fly test（視差1°）と、アトラクション系の 3D映像を比較するとアトラクション系の 3D映像で有意（McNemar, P=0.016）に立体に見える人数が多かった(図 2-9)。一方Titmus fly testと 3D映画を比較すると、両者の間に立体に見える人数に差はなかった（図 2-10)。このことは、立体視の弱い人は、3D映画系の 3D映像は立体に見えなくても、視差の大きい飛び出し系の 3D映像は立体的に見えることを示唆している[22]。

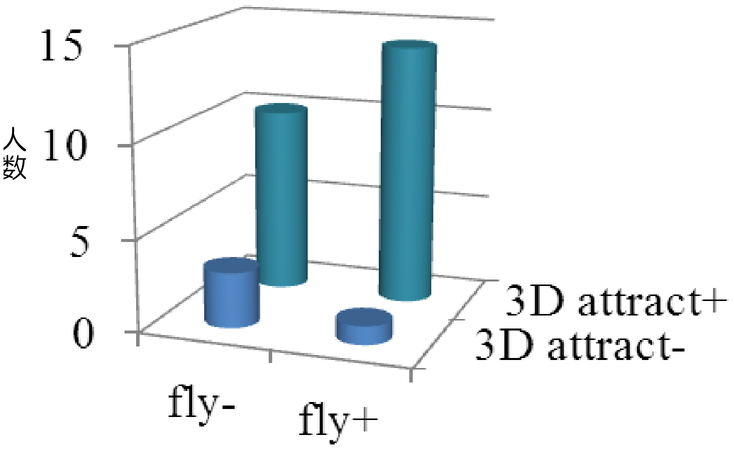

図 2-9　3D アトラクションと fly test の成績

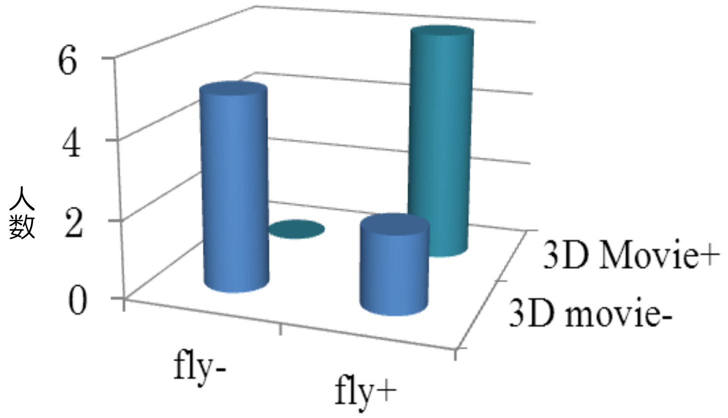

図 2-10　3D 映画と fly test の成績

2.4.3 3D 映像の快適性と眼科医療応用事例

3D映像は仮想現実空間であり、我々が日常に感じる現実空間とは異なる点も多い。代表的な3D映像の問題として、左右眼の映像差（サイズ、輝度、歪み、位置ずれ、色ずれ、時間ずれ）及び両眼視差量に起因する調節と輻湊の不整合がある。左右眼映像差は技術的な進歩により問題点は改善された。一方、調節・輻湊の不整合は 2 眼式 3D映像の原理的問題であり、いまだ残っている。調節・輻湊の不一致とは、実物注視の状態では一致するはずの調節と輻湊位置が、3D映像視聴時には調節は実視標である視標提示面、輻湊は立体再現位置に乖離してしまう 2 眼式 3D映像の原理的問題である。現在の３D映像は両眼視差量を調節・輻湊反応の乖離が生じ難い相対輻湊・相対調節範囲内に制限することでこの原理的問題に対処している。3D映像の業界

団体である3Dコンソーシアムによる3DC安全ガイドライン においては1°以内が快適視差範囲として示されている。これまでの両眼視差量と快適性に関する様々な知見を踏まえ、画面の高さの3倍の距離（50インチTVで約2m）を前提とすると、3D映像の両眼視差は近景（飛び出し）0.5°以下、遠景（奥行き）0.7°以下、近景と遠景の差は 1.0°以下を目安に設定することが望ましいとの研究結果[23]があるので参考にされたい。しかしながら、この設定視差量はある特定の観察距離から見た場合であり、映像画面に近づくほど両眼視差量は増え、遠ざかるほど両眼視差量は減少する。視聴者は適切な視距離を保つ必要がある。3D映像を安全に視聴するための注意点としては、視距離以外にも、自覚的疲労を感じたら休憩すること、眼疲労素因（両眼視機能に影響する左右眼の視力差、大きな斜位）がある人や、幼児は注意して視聴することが挙げられる。さらに生体安全性の観点から注意すべきは、アナグリフ方式であり、左右の色の違いにより眼精疲労を引き起こしやすいとの見解もある。3D映像視聴時に斜視が顕性化したという報告[24]において、アナグリフ方式を用いた作品であったことも注目すべき点である。

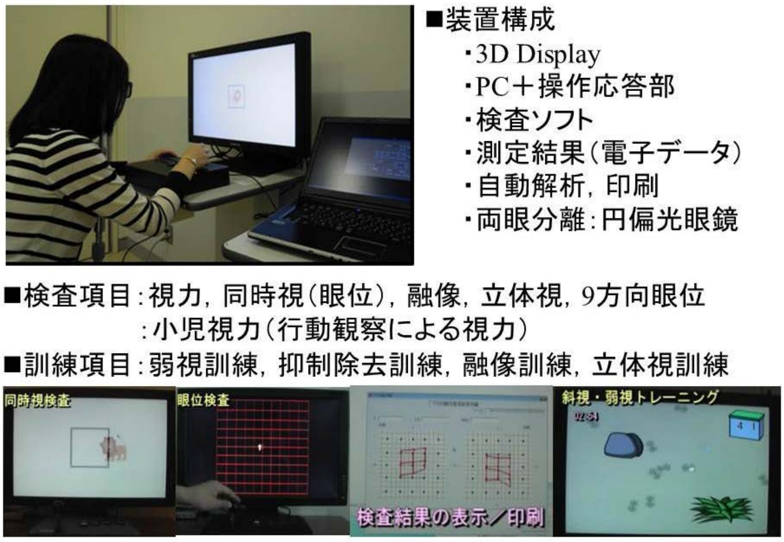

図 2-11 3D 映像技術を用いた視機能検査・訓練装置

3D映像技術の応用展開として教育・医学応用の可能性があり、外科手術時の3D映像サポート、眼科の視機能検査・訓練応用など医療分野への展望が拓けてきた[25,26,27]。3D映像技術は3D映像だけでなく、左右眼に別々の映像を提示することができる技術でもある。この技術を利用して幼児の弱視や斜視の訓練効果を認める事例も報告されている。今後、幼児の視機能健診や弱視・斜視訓練法としての応用が期待される。

2.4.4 人間工学分野における研究事例

（1）はじめに

2 眼式 3D映像が、テレビやゲーム機、モバイル端末など、コンシューマ向けの利活用が進む現在、ユーザの視点による検討の重要性が増している。これまで人間工学関連分野では、3D映像による生体への影響について、主に調節・輻湊問題の観点から、実験的な検討がなされてきた。これに対して最近では、American Optometric Association（AOA）による報告書“3D in the classroom[28]”に代表される、当該分野のパラダイムの変革を示唆する見解が注目されている。AOAの主張には、多くの議論を要する点が含まれているが、生体に影響を与え得る要

因の切り分けを明確化した点で、評価すべきである。現時点では、3Dによる生体への影響を大きく四つに分類し、人間工学的アプローチにより検討が行われている。ここでの分類とは、ディスプレイ側の要因、映像側の要因、視環境による要因、観察者の特性による要因の 4 種類である（表 2-1）。本節では、これらの要因別に、取組みの概要を紹介する。

表 2-1　3D による生体への影響の要因別の分類

ディスプレイ側の要因	分離方式によって生じる 3D アーチファクトなど
コンテンツ側の要因	コンテンツに含まれる視差の時空間的な変化など
視環境による要因	ディスプレイのサイズや視距離など
観察者の特性による要因	両眼視機能や眼位のずれ、融像幅など

（2）ディスプレイ側の要因への取組み

生体への影響に関わるディスプレイ側の要因としては、3Dアーチファクトと総称される、ディスプレイの分離方式によって生じる望ましくない知覚現象が中心となる。家庭用のメガネ方式の 3Dテレビは、液晶シャッタメガネを用いる時間多重方式と、偏光フィルタメガネを用いる空間多重方式に大別される。各分離方式の代表的な 3Dアーチファクトを対象として、それらの生体への影響について検討が行われている[29]。その後、裸眼方式での主なアーチファクトとして逆転視差に着目した生体への影響の検討も行われている[30]。

（3）コンテンツ側の要因への取組み

3D 映像の生体への影響を議論する上で、「どのようなコンテンツが提示されたか」という点は、実用場面を想定する際に、特に重要となる。3D コンテンツの定量化の手法は、図 2-12 に示すようにいくつかの種類に分かれるが、生体への影響という点では、視差角を用いるのが一般的である。

