

人に優しい3D普及のための 3DC安全ガイドライン

2010年4月20日改訂
国際ガイドラインISO IWA3準拠

3Dコンソーシアム(3DC)
安全ガイドライン部会

3DC安全ガイドライン全面改訂に当たって

2010年4月 3Dコンソーシアム(3DC)安全ガイドライン部会

本ガイドラインは、会員の便宜を図るべく2004年12月に策定されました。

当時、3D映像に対するガイドラインで公的にオーソライズされたものは存在せず、1999年6月発行の(社)電子情報技術産業協会の「3次元映像に関するガイドライン試案」があるのみでした。

2005年9月、関係者の努力が実を結び、国際標準化機構ISOより映像の安全性に関するガイドラインISO IWA3が策定公開されました。

2006年2月 ISO IWA3の立体関連部分を網羅し、内容も補強して3DCガイドラインの改定を行いました。この作業より、信頼度が大幅に向上したものとなりました。

2008年11月 3D産業の盛り上がりを期待し、それを下支えする目的で3DC安全ガイドラインを一般公開しました。

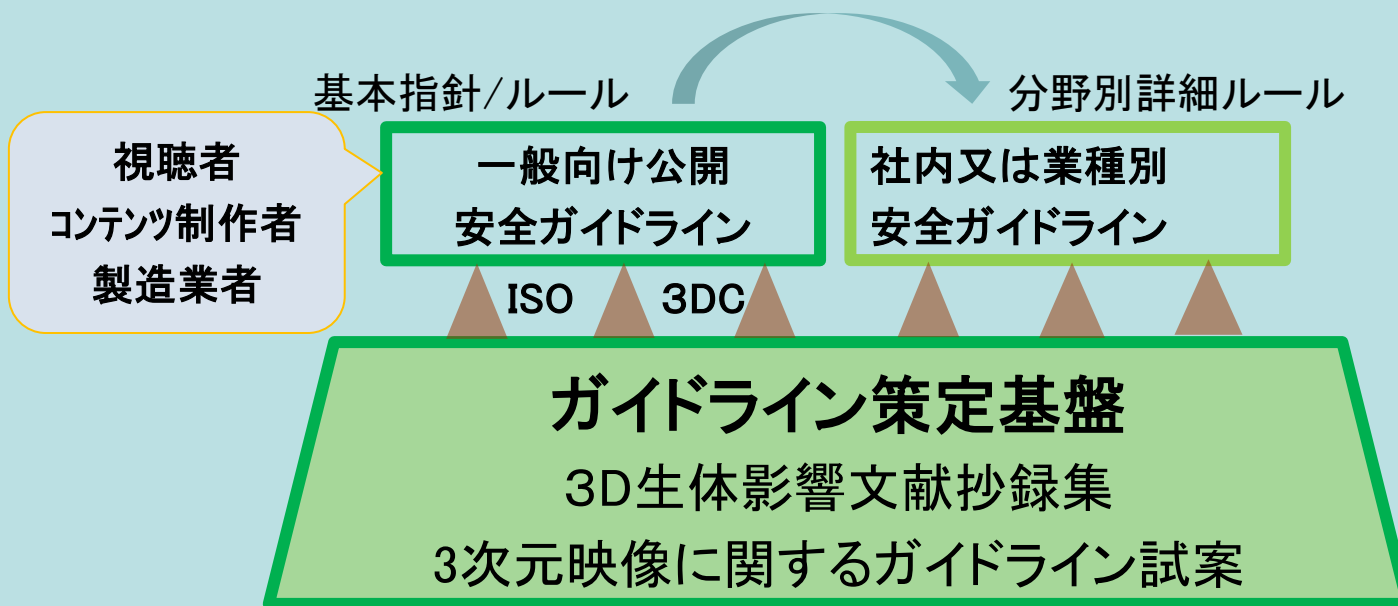
以後、ハリウッド発の立体映画が人気を博し、3Dテレビの商品化も具体化する中、撮影、映像制作、表示技術が急速に進歩し、安全ガイドラインの内容が現状の技術に必ずしも合わないところが散見されるようになりました。

そこで、2009年11月30日より開始された経済産業省快適3Dプロジェクトの活動の一環として過去10年の文献調査、3D研究者、事業関係者との議論を進め、内容を全面改定することにしました。