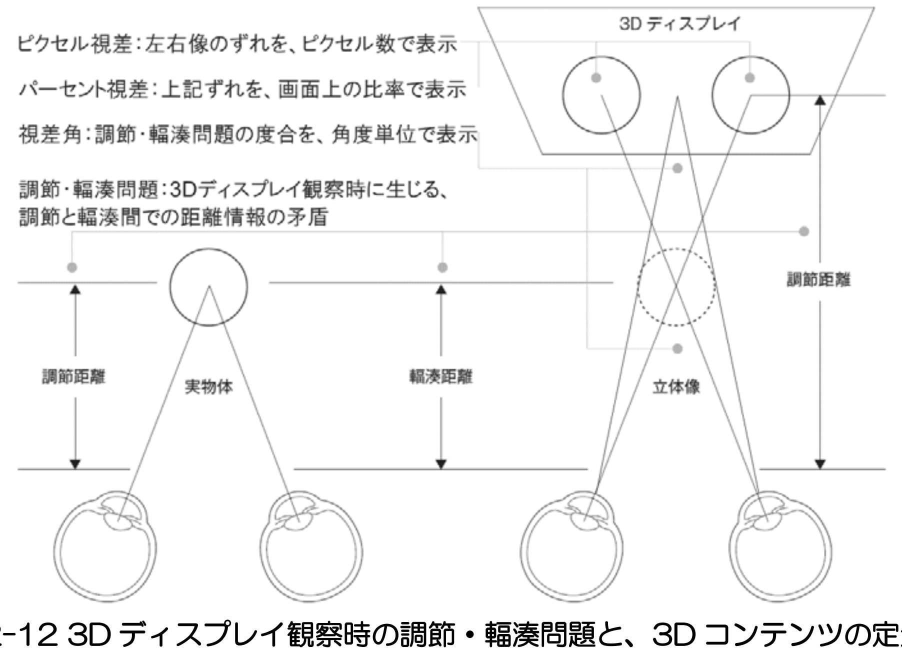

図 2-12 3D ディスプレイ観察時の調節・輻湊問題と、3D コンテンツの定量化

3Dコンテンツの定量化と、生体への影響との対応による知見は、制作場面への応用も期待され

る。これまで短編 3D映画を視聴時の眼球運動を計測し、視差角分布と注視点との関連について検討が行われた[31]。現在は、ハリウッドの著名な 3D映画に含まれる視差の分析が進められている[32]。

（4）視環境による要因への取組み

3D対応のテレビやゲーム機の流通により、一般家庭など利用場面を特定した検討も必要となる。テレビ番組の視聴姿勢について、体圧分布の計測を通して、2Dとの比較も行われている[33]。また、最近では、利用場面と同時に 3Dディスプレイまでの視距離が、3D視聴の快適性に影響を及ぼすことが分かってきている[34]。このことは、例えば、映画館とモバイル端末では、快適な視差角の範囲が異なることを示唆しており、生体への影響の観点からガイドラインなどの基準値を検討するには、視環境を考慮する必要がある。

（5）観察者の特性による要因への取組み

提示された 3D映像は、観察者にとって、必ずしも同じように体験されるのではなく、多様な形で観察者の特性に影響される。このことは、2D映像でも生じているが、3D映像において、再認識されている。上述のAOAによる報告書でも指摘されているが 、両眼視機能が正常に働かない観察者は、一定の割合で存在する。しかしながら、その割合に対して、十分な研究や配慮がなされているとは言い難いため、普段、両眼視機能を働かせていない観察者による、3D映像の見え方に関して基礎的な検討が行われている[35]。さらに、両眼視機能が正常であっても、観察者の特性が安全性・快適性に影響する可能性についても、近見眼位との関連性の点から示されている[36]。

（6）おわりに

本節では、3D映像による生体への影響を 4 種類の要因から分類し、それぞれ人間工学的課題とそれらに対する取組みの概要について述べた。これらに加えて、今後の利活用の広がりから予測される課題について、2 点を挙げておきたい。一つは、「だれもが高品質な 3Dコンテンツを制作できる」という、ソーシャルメディア化に伴う課題である。特に、家庭向けカメラに対するニーズが高いことが想定され[37]、視環境とのマッチングも含めた検討が必要と考えられる。二つは、ヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display: HMD）に代表される、ウェアラブル化に伴う課題である。中でもシースルー方式のHMDでは、実像と虚像との共存という新たな要因への対応が、重要かつ急務となると考えられる[38]。

第3章　検討項目の現状と課題

3.1　検討項目の選定理由

3Dテレビによる生体への影響に関しては、3Dテレビ視聴時の立体感や違和感、負荷、視覚疲労についての評価のための3D映像の評価手法が必要である。また、3D映像の評価手法を確立するためには、評価基準となる3D標準映像が必要である。さらに、生体への影響を回避するためには、3D映像制作者やメーカーの配意、3Dテレビ視聴者への周知といった3Dの安全性に関する周知・配意事項が必要である。以上を踏まえて、本検討会では 3D映像の評価手法、3D標準映像、3Dの安全性に関する周知・配意事項の３点について検討を実施した。

3.2　３D 映像の評価手法

3.2.1 2D 映像の評価手法の標準化事例

2D での画像・映像の評価手法は産業分野ごとに独自のものが存在し、標準化も行われてきている。本節では、テレビジョン用途の動画映像（２Ｄ映像）の評価手法の事例を述べる。

評価手法では、人間が実際に映像を見て画質や劣化の程度を判断する主観評価が重要な位置付けにある。一方で、主観評価において信頼性のあるデータを得るには観視条件の整備、被験者数の確保、得られたデータの処理などが必要であり、時間と経費がかかる。このため、客観評価、すなわち主観評価に相当する結果を装置によって推定することを目標とした開発が進められている。これらは一定の性能を得ているものの、主観評価に置き換わるまでには至っていない。このことから、以下では主観評価の標準化事例として、テレビジョン分野で用いられてきた勧告ITU-R BT.500[39]を中心に述べる。

ITU-R BT.500 は 1974 年の制定以来、最近(2012 年)に至るまで整備が重ねられてきており、視聴条件、評価尺度、評価手法、被験者、信号源、実験に関する運用、結果の提示方法などが規定されている。さらにITU-R BT.500 を基本に、特定のテレビジョンシステム（HDTV用[40] 、SDTV用[41]）ごとの視聴条件、評価手法などについても勧告が行われている。HDTV用については、国内用としてARIBでも同内容で規定されている[42]。

下記にITU-R BT. 500 に記載されている評価手法を示す。DSIS法、DSCQS法が主体となっているが、デジタル放送導入の流れに沿い、シーン依存性の強い符号化劣化の特徴に対応するために長時間であっても時間経過に応じた評価が可能なSSCQEやSDSCE法も勧告に含まれている。さらにはＰＣの画面上にインタラクティブな機能も加えた新たな方法も勧告化（ITU-R Rec.1788）されている[43]。

表 3-1 ITU-R BT. 500 の評価手法

DSIS 法 （the double-stimulus impairment scale method） (EBU 法)［二重刺激劣化尺度法］	参照画像と評価対象の対を継時的に提示し、５段階劣化尺度を用いて劣化の程度を評価
DSCQS 法 （the double-stimulus continuous quality-scale	２つの画像を継時的に提示し、その２画像ともに連続スケールで評価

method）[二重刺激連続品質尺度法]	
その他の方法	-SS 法（single-stimulus methods)-Stimulus-comparison methods -SSCQE 法（single stimulus continuous quality evaluation） -SDSCE 法（simultaneous double stimulus for continuous evaluation method）

3.2.2 3D 映像の評価手法に関する現状と課題

3.2.2.1 主観評価手法と客観評価手法

3D テレビの生体への影響評価の評価手法には、2D における画質の評価の他、3D の本来の魅力である立体感といった評価や、生体への影響の観点として視覚疲労や負荷等の主観評価・客観評価がある。また、3D テレビの評価要因の一つとなる 3D 映像や 3D ディスプレイなどの評価手法も挙げられる。3D テレビの利点である、豊かな立体感、迫力感、高い没入感、臨場感といった視聴者の感覚量や、ITU-R 勧告にあるような画質などを定量化する際には、主に主観評価が用いられる。同様に、3D テレビ視聴時の安全性・快適性や疲労など（の感覚量）を定量化する際にも主観評価が用いられる。このとき、しばしば生体計測などによる客観評価が組み合わされ、総合的に評価される。

主観評価はアンケートやレーティング、内省報告の形で行われ、各分野で調査対象に細分化、最適化されたアンケートなどが開発されている。3Dテレビ視聴時の視覚疲労評価に最適化されたものは未だ存在せず、従来用いられてきたアンケートなどが流用されているのが実情である。疲労は直接計測の対象となるものではない主観的な概念[44]であり、このような計測困難な感覚量に対しては、主観評価が第一選択となる。主観評価で得られた結果は、統計処理などによって定量化が可能である。