3DC安全ガイドラインの位置づけ

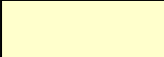
3DC安全ガイドラインは、3D産業の健全な育成を図るべく一般公開することとしています。
3Dに関わるすべての人(視聴者、コンテンツ制作者、機器製造業者)に知って頂きたい
必要最小限の知識、方針、ルールをガイドラインとしてまとめたものです。
快適な3Dを実現するためには、さらに多くのことを考慮する必要があります。
3D生体影響文献抄録集(2010)、JEITAの3次元映像に関するガイドライン試案(1999)
等を参考にして社内又は業種別の安全ガイドライン作りにお役立てください。

安全ガイドラインの位置づけ



【3DC安全ガイドラインの特長】

ガイドラインは<GL-N>で表記、Nが通し番号 背景色が 
内容 ○○○○○○ (が)望ましい。(を)推奨する。(は)避ける。
などで表現
解説 理由、運用方法、事例を記述

ガイドラインではないが、人に優しい3Dを実現する上で重要になる
基本知識を<Note>、ガイドラインの理解や実行に助けとなる解説を
<Note-N>で表記した。Nが通し番号、背景色が 

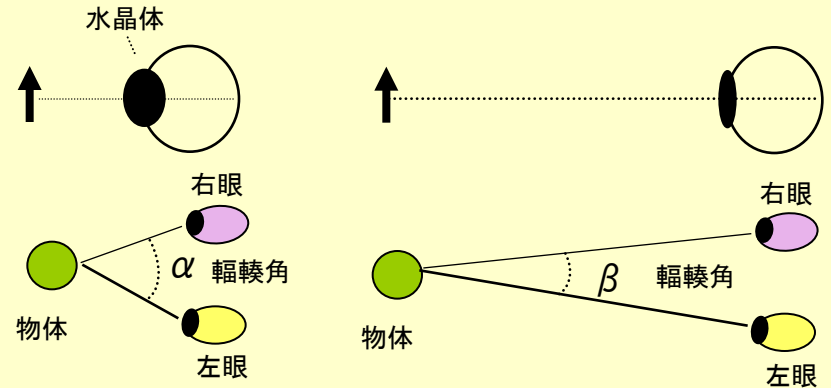
両眼視差など、文章だけでは理解が難しいものについて、
図で解説している。

<Note>立体視の原理

①～⑭を手がかり(CUE)に、人は立体や奥行きを感じる。

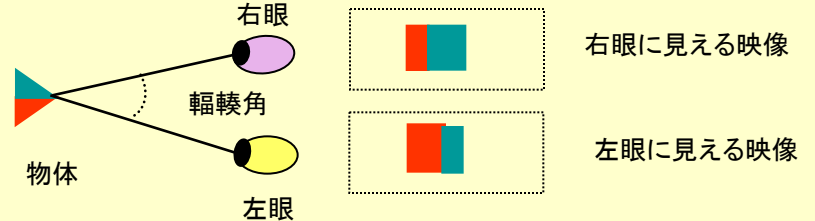
①水晶体の焦点調節(accomodation)

近くにある物体を見るとき水晶体は厚くなる。
遠くにある物体を見るとき水晶体は薄くなる。



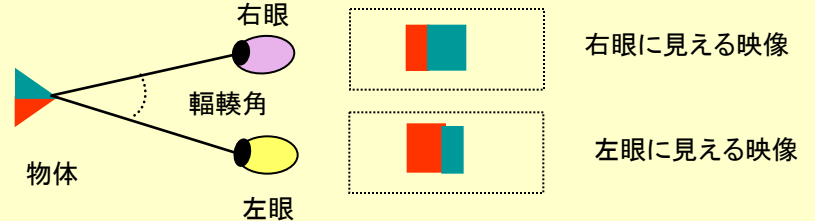
②両眼の輻輳(convergence)

近くにある物体を見るとき輻輳角は大きくなる。 $\alpha > \beta$
遠くにある物体を見るとき輻輳角は小さくなる。 $\alpha < \beta$



③両眼視差(binocular disparity)

右目と左目は6cm前後離れており、視点が違う分、見える映像が異なる。



④単眼運動視差(monocular movement parallax)

電車の車窓から景色を見たとき近いものほど早く動いているように見える。

⑤物の大小

⑥物の高低

⑦物の重なり

⑧きめの粗密

⑨形状

⑩明暗(陰影)

⑪コントラスト

⑫彩度

⑬色相

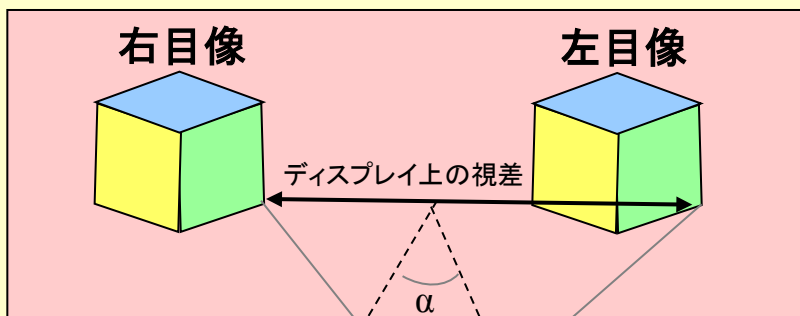
⑭鮮明度

<Note>両眼視差の原理に基づく3Dディスプレイとは

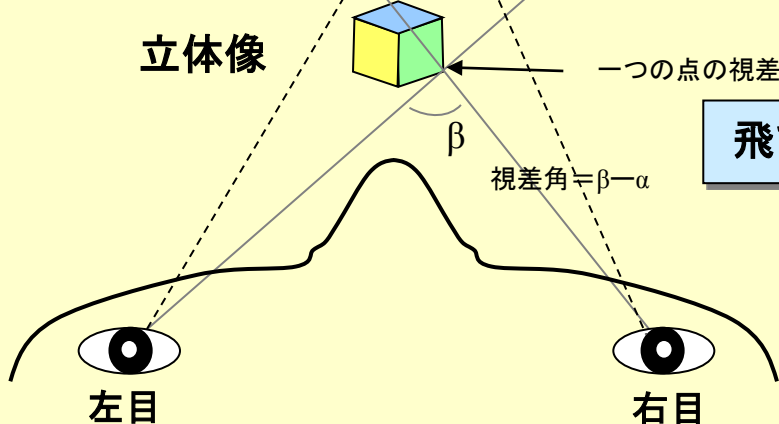
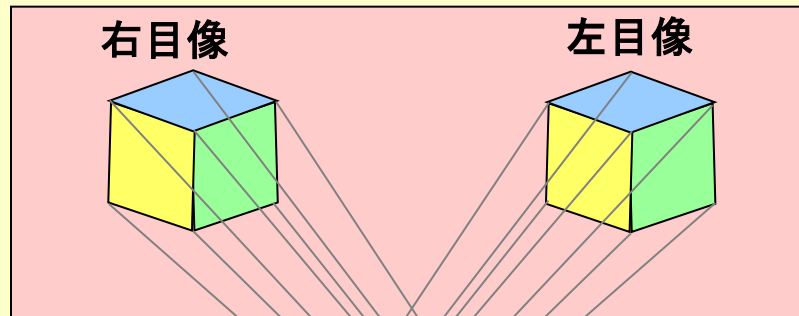
人の右目と左目は5~7cm離れた位置にある。そのため、それぞれの眼に入る映像は視点の違いの分だけ異なる。その違いは、被写体までの距離が近いと大きくなり、遠いと小さくなる。脳は、それを手がかりとして立体を知覚する。

一方、視点が異なる映像を右目と左目それぞれに独立に与えれば、奥行きを感じさせることができる。バリア等用い、右目左目に独立に映像を与えるようにしたのが両眼視差を利用した3Dディスプレイである。例えば、この原理のディスプレイに右目用左目用の画像が下図のように配置されていると、ディスプレイ面より前に飛び出した箱が立体として知覚できる。