客観評価は主に生体機能計測などによって行われる。これは、生体機能や作業能率の低下などが生じた場合、それは視覚疲労の結果と捉えることが可能であり、疲労負荷前のある機能の測定値に比較して、疲労負荷後の測定値に（低下や悪化方向への）変化が生じた場合、その差が視覚疲労の程度を反映しているという考えに立脚している。疲労負荷前後の測定値の差によって視覚疲労の定量化が可能である。

以下では、3D テレビ視聴による視覚疲労評価に用いられる方法を、主観評価手法と客観評価手法に分類して述べる。

<u>A. 主観評価手法</u>

主観評価手法として最も一般的な方法はアンケートである。アンケートでは、予め設定された項目に対して、その度合いなどを回答する。アンケート項目作成時には、因子分析などにより項目の精査が必要である。設定項目への回答と同時に、自由記述での内省報告が求められることも

ある。表 3-2 に3D テレビ視聴による視覚疲労評価に流用されているアンケートの例を挙げる。

従来、眼精疲労診断のため、鈴村による問診表（眼科 MOOK２３）などが開発されている。また、労働者の疲労を観測するため、産業疲労研究会による自覚症しらべが用いられている。さらに、飛行シミュレータによる酔いの評価のために開発された SSQ が Oculomotor（眼球運動）のカテゴリーを含むため、3D テレビ視聴時の視覚疲労評価に流用されることもある。これらの使用にあたっては、作成者の許可や、データの開示が必要なものもある。

表 3-2 主観評価の例

種類	内容	特徴
鈴村による問診表	眼精疲労診断を目的とする。	視器のみならず、全身症状なども考慮。
自覚症しらべ	労働者の疲労を観測するために開発され、労働科学、人間工学の分野で用いられる。25 項目の自覚症状について、５段階で回答する。	疲労を５因子（ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感）で検討可能。
SSQ	飛行シミュレータによる酔いの評価を目的とする。	非常に多くの飛行シミュレータ評価で用いられ、実績多数。Total Score とともに、その 3 因子である Nausea 、Oculomotor、Disorientation を得点化。

アンケートでは、ある項目に該当する程度を、数段階で回答するものが多い。例えば、画質評価では、評価に用いる評価語が定められており、５段階評価語の例として、非常によい、よい、普通、悪い、非常に悪い、などが用いられる（ITU-R REC. BT.500）。この評価語による評価結果は順序尺度と呼ばれ、パラメトリックな統計処理に必要な平均などの演算を行うためには間隔尺度への変換が必要である。このような変換が不必要な連続値が得られる方法として、VAS[45,46]等が提案されている。VASでは、長さ 10cmの直線の左端が、全く疲労のない状態、右端が疲れ切った状態に割り当てられ、回答者は自己の疲労の程度に相当する中間位置にチェックを入れる。このチェックの左端からの距離を測り、数値化する。さらに、時系列データを得る方法として、主観的感覚をスライダーやジョイスティックなどの位置に逐次反映させる、SSCQE法（single stimulus continuous quality evaluation）なども開発されている。

B. 客観評価手法

客観評価手法には、生体の機能や反応の変化を測定する方法、何らかのタスクを課してそれに対する作業効率などを測定する方法、脳機能の活動を測定する方法などがある。それらの一例を表 3-3 に示す。

客観評価手法は、被験者の意識に上らない生体の変化を検出できる可能性がある一方、検出能力は一般的に主観評価より低いといわれている。作業効率を測定する方法などの場合は、学習効果により負荷前より負荷後の結果の方が改善したようにみえる場合があり、結果の解釈に注意が必要である。また、検査自体もある種の負荷である場合が多く、検査項目の選択、実施順序にも配慮が望まれる。

表 3-3 映像視聴による視覚疲労に関する客観評価の例

種類	内容	意味・課題
屈折	屈折値を自覚的、あるいは他覚的に測定し評価指標とする。自覚的測定は自覚的にもっともよく見える度数のレンズを選択することによって行い、他覚的測定はオートレフラクトメータなどで行う。	調節緊張など調節機能の変化を反映していると考えられる。他覚的測定の場合には、器械近視の影響にも気を付ける必要がある。
（ピント）調節	いろいろな評価手法があるが、ここでは以下の 2 つの手法について記す。 ・調節安静位：ピントを合わせる視標となるものが何も見えない画面（Empty Field）を見せた状態での屈折値を 30-60 秒程度連続記録する。全体の平均値、初期値、初期と末期の差などを評価指標とする場合が多い。 ・調節ステップ応答：視標を光学的に遠近（たとえば 1m 先と 25cm 先）の 2 か所の位置を滞留時間 5 秒程度でステップ状に往復させた場合の屈折値を連続記録する。屈折の振幅、調節速度などが評価指標として利用される。	調節緊張など調節機能の変化を反映していると考えられる。データ処理の際に、瞬目などによるノイズを除去する必要がある。調節ステップ応答試験は試験に対する慣れの影響が出ないような配慮が必要である。
CFF	点滅する光のちらつきを認識できなくなる周波数（臨界周波数）を測定し評価指標とする。 Critical Flicker Frequency の略。	末梢系の疲労の視標で、疲労すると臨界周波数が低下すると言われている。ばらつきが大きい。
ATMT	ディスプレイ上に表示された数字を順番にマウスでクリックするテスト。	中枢系の疲労に伴いパフォーマンスが低下し、反応時間、反応時間の増加率、ポインティング精度が変化すると言われている。
瞳孔	主として対光反応が利用される。ゴーグルなどで周辺光を遮断した状態で、1 秒程度の発光に対する瞳孔径（面積）を 10 秒程度連続記録する。反応潜時、縮瞳率、縮瞳・散瞳速度などが評価指標として利用されている。	瞳孔は交感神経・副交感神経両者の支配を受けており、自律神経の活動状態を知る指標の一つとして考えられている。 眠気や周囲の明るさ、暗順応の状態などに影響を受ける。
心電図	心電図を連続記録する。心拍数、心拍	自律神経の活動状態を知る指標の一つ

	数の変動・分散、心拍間隔の変動の周波数分析結果などが評価指標として利用されている。	として考えられている。
呼吸	インピーダンスの変化や、胸部に巻いたベルトの伸縮などから呼吸数を測定し、評価指標として利用されている。	自律神経の活動状態を知る指標の一つとして考えられている。
皮膚抵抗	発汗などによって変化する皮膚抵抗を測定し、評価指標として利用されている。	自律神経の活動状態を知る指標の一つとして考えられている。
脳機能マッピング	fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging), PET (Positron Emission Tomography),光トポグラフィなどの装置によって、部分的な脳血流量の相対変化が測定されている。	脳血流が多い部分は神経細胞の活動が活発であると考えられている。fMRI,PET は測定時に姿勢が厳しく制限され、また測定中の映像提示は不可能ではないが困難が伴う。

視覚疲労評価の実験の一例としてURCF（超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム）では、「3Dテレビ視聴時の疲労に関する評価実験」を実施し、家庭用 3Dテレビを１時間程度視聴した場合の疲労についての 500 名規模の評価実験を行ったが、3Dテレビで 3D番組を視聴したときの疲労と、従来のテレビで２Ｄ番組を視聴したときの疲労とを比較して、主観評価では一部の条件間で有意差があったものの、客観評価においては有意差がないという結果を「ＵＲＣＦ ３D疲労評価報告書[47]」として取りまとめている。

3.2.2.2 3D 映像の評価手法

撮影システムにおける左右画像の歪みの測定、視差量の測定、空間歪みの測定を行うツールは既に多く提供されており、これらの中には歪みや視差量のリアルタイム調整を行う機能を持つものもある。また、既存の映像の定量評価や解析も進められており、評価結果を利用したより快適な 3D 映像制作のための知見が集積されている。

左右画像の歪みは、垂直ずれ、回転ずれ、拡大ずれ、輝度ずれ、コントラストずれ、色ずれなど、撮影・編集・表示などの各工程で使われる機器の調整不良等のため左右画像のパラメータにずれが生じているものであり、不快感を与える大きな要因の一つである。これらの歪みについては、測定と同時にリアルタイムにずれを調整することが可能な機器を利用したり、編集時にずれを修正することが３D 映像制作では一般的である。

視差量は２眼式 3D 映像の演出を行う上で最も重要な表現パラメータであり、映像制作時には視差量を把握しておくことが重要である。しかしながら、視差量が生体に与える影響は画面サイズ、視距離、クロストーク、左右提示時間ずれ、視聴時間、さらには視聴者自身の生体特性等、複合的要因により大きく変化するため、視差量のみで生体への影響を語ることは望ましくない。また、機器を用いた視差量測定では注視点の取り方やぼけなどの影響による誤差があるため、生

体への影響を検討する際には主観評価との複合的な評価が必要である。

3D 空間歪みには、書割効果や箱庭効果などがある。これは違和感を感じさせたり、また工業デザインや医療での3D 映像利用では支障の一因となるが、一方でエンタテイメント映像の場合には、小人化や超遠方提示などの演出手法として積極的に用いられる場合もある。