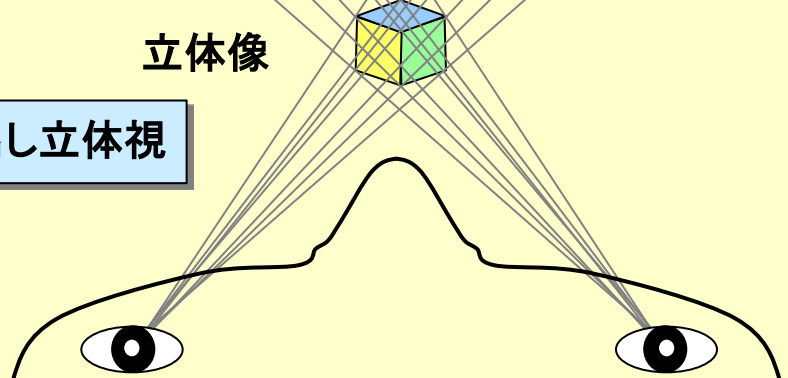
ディスプレイ面(1頂点に注目して作図)



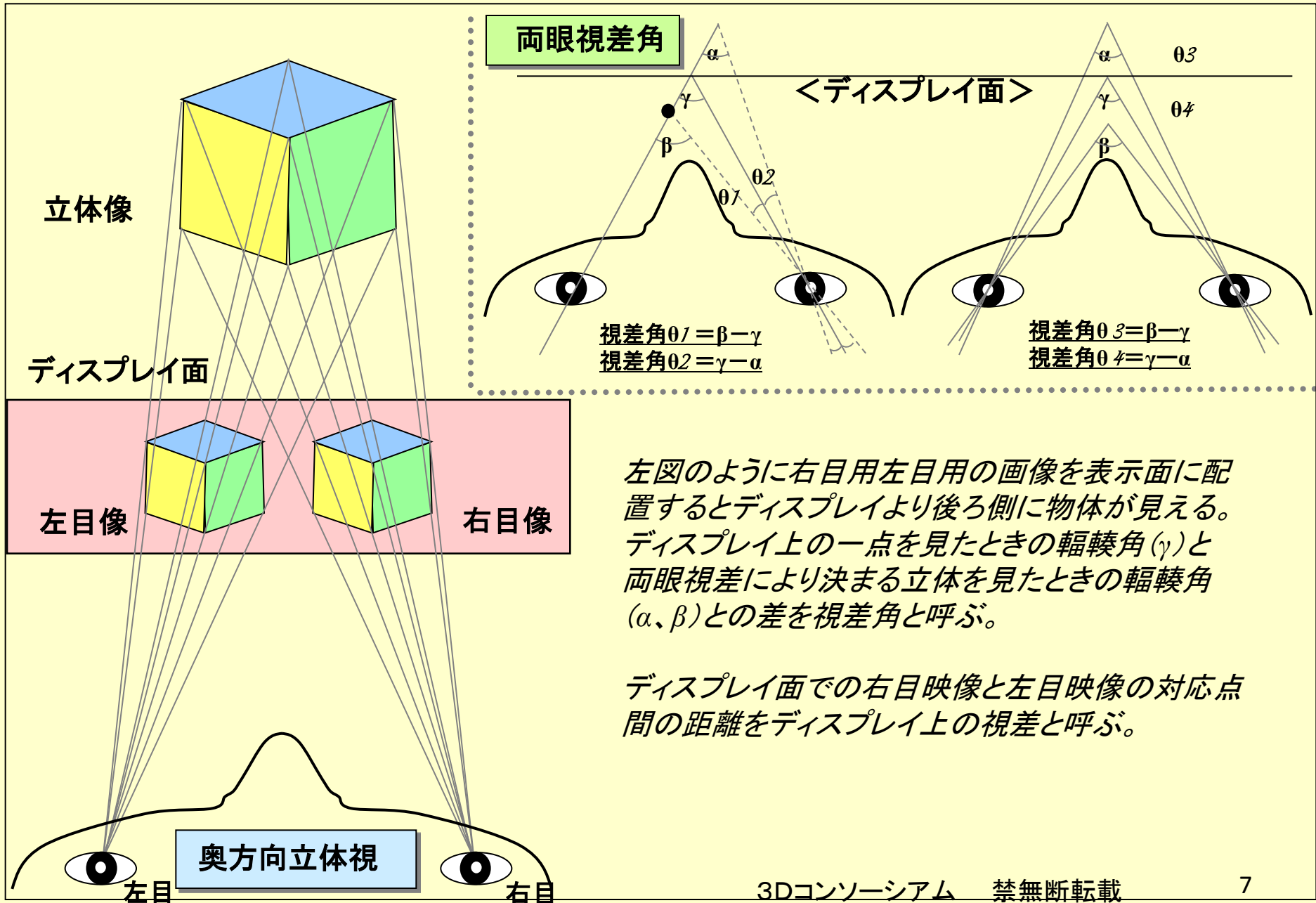
ディスプレイ面(全頂点に関して作図)