これらをまとめると表 3-4 となる。

表 3-4　3D 映像評価手法の種類と実例

測定項目	内容
左右像差	左右画像における歪み(垂直ずれ、回転ずれ、拡大ずれ、輝度ずれ、コントラストずれ、色ずれ等)を測定
視差量	リアルタイムで視差量を測定。視差量測定／調整機能およびカラー調整機能、垂直・水平視差の画面分布表示機能、視差量の時系列解析結果であるデプスチャートの作成機能などが測定機材に含まれる場合がある
3D 空間歪	カメラパラメータおよび画角内の被写体や奥行き再現範囲から書割効果や箱庭効果といった不自然さを算出
使用される機材の例 ・SIP2100/SIP2101(3ality) ・MPE-200+MPES-3D01(ソニー) ・Disparity Tagger(Binocle) ・Depth Checker（レッツコーポレーション×QXD） ・3D アシストスタジオ FS3090（リーダー電子） ・Perfect Stereo 3D in Real-Time（Fraunhofer） ・S3D プロセッサ・カラーイコライザ CEQ-100HS S3D（朋栄） ・空間歪ソフトウェア（NHK 放送技術研究所）*研究レベル	

3.2.2.3 3D ディスプレイの評価手法

3D ディスプレイの評価項目としては下記が挙げられる。２Dディスプレイと共通の項目と3D ディスプレイ特有の項目があるので 3D ディスプレイ特有の項目には*を付記する。

解像度
輝度（明るさ）、輝度の画面内均一性
*左右（左眼側、右眼側）の輝度の相違
コントラスト比
*左右のコントラスト比の相違
色再現性（原色色度、白色色度）、白色の画面内均一性
*左右の色再現性の相違
*クロストーク
*画面内でのクロストーク特性の相違
*クロストークの視野角特性（左右方向、上下方向）
*左右提示時間ずれ

*上記、各クロストーク特性の左右での相違

クロストークについては信号レベルによって特性が一様でない場合もあり、黒レベル、100%白レベルだけでなく、中間階調レベルでの特性評価も行われており、学会での発表も多数なされている。

メガネ方式3Dディスプレイに用いられる3Dメガネについては、単体としての評価項目は、明るさ透過率、色再現性（メガネによる色の変化特性）、角度依存性（明るさ、コントラスト、色再現性など）が挙げられる。3D ディスプレイの左右映像特性の相違がメガネに依存する場合もあり、メガネの評価においても左右、各々の評価が必要である。

裸眼方式 3D ディスプレイに関しては、3D の安定表示領域（適視範囲）を評価するために、測定位置を変化させた場合のクロストークのレベル変化なども評価されている。

裸眼方式 3D ディスプレイのより詳しい評価には、配光特性分布の評価などがあるが、本報告書では割愛する。

3D ディスプレイの特性は評価する位置（画面からの距離）によっても変わるため、メガネ方式 3D ディスプレイでは画面高さの３倍の距離から測定評価するのが一般的である。裸眼方式 3D ディスプレイではあらかじめ最適視距離を想定して設計される場合もあり、標準的な視距離での測定評価と設計的な最適視距離での測定評価を併用する場合がある。

3D ディスプレイの評価に用いられるテスト信号発生器、光学測定装置に関しては、２Dディスプレイの評価に用いられてきた装置が一般的には共用されているが、クロストークの測定など測定項目によっては 3D ディスプレイの評価により適した改良を行ったものや専用品が使用されている。

3.2.3 3D 映像の評価手法の標準化

ARIB（参考資料 A.5 参照）の放送新技術調査研究会 将来型 3DTV 検討作業班においては、将来型 3DTV(2 眼式以降)の要求条件検討を目的として、2 眼式立体方式の技術的課題、生理的影響の整理が行われ、2 眼式 3DTV の主観評価手法新勧告案作業文書(ITU-R BT.[3DTV_SUBMETH])への寄与がなされた。これらを受けて、2012 年４月の ITU-R SG6 会合で、3D 映像の主観評価法に関する新勧告案が作成された．これは、従来のＴＶ画質の評価法を定めた、ITU-R BT.500 をベースに、画質(picture quality)、立体感(depth quality)、快適性(visual comfort)の観点から 3D 映像を主観評価するための勧告案である．この勧告案には含まれていないが、安全性/視覚疲労の観点からの評価も必要と考えられる。

番組制作時の両眼視差量の統制に関しては、ステレオカメラによる撮影条件、提示条件から再現空間が計算できることが報告されており[48]、これを基にした再現空間の立体歪みを推定・表示する装置についてITU-R BT.2160 に記載されることが、2011 年 10 月のITU-R SG6 会合の審議で了承された。

ITU-T においては、3D 映像の画質に関する主観評価法、3D 映像画質評価におけるディスプレイの要求条件及び 3D 映像の視聴による疲労評価手法に関する勧告案の議論が進められており、今後国内においても対応が必要と考えられる。

また、ISO TC159 （参考資料 A.2 参照）においては、3D の生体安全性に関する標準化の新規提案が承認され、ITU-R SG6 からリエゾンが提出されている。

3D クロストークを含むディスプレイの評価手法については、IEC TC110(参考資料 A.3)にて取りまとめられている。

3.3　3D 標準映像

3.3.1 2D 標準映像の標準化事例

映像システムの評価には、画質や劣化にかかわる物理的な量を測定する場合(たとえば PSNR)、解像度、階調特性や色再現性など特定の項目を評価するための特殊なパターン映像（テストパターン）が用いられてきた。これらに加え、標準動画像、すなわち実際のサービス（たとえば放送では番組）で扱われるものに近い種々の特性を含んだ一連の映像の組が用いられてきている。これら標準動画像が広く用いられることにより、たとえば符号化方式やディスプレイ性能を比較する場合、共通に用いることで比較を容易に行うことができる。また、一般には高品質な映像の制作には経費がかさむため、映像素材が妥当な方法で利用できることは機器開発を促すことにつながる。

標準動画像は、産業分野や目的により種々存在するが、そのひとつにハイビジョン用として国内で広く用いられている「ハイビジョン・システム評価用標準動画像 （第２版）[49]」がある。評価項目として、符号化、ディスプレイの諸特性、フレームレート変換などに関わるものが各シーケンスごとの解説に記載されている。構成を表 3-5 に示す。

表 3-5 ハイビジョン・システム評価用標準動画像の内容

（1920×1080 画素、各々15 秒、７８シーケンス、非圧縮 の TIFF, RAW 形式、ＤＶＤ媒体）

	A シリーズ(インタレース) 59.94i, 10bit,　RGB 4:4:4	B シリーズ（プログレッシブ） 59.94p, 10bit, YC_bC_r 4:2:2
一般画像 (通常放送に近い総合評価向け)	シーケンス数　26	シーケンス数　１８
特殊画像 （特定の評価項目向け）	シーケンス数　19 （50i の 4 シーケンス含む）	シーケンス数　15 （24p 4:4:4 の４シーケンスを含む）

※　A, B シリーズのほか C シリーズがある。これは　A シリーズを YCbCr 4:2:2 としたもの

3.3.2 3D 標準映像の現状と課題

3D 標準映像の使用目的に応じた標準映像の現状についての Dpa による調査を受けて、それぞれに対する評価および要件を表 3-6 にまとめた。

表 3-6 3D 標準映像

用途	内容	実例
3D 映像制作用	3D カラーバー（ビデオ信号）	左右映像が判別可能な標準 3D カラーバーの規定はなく、現状は各社で作成したものを利用

	左右映像の歪み（空間的／時間的／色）を調整するためのテストチャート（静止画と動画がある）	・Fairburn 3D Chart ・X-rite ColorChecker クラシック（マクベスチャート） ・カラーグレーチャート（フジフィルム） ・ 3D Test Chart（ビデオテック） ・ 3D Test Patterns（Sarnoff）
	奥行き評価用クロスハッチのチャート表示、仮想テロップ集など	テロップ位置を撮影時に確認し、撮影画角を調整するなど、奥行き位置確認のために有用だが、整備されていない。
立体視機能評価用	制作者の眼の特性把握や、視聴者が 3D 映像を視聴するにあたって自らの眼の特性把握	生体への影響という観点では重要だが、簡易に利用可能なものは整備されていない。 ・チトマスステレオテスト／ランダムドットステレオテスト ・立体標準映像チャート（映像情報メディア学会） ・両眼視機能検査装置 DR-100（オリンパス）
映像制作システム等の主観評価用	ハイビジョン・システム評価用標準動画像のように、3D 映像によく用いられるシーンを集めた 3D 標準動画像	機器やシステムの主観評価を行うためには不可欠であるが、整備されていない。標準動画像集としては以下のものがあるが、大画面対象のパラメータで撮影されている、シーンが一般的なものではない、簡易に利用可能な配布形態でないなど、3D 番組制作用途には不適切である。 ・立体映像標準チャート（映像情報メディア学会） ・3 次元映像標準テストコンテンツ（情報通信研究機構）
研修・教育啓発用	―	研修・教育啓発用映像は、様々な機関で制作されており、配布形態も一般的に利用しやすいサイドバイサイド方式のＤＶＤ／ブルーレイや 3D ブルーレイ方式が主流。 ・3D 制作支援のための映像集・解説集（デジタルコンテンツ協会） ・3D 生体影響測定用映像 GO AHEAD!（電子情報技術産業協会）

3.3.3 3D 標準映像の標準化動向

ITU-R の「２眼式 3DTV の主観評価手法(ITU-R BT.[3DTV_SUBMETH])」においては、テスト画像として「見やすい立体映像が使用されるべき」と記載されているものの、特定の標準映像が用意されているわけではない。ただし、実験参加者をスクリーンするための映像として、ITU-R BT.1438 に記載されている映像が挙げられている。ITU-R BT.1438 は 2000 年に制定されたものであり、新たな標準映像の確立が望まれる。

3.4 3D の安全性に関する周知・配意事項

3.4.1 2D の安全性に関する周知・配意事項の標準化事例

２D での生体安全に関する周知事項として、光感受性発作に関する勧告(ITU-RBT 1702)がある。この勧告では、「放送事業者はテレビ映像の制作が光感受性発作を引き起こすリスクがあることを番組制作者に対して注意喚起すべきである。」と記述されている。さらに、番組素材制作者、消費者向け機器製造業者および視聴者に対して、技術情報を参照すべきとしている。一方、一部の放送事業者は、アニメ番組等の開始時に、自主的に視聴者に適切な見方に関する注意を放送している。しかしながら現段階では、視聴者に向けた具体的注意事項等に関しては標準化がされていない。

3.4.2 3D の安全性に関する周知・配意事項に関する現状と課題

日本国内での 3D放送実施にあたり、デジタル放送推進協会（Dpa）では 2010 年６月に「3D 放送に関する周知事項 」を取りまとめた。本取りまとめに基づき、放送事業者は 3D番組の放送の際に視聴者に対し 3D放送の視聴に関する留意事項等の周知を行っている。世界各国で 3D放送が始まっているが、前記のとおり業界として放送前告知など注意喚起や安全に関する議論などの取組みを行い、実際の放送において運用している国は我が国が最初である。

また、本検討会において、Dpa の協力によりサイドバイサイドによる 3D 放送を行う全ての地上放送事業者および衛星放送事業者の「3D 放送における安全性確保の取組み」の調査結果を基にして、「快適な 3D 放送を行うための配意事項」（【別添】快適な 3D 放送を行うための配意事項）として取りまとめを行ったところであり、今後の国内外の関係者への周知が期待される。

3.4.3 3D の安全性に関する周知・配意事項に関する標準化動向

３Dコンソーシアムがまとめた３DC安全ガイドライン[6]では「視聴者に周知すべきガイドライン」が７項目にまとめられている。

一方、前節で述べたとおり、デジタル放送推進協会(Dpa)は、３D映像のサービスを行っている放送事業者が実際に放送時に行っている視聴者への周知事項を「3D放送に関する周知事項」として取りまとめた。前述のとおり、これをまとめた視聴者への周知事例が、我が国からの寄与文書としてITU-Rに提出され、ITU-R BT2160 に反映されている。

また、電子情報技術産業協会（JEITA）において、「３D映像表示が可能なテレビジョン受信機に関する表記事項について[50]」として、３Dテレビ受信機やPCに関して視聴者に周知すべき事項を、カタログ、取扱説明書及びホームページ等において分かりやすく記載する目安が取りまとめられている。

第4章　まとめ

本検討会では２眼式 3D テレビの生体への影響に関して、特に「3D 映像の評価手法」、「3D 標準映像」、「3D の安全に関する周知・配意事項」の３点について検討した。

3D テレビの生体への影響の検討においては、従来、２眼式 3D テレビにおいて立体感の表現手段である「視差量」について議論が集中しがちであった。しかし、3D テレビ放送システム全体として、「制作」、「表示」、「視聴」という３つの過程から生じる要因を複合的に考慮する必要があるということを確認した。

○ 制作

「視差量」「左右像差」「3D 空間の歪み（書割効果・箱庭効果）」等といった事象が安全性・快適性に影響がある事例を整理した。特に「視差量」については、単なる視差角だけでなく、視差分布、視聴時間、ディスプレイの大きさなどの影響を受けることを考慮する必要がある。そのような中、Dpa による報告を踏まえ本検討会で検討した結果、既に日本国内で 3D 放送を行った実績のある全ての地上・衛星放送事業者は、高性能な機材を活用し、スタッフにも十分な教育を行った上で、安全性・快適性に十分に配慮した 3D 放送を行っていることが共有された。また、空間の歪み（書割効果・箱庭効果）についても、安全性・快適性に配慮しつつ立体空間の演出効果として活用がなされている。

○ 表示

表示時のクロストークや左右像差が安全性・快適性に影響があるが、特にクロストークについては、低減をするための技術開発がなされている。また、IEC においてディスプレイ評価基準が策定され、ディスプレイの評価基準が明確になっており、メーカーではそれに配意して開発がなされている。

○ 視聴

ディスプレイの大きさ、視距離、視聴姿勢、照明環境といった視聴条件も安全性・快適性に影響することに留意が必要である。

視聴者特性に関しては、3D 映像の視聴にあたっては立体視機能（眼位、視差検出、融像域、輻湊—調節反応など）、左右眼の視力差などが立体の見え方に関係すると共に、個人差も大きく、安全性・快適性に影響する。特に視機能の発展途上である幼児への 3D 映像の視聴には配慮が必要である。

前述の通り、放送事業者は安全性に配慮して番組制作をしており、また、ディスプレイについてもメーカーがクロストーク低減などの表示性能の向上による安全性•快適性に配慮しているなど、3D テレビシステム全体として、生体への影響に十分な配慮がなされているところである。また、2010 年以降の 3D 環境（撮影機材、ディスプレイ）においての研究も進められており、生体への影響についても知見が集積してきているところである。

そのような状況を踏まえ、本検討会の３つの検討事項については、以下のように検討結果を取りまとめた。

○ 3D 映像の評価手法

３D 映像の評価項目としては、立体感だけでなく安全性・快適性も挙げられるが、生体への影響の観点から重要である 3D 特有の負荷・視覚疲労を評価する決定的な手法はまだ確立されていない。そのような中、疲労評価法については ITU でも検討が進められており、URCF や ARIB 等においても、更なる検討が期待される。

○ 3D 標準映像

生体への影響の観点からの標準映像については、主観評価用、立体視機能確認用、研修/教育啓発などの用途があり、静的・動的な立体視確認用の標準映像としては ITU において標準化されているが、視聴者の機能に適合した快適な立体映像の条件を見出すための標準映像も今後必要と考えられる。

○ 3D の安全に関する周知・配意事項

本検討会での検討を受け、3D放送に関してはDpaにおいて「3D放送に関する周知事項 」として取りまとめられた上で、ITUにも入力され、ITU-Rのレポート（BT2160）に反映された。放送事業者においては、上記の周知事項に従い、視聴者に対して生体安全性に関わる留意事項を周知している。なお、3Dテレビ受信機に関しては、JEITAにおいて「３Ｄ映像表示が可能なテレビジョン受信機に関する表記事項について」として、取りまとめられている。

また、映像制作時の配意事項については、3D放送を実施している各放送事業者の実施例や内規等をもとに、Dpaの協力を得て本報告書の別添「快適な 3D放送を行うための配意事項」として取りまとめた。今後は、この「快適な 3D放送を行うための配意事項」についても広く国内外の関係者に周知し、活用していくため、「3D放送に関する周知事項 」と同様に国際標準化に向けた取組みが期待される。

以上の検討結果や提言を踏まえて、今後、より一層安全で快適な 3D テレビの普及に向けて、関係者の協力した取組みが期待される。

【別添】快適な 3D 放送を行うための配慮事項

快適な３D 映像制作を行いまた放送するために、下記のように各段階における十分な配意を行うことが重要である。

- 準備

両眼視差を用いた 3D 映像では、2D 映像制作では当然とされている表現手法を用いることで不快な 3D 映像を制作することにつながる場合がある。そのため、ステレオグラファーのみならずプロデューサー、ディレクター、カメラ、ビデオエンジニア、照明、美術など、３D 映像制作に関わる全てのスタッフが３D の特徴をよく理解しておくことが重要である。

３D技術の原理、３DC安全ガイドライン[6]に示される３Dの生体への影響、3Dカメラ等各種機材の特徴や制作手法について、先行事例や学会等の最新の情報を調査し、制作に関わるスタッフへの教育を継続的に行っていくことが望ましい。

- 撮影／編集

３D 撮影を行う場合、3D 演出を専門的に行うエンジニアであるステレオグラファーを配置することが望ましい。

また、適当な飛び出し／奥行き量で撮影できるよう、あらかじめ３D 空間設計を行ったり、撮影対象に応じて最適な機材を選択したりすることが重要である。特にコンサートやスポーツなど、複数台のカメラでリアルタイムにスイッチングして撮影する場合、画角や被写体との距離に合わせた機材選択・調整が重要である。さらにパンやズームなどの動きの大きいカメラに対しては、左右画像のずれ量や視差量をリアルタイム制御可能な機器を選択し、それを調整するプラーを各カメラ毎に配置するなど、３D 空間の破綻が起こらないようにすることが重要である。

リアルタイム制御を行わない場合には、安全に撮影できる範囲の事前の確認や編集時にずれ量や視差量の適正な調整を行う。

- 検証

生放送の場合には、リアルタイムでずれ量や視差量の管理が行えるツールを用いる等、快適な 3D 映像となるように管理を行う事が重要である。

編集映像の場合には、編集に携わったスタッフ以外の者複数人によるプレビューチェックや、必要により非専門家対象の主観評価実験を行い、不具合がある場合には再編集を行うことが望ましい。

- 放送

放送や３D映像再生時には、Dpaの 3D放送に関する周知事項 に従い、視聴者に対して生体安全性に関わる留意事項を周知することが望ましい。

留意事項の概要について下記に示す。

項目･分野	周知事項
3D 放送の開始／終了	- 3D 放送の開始／終了 - 3D／2D 混在編成の場合、3D 放送の終了後の 2D 放送開始 - 3D／2D 放送切り替え時の 3D/2D モード切り替え指示

項目・分野	周知事項
	- 映像コンテンツを混在編成する場合には、3D 映像コンテンツの放送終了時に、これから 2D 映像コンテンツの放送を開始すること
3D 放送視聴	- 適切な視距離および適切な明るさの中での視聴 - 体調不良を感じた場合は視聴中止を促すなど視聴に関する注意 - 子供、特に乳幼児の 3D 映像の視聴に関する留意事項 - 立体映像が見えていることの確認とそのための立体映像 - 3D 映像の生体への影響の個人差、映像コンテンツの内容
3D 機器	- 3D 放送を視聴するために必要な準備 - 2D テレビで 3D 放送を視聴しようとした場合の留意事項 - 3D 対応テレビ機器操作による OSD（画面上に表示される機器操作情報）の影響など、機器操作に関する留意事項 - 3D メガネ利用時の留意事項

【参考資料A】　3D テレビ関連標準化状況

A.1　ITU-R/ITU-T

ITU-R の SG6 では、2010 年秋会合以降、WP6B と６C で３DTVS の議論が進められている。WP6B はインタフェースや符号化、多重化が、また WP6C はコンテンツ制作と品質評価を所掌している。２０１２年春会合までの主な議論は以下の通り。

【ITU-R SG6WP6C】

1. ２眼式 3DＴＶに関する動向調査が行われ BT2160 としてまとめられた。我が国からは、
   - ２眼式３DTV の快適視聴に対する基本的考え方（奥行き感や視覚疲労が複合要因により生じるという基本原理）
   - ＮＨＫで過去に行われた２眼式 3DTV のヒューマンファクタや再現奥行き評価装置に関する研究成果
   - Dpa でまとめられた視聴者に対する周知配意事項である「3D 放送に関する周知事項７」
   - NICT で行われた立体映像視聴に伴う大規模な視覚疲労実験の結果

   などが、本文または Appendix に収録されている。
2. 上記快適視聴に対する基本的考え方に基づき、３DTV による生体安全性基準を議論している ISO TC159 とのリエゾンを図ることを我が国から提案し、承認された。
3. ２眼式３DTV の主観評価手法について、新勧告草案作業文書が提出され、各国から修正案寄与文書が寄せられている。我が国からは、評価対象をまず伝送/記録系を対象とする、と提案して認められた。
4. ２眼式３DTV の制作および番組交換フォーマットについて、各国から提案が出された。
   - ハイビジョンの映像・音声・インタフェース規格を３DTV 制作・交換に使用する提案が、BBC/CBS および EBU から提起され承認された。ただし、日本の実態調査の結果、伝送容量や左右画像同期伝送に制約がある場合は Side-by-Side のフレームコンパチブル方式も使用が認められた。
5. ２眼式３DTV の制作および番組交換に対する性能要求

【ITU-T SG6 WP６B】

- HD ベースの二眼３DTV 信号のデジタルインタフェースについて議論が行われ、HDSDI デュアルリンクまたは３Gbps のシングルリンクとする勧告案が確定した。

ITU-T でも、２眼式 3DTV の評価に関する検討を始めている。

【ITU-T SG９】

- ３D 映像の画質に関する主観評価法および３D 映像画質評価におけるディスプレイの要求条件に関する勧告案に関する議論を開始した。
- 3D 映像の視聴による疲労評価手法に関する勧告案の議論が進められている。

【ITU-T SG16】

- 勧告 ITU-T H.264 におけるマルチビュー符号化に関する拡張

A.2　ISO TC159

（１）3D 生体安全性の国際規格化提案

2011 年８月、ISO/TC 159（人間工学）/SC 4（人間とシステムのインタラクション）に対し、日本から 3D の生体安全性に関する新業務項目提案（NP）を実施した。その結果、2012 年２月７日付けで承認された。

（２）3D 生体安全性の国際規格化提案の概要

3D 生体安全性の新規提案(NP)では、作業原案（WD）それ自体ではなく、そのアウトラインが添えて行われた。これに記された Scope の概要は以下の通りである。

「本規格は、3D 映像の視聴によって生じる可能性のある眼精疲労や不快感を軽減するための要求事項と推奨事項を人間工学的な視点から記述する。個別の基本条件は、両眼に入力される映像光刺激に関する推奨事項として記述する。

視聴者の両眼に入る映像光刺激は表示映像、表示装置、観視条件によって決まるので、本規格の推奨事項は、3D 映像視聴による眼精疲労や不快感を軽減するための有用な項目を記述する。これらは、3D 映像の設計、制作、供給に携わる人々、立体表示装置の設計、開発、供給に携わる人々及び視聴者が、それぞれの立場で配慮すべきものである。ただし、視聴者には、映像や表示機器の供給に携わる人々から周知することが望まれる。

NOTE 1　映像制作者や表示装置開発者において、それぞれの立場に即した個別に参照されるべき特有の項目がさらにあれば、本規格を参照して、別途ガイドラインが定められることが望ましい。

NOTE 2　3D ディスプレイの光学特性に関する性能項目と計測については、そのタイプごとに ISO/TC 159/SC 4/WG 2 及び IEC/TC 110 において検討されている。

NOTE 3　放送規格については全般的に ITU が定めている。

本規格は、3D 映像視聴の快適性に適用される。この 3D 映像とは、左右の眼に両眼視差を提示することで両眼融合により奥行き知覚を得ることを基本とするものである。空間に像再生を行うことで奥行き知覚を生じさせるいわゆる空間像再生方式の 3D 映像は対象としない。」

（３）3D 生体安全性の国際規格化の今後の予定

3D 生体安全性の NP に関して、以後の各ステップとその目標期日は以下の通りとなる。

委員会原案（CD）の回付：	2013 年２月７日
国際規格案（DIS）の回付：	2013 年８月７日
最終国際規格案（FDIS）の回付：	2014 年８月７日
国際規格（IS）の発行：	2015 年２月７日

当面の目標は、CD の作成であり、そのために、多岐にわたる国内関係者と密に連携し、視聴者と 3D 関連事業者の双方に有益な規格が作成することが目標である。

また、ISO/TC 159/SC 4/WG 2 においてメガネ式立体ディスプレイと裸眼式立体ディスプレイの計測法について、NP 提案に向けた検討が行われている。

A.3　IEC TC110

IEC TC110 において、3D ディスプレイに関する標準化作業が 2009年より開始され、メガネ方式 3D ディスプレイ、裸眼方式 3D ディスプレイの光学測定法の標準化作業に関して、日本、韓国、中国の主要メーカー、及び米国、欧州などが国際会議での審議に参加している。日本国内委員会は JEITA に設置されており、テレビメーカー、ディスプレーメーカー、計測装置メーカーが参加している。IEC TC110 での標準化作業に関しては当初は TC110 議長のもと、直轄 WG として作業が開始されたが、現在は 3D ディスプレイを担当する WG6 が設置されている。

- 眼鏡方式 3D ディスプレイ

2009 年 11 月に日本よりNP提案を行い、日本がPL（プロジェクトリーダー）となって標準化作業を開始した。測定項目は 3.2.2.3 3Dディスプレイの評価手法で評価項目として列記した各項目をカバーしており、2012 年 7 月現在、2ndCD（委員会原案）文書が発行され、2012 年内にCDV（投票用委員会原案）文書を発行し、5 ヶ月間の国際投票の後、国際審議を経て、2013 年に標準化作業が完了する予定である。

ＦＰＤと 3D メガネの組合せによる 3D ディスプレイの測定評価に加え、3D メガネ単体の測定評価も対象としている。3D ディスプレイを構成するＦＰＤについては、ＬＣＤ、ＰＤＰ、ＯＬＥＤを対象とし、3D ディスプレイ/メガネの方式については時分割式（シャッター式）、空間分割式（偏光式）などを対象とし、ＦＰＤ、3D ディスプレイ/メガネの方式に関わらず、共通の測定方法で評価できる規格策定を進めている。

- 裸眼方式 3D ディスプレイ

メガネ方式 3D ディスプレイより先行して、2008 年 11 月に韓国より NP 提案があり、韓国が PL となって標準化作業を開始した。CDV 文書に対する国際投票が終了し、その文書が基本的に承認された後、2012 年 7 月現在、CDV 文書の次の段階である FDIS（最終国際規格案）文書作成に向けた修正作業の段階にあり、2013 年前半までには標準化作業が完了する予定である。

裸眼方式 3D ディスプレイについては各種方式があるが、一般的な 2 眼式/多眼式（2 View/Multi View）のものとインテグラル方式についての測定法を規定しているが、ホログラム方式はディスプレイの構成、評価手法が大きく異なるため、本規格の対象としていない。

A.4　Dpa 3D-WG

デジタル放送推進協会（Dpa）では、2010 年 5 月に技術委員会3D-WG（主査：フジテレビ）を設立し、3D 放送の運用に関する検討を行っている。下記にこれまでの活動概要を記載する。

2010 年 6 月には「3D コンテンツに関する直近の検討課題について」として、3D コンテ

ンツの識別手法および 3D 放送視聴にあたっての視聴者への周知事項について取りまとめを行った。

3D コンテンツの識別手法としては、

- 当該放送が 3D 放送であること、および、3D の伝送方式を識別するための信号仕様
- ＥＰＧなどにおいて 3D コンテンツであることを示したり、3D 番組検索を行うために利用可能な SI 情報

について検討を行い、2010 年８月に ARIB TR-B15「BS/広帯域 CS デジタル放送運用規定」として規格化した。

また、3D 放送視聴にあたっての視聴者への周知事項については、

- 放送事業者における周知事項例および周知方法例
- 放送事業者が周知を行うに当たって前提とする、3D 放送受信機メーカーにおける周知事項例および周知方法例

について検討を行い、2010 年６月の会員内への公表を経て、2011 年６月には「3D放送に関する周知事項 」としてホームページ上にて広く一般にも公開した。さらに 2011 年９月の ITU-R SG6 会合では”Example notifications given to viewers in Japan”として寄与文書を入力した。2011 年 10 月には、「3Dの標準映像および 3D映像の評価手法に関する検討について」を取りまとめ、本研究会に入力した。この内容については、3.2「評価手法の現状と課題」および 3.3「標準映像の現状と課題」に反映された。

2012 年４月には、「放送事業者の 3D 放送における安全性確保の取組みについて」を取りまとめ、本検討会に入力した。本報告は、サイドバイサイドによる 3D 放送を行う全ての地上放送事業者および衛星放送事業者に対し 3D 放送における安全性確保の取組みについて調査を行った結果について取りまとめたものである。その結果、放送事業者は下記のような取組みにより、安全性に十分に配慮した 3D 放送や 3D コンテンツ制作を行っているということが示された。

- 3D 映像制作を開始する前の事前準備として、制作手法のみならず 3D 技術の原理や生体安全性も含め、先行事例や学会等の調査を行い、また、専門家による研修を実施。
- 3D 映像制作／放送を行うスタッフへの 3DC 安全ガイドラインの周知徹底。
- ステレオグラファーやプラーの配置など、3D 特有の映像パラメータを制作時から十分に管理し、さらにプレビューチェックや完成後の主観評価実験などを通じて不具合がある場合には再編集を行うなど、生体安全性の確保に十分に留意。
- 放送や 3D映像再生時には、Dpaの 3D放送に関する周知事項 に従い、視聴者に対して生体安全性に関わる留意事項を周知。

A.5　ARIB

ARIB では、次世代放送の実現に向け、作業班レベルでの調査活動が２００８年に開始された。3D テレビもこの対象となり、当初は将来の放送サービスを想定した様々な 3D 方式の調査を行ったが、２眼式3D テレビによる放送サービスへの期待が急速に高まり、２眼式3D テレビを放送に応用した場合の課題抽出に調査対象を移した。2011 年には、調査・研究活動に加え、現行のデジタル放送における方式検討を行うデジタル放送システム開発部会においても方式検討が開始された。

また、これらに加え、それぞれ従来より品質評価法を調査対象としてきた品質評価法調査研究会、ITU-R 等の国際標準化対応を行ってきた放送国際標準化ワーキンググループにおいて 3D 映像に関する対応が活発化している。これらは主に ITU-R での 3D 映像関連の審議状況に応じ、寄書の提出や審議への参加を通じて寄与・対応をおこなっている（参考資料 A.1 参照）。

現在の ARIB における 3D 映像関連の活動状況を下図にまとめる。

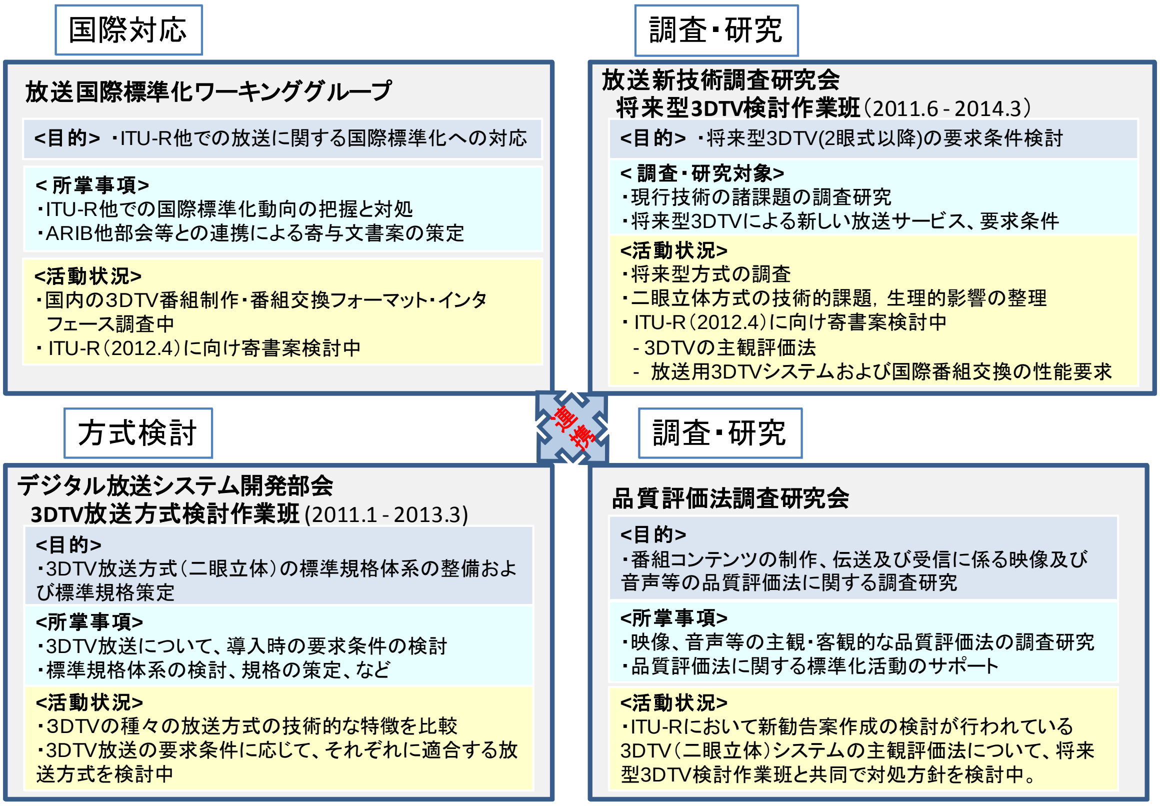

図 A-1

【参考資料B】　3D テレビに関する検討会名簿

座長	畑田 豊彦	東京工芸大学 名誉教授（現在 東京眼鏡専門学校校長）
有識者	河合 隆史	早稲田大学 理工学術院 教授
有識者	塩入 諭	東北大学 電気通信研究所 教授
有識者	半田 知也	北里大学 医療衛生学部 准教授
有識者	不二門 尚	大阪大学大学院 医学系研究科 教授
	伊藤 崇之	日本放送協会 放送技術研究所 研究主幹
	今井 豊	スカパーJSAT(株) 有料多チャンネル事業部門 マーケティング本部 プラットフォームサービス部 サービス開発チーム サービス開発担当主幹
	江本 正喜	日本放送協会 放送技術研究所 人間・情報科学研究部 主任研究員
	奥井 誠人	日本放送協会 放送技術研究所 テレビ方式研究部 主任研究員
	小山田 浩	ソニー(株) 品質センター 品質技術室 信頼性推進 Gp シニアメディカルサイエンスリサーチャー
	川島 正裕	パナソニック(株) AVCネットワークス社 技術統括センター 参事
	木村 和宏	(独)情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 統括
	齋藤 一	(株)テレビ東京 技術局技術開発部
	篠原 克也	日本電気(株) パーソナルソリューション企画本部 グループマネージャ
	白井 義吾生	(株)ジュピターテレコム 理事 技術本部 副本部長
	曽我 有紀子	日本テレビ放送網(株) 技術統括局 技術戦略部 主任
	高橋 和子	(株)フジテレビジョン 特区事業準備室特区推進部デスク担当部長
	田嶋 炎	(一社)日本民間放送連盟 番組部長
	利根川 展	(株)TBS テレビ 編成局クロスメディア部部長
	永谷 広行	(株)東芝 研究開発センター マルチメディアラボラトリー 研究主務
	中村 雪浩	(株)テレビ朝日 編成制作局次長
	中根 祥一	日本 BS 放送(株) 編事業統括局事業統括室長 兼 3D 立体放送 プロデューサー
	野堀 勝明	(一社) 日本ケーブルラボ 事業調査グループグループ長
	林 孝典	日本電信電話(株) ネットワーク基盤技術研究所 主幹研究員
	福田 賢治	(株)WOWOW 人事総務局付（技術担当） サブリーダー
	山口 毅	シャープ(株) 東京支社 渉外部 参事
オブザーバー	氏家 弘裕	(独)産業技術総合研究所 ヒューマンテクノロジー研究部門 マルチモダリティ研究グループ グループ長
オブザーバー	住谷 安史	経済産業省 商務情報政策局 情報家電戦略室 室長

事務局: 総務省 情報通信国際戦略局 通信規格課

参考文献

[1]伊藤崇之, “2 眼立体映像のヒューマンファクタ －快適な視聴に対する考え方－”，映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.41, BCT2011-70(Oct, 2011)

[2]野尻，山之上，花里，岡野：“位相相関法を用いた立体ハイビジョン映像の視差量測定と見やすさについて”，映情学誌, 57, 9, pp.1125-1134(Sep. 2003)

[3]矢野，江本，三橋：“両眼融合立体画像での二つの視覚疲労要因”，映情学誌，vol.57，no.9，pp.1187-1193（2003）.

[4]山之上，永山，尾藤，棚田，元木，三橋，羽鳥：”立体ハイビジョン撮像における左右が増刊の幾何学的ひずみの検知限・許容限の検討”，信学論 D-II, J80-D-II, 9, pp.2522-2531(Sep. 1997)

[5] A. Hanazato, M. Okui and I. Yuyama, “Subjective Evaluation of Cross Talk Disturbance in Stereoscopic Displays”, Proc. SID, pp.288-291, 2000

[6]3D コンソーシアム 「３ＤＣ安全ガイドライン」＜日本語＞(2011)
(http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/3dc_guideJ_20111031.pdf)

[7]デジタル放送推進協会 「3D 放送に関する周知事項について」（2011）
(http://www.dpa.or.jp/wp/wp-content/uploads/3d_housou20110531.pdf)

[8]塩入諭 ed (2007) 視覚 II (朝倉書店, 東京),

[9] Howard IP & Rogers B (1995) Binocular Vision and Stereopsis (Oxford University Press, Oxford).

[10]Shioiri S, Morinaga A, & Yaguchi H (2002) Depth perception of moving objects. 3D television, video and display technology, eds Javidi B & Okano F (Springer-Verlag, Berlin).

[11] Smallman HS & MacLeod DI (1994) Size-disparity correlation in stereopsis at contrast threshold. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 11(8):2169-2183.

[12] Lee S, Shioiri S, & Yaguchi H (2007) Stereo channels with different temporal frequency tunings. Vision Res 47(3):289-297.

[13]繁桝博昭 & 佐藤隆夫 (2005) 書き割り効果のメカニズム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 10(2):249-256.

[14]Yamanoue H, Okui M, & Yuyama I (2000) A study on the relationship between shooting conditions and cardboard effect of stereoscopic images. IEEE Transactions on Circuits and systems for video technology 10(3):411-416.

[15] Johnston EB (1991) Systematic distortions of shape from stereopsis. Vision Res 31(7-8):1351-1360.

[16]名手久貴, 須佐見憲史, 畑田豊彦 (2002) 運動視差による「書き割り効果」の減少. 映像情報メディア学会誌 56(6):1015-1019.

[17]塩入諭 (2012) 立体／奥行知覚の基礎. VISION 24(1):57-66.

[18]. Kutka R (1994) Reconstruction of correct 3-D perception on screens viewed at different distances. IEEE Trans. on Comm. 42(1):29-33

[19]松原和也，松宮一道，塩入諭，高橋修一，兵動靖英，大橋功（2011）映情学技報, vol. 35, no. 16, HI2011-56, pp. 109-112, 2011 年 3 月
[20]平谷皓倫、塩入諭，栗木一郎，松宮一道，徳永留美，松原和也，（2011）輝度コントラストに基づく奥行知覚が輻輳眼球運動に与える影響. VISION, Vol. 23, (1),, p 161.
[21] Sherry L. Fawcett, Yi-Zhong Wang, and Eileen E. Birch(2005)， The Critical Period for Susceptibility of Human Stereopsis IOVS, February 2005, Vol. 46, No. 2 P523
[22]不二門尚：【3D 映像の生体影響】 わかりやすい臨床講座 3D 映像と両眼視：日本の眼科 81（11）：1414-1418,2010
[23]半田知也．3D映像の現状と生体安全性．日本の眼科，82（8）：1044-1048，2011.
[24]筑田昌一，他：立体映画を見て顕性になった内斜視の一症例． 日本視能訓練士協会誌 16：69-71, 1998.
[25] Handa T, et al. A novel apparatus for testing binocular function using the 'CyberDome' three-dimentional hemispherical visual display system. Eye, 23(11):2094-2098, 2009.
[26] 中山弘子，河村亮，他．VR 技術を応用した多機能眼科検査器の検討．日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集. 329-332, 2008.
[27] 半田知也．両眼視の新しい検査法について教えてください．あたらしい眼科，27（臨増）：246-248，2010.
[28] American Optometric Association: "3D in the classroom", http://www.3deyehealth.org/.
[29]金相賢，吉竹淳樹 他："立体呈示方式における視覚特性に関する基礎的検討（１）（２）"，人間工学，Vol.46，特別号，pp.470-473，2010.
[30]吉竹淳樹，柴田隆史 他："裸眼 3D ディスプレイにおける逆転視差の与える生体影響"，人間工学，Vol.48，特別号，pp.424-425，2012.
[31]田中礼美，熊谷悠 他："立体映像コンテンツ視聴時の眼球運動の解析"，人間工学，Vol.46，特別号，pp.476-477，2010.
[32]富山勇也，平原正広 他："ハリウッド 3D 映画の視差分析と表現手法の検討（１）（２）"，人間工学，Vol.48，特別号，pp.418-421，2012.
[33]大上明徳，富山勇也 他："立体テレビの視聴姿勢に関する基礎的検討"，人間工学，Vol.47，特別号，pp.258-259，2011.
[34]柴田隆史："視距離からみた立体映像の安全性"，人間工学，Vol.47，特別号，pp.48-49，2011.
[35]中野廣一，飯野瞳 他："交代性斜視と立体映像の観察体験に関する検討"，人間工学，Vol.47，特別号，pp.256-257，2011.
[36]宗雪史弥，柴田隆史 他："モバイル 3D ディスプレイにおけるユーザの眼位と快適性"，人間工学，Vol.48，特別号，pp.436-437，2012.
[37]新木昭宏，田中礼美 他："視差分析を用いた立体映像の撮影条件の最適化に関する検討"，人間工学，Vol.48，特別号，pp.422-423，2012.

[38]盛川浩志, 北村秀介 他：“シースルー型ヘッドマウントディスプレイの視機能に与える影響”，人間工学，Vol.48，特別号，pp.416-417，2012.

[39] Recommendation ITU-R BT.500-13, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures” (2012)

[40] Recommendation ITU-R BT.710-4, ”Subjective assessment methods for image quality in high-definition television”(1998)

[41] Recommendation ITU-R BT.1129-2 ,”Subjective assessment of standard definition digital television (SDTV) systems”(1998)

[42] BTA S-1002, “HDTV 標準監視条件”(2008)

[43] Recommendation ITU-R BT.1788, ” Methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications”(2007)

[44]大島正光:″疲労の研究″, 第２版, pp.4-8, 同文書院（1979）

[45] Hayes, M.H.S., Patterson, D.G., 1921, Experimental development of the graphic rating scale. Psychology Bulletin, 18, pp.98-99

[46] reyd, M.J., 1923, The graphic rating scale. J. Educational Psychol., 14, p.83)

[47] URCF(超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム)) ３D 疲労評価報告書(2011)

[48]山之上裕一, 奥井誠人, 岡 野文男, 湯 山一郎: 二眼式立体画像における箱庭・書き割り効果の幾何学的考察. 映像情報メディア学会誌, 56, 4, 575-582, 2002.

[49] ハイビジョン・システム評価用標準動画像 （第２版）（http://www.ite.or.jp/data/p_t/dl/manual-rev1.3.pdf）

[50]電子情報技術産業協会(2011) ３D映像表示が可能なテレビジョン受信機に関する表記事項について