飛び出し立体視



<Note> 両眼視差を利用した3Dディスプレイ



左図のように右目用左目用の画像を表示面に配置するとディスプレイより後ろ側に物体が見える。ディスプレイ上の一点を見たときの輻輳角(γ)と両眼視差により決まる立体を見たときの輻輳角(α、β)との差を視差角と呼ぶ。

ディスプレイ面での右目映像と左目映像の対応点間の距離をディスプレイ上の視差と呼ぶ。

本ガイドラインの対象とする3Dディスプレイについて

両眼視差は強力で、この原理を使えば簡単に立体視を実現できる。市販されている立体表示装置の大半はこの原理に基づいている。また、快適に立体映像を楽しむための研究例も豊富である。

そこで本ガイドラインは両眼視差の原理を用いた3Dディスプレイに対象を絞ることにする。

現状の2Dテレビの画質と同等、又はそれ以上の品質の3Dテレビや3Dディスプレイを対象とする。

【人に優しい3Dの普及のための3DC安全ガイドラインについて】 ガイドラインの内容

GL-1～7 視聴者に周知すべきガイドライン

立体視成立の確認、逆視防止のための確認、視聴姿勢、
視聴位置、視聴時間、低年齢層への配慮、視聴者への注
意喚起

GL-8～13 コンテンツ制作者のためのガイドライン

開散方向の視差制限、快適視差範囲(その1、その2、
その3、その4)、融合限界、ディスプレイ・サイズと視差、
カメラ撮影、カメラの同期

GL-14～15 製造者のためのガイドライン

クロストーク、時分割表示方式の推奨周波数

ガイドラインの活用のための基礎知識をNoteとして記述

立体映像の快適視聴のため 視聴者に周知すべきガイドライン

製品の取り扱い説明書への記述、イベント等での事前説明、配信での事前説明等が望ましい。3Dに関わる人々に知っておいてもらいたい。

<GL-1> 立体視成立の確認

<GL-2> 逆視防止確認

<GL-3> 視聴姿勢

<GL-4> 視聴位置

<GL-5> 視聴時間

<GL-6> 低年齢層への注意

<GL-7> 視聴者への注意喚起

<Note-1> 立体視の個人差、

眼精疲労、不快感の自覚症状と計測方法及び原因

＜GL-1＞立体視成立の確認

3D(立体)映像を視聴したとき像が2重に見えたり、立体像が感じにくい場合は、直ちに使用を中止し、表示機器やソフトの設定に間違いがないか確認調整する。それでも2重像に見えたり違和感を感じる等、立体視が成立しない場合は、利用を中止すべきである。

解説

両眼視差を利用する立体機器は、利用者が右目と左目から入る視点の異なる2つの映像を脳の中で融合して始めて立体を感じさせることができる。

システムの調整に不適切(左右の光軸のズレ、左右画像のサイズの違い、色や輝度の差、上下のズレ、左右の映像の光の混合＝クロストークが大きいなど)があると左右2つの映像は融合しにくいいため2重像に見えたり違和感を感じ、眼精疲労などを引き起こす原因となることがある。

製品の取り扱い説明書をよく読んで、適切に設定し、利用すべきである。

両眼視差立体視成立には個人差、慣れがあることにも注意する。

中には立体視ができない人もいるので、販売時の配慮、製品の取り扱い説明書への記述、イベント等での事前説明、配信での事前説明等が望ましい。

＜GL-2＞逆視防止のための確認

左右の目に与えるべき映像が左右入れ替わっても利用者は意外に気づかないものである。しかし、視覚疲労や不快感の原因となるので、左右逆転がおきないような配慮が望まれる。

解説:

左右の映像が逆転すると凹凸が逆になるはずだが、映像には奥行きを表す特長が両眼視差以外にもあるので、気がつかないことが多い。ハード設定の不備、ソフトの操作ミス、データ・フォーマットの違い、データ受け渡しでの連絡ミスで左右反転映像を見てしまうことがある。

利用者はそれに気づかず使用する場合が多いので、なんらかの方法で左右の映像を正しく見ているか設置時に確認することを推奨する。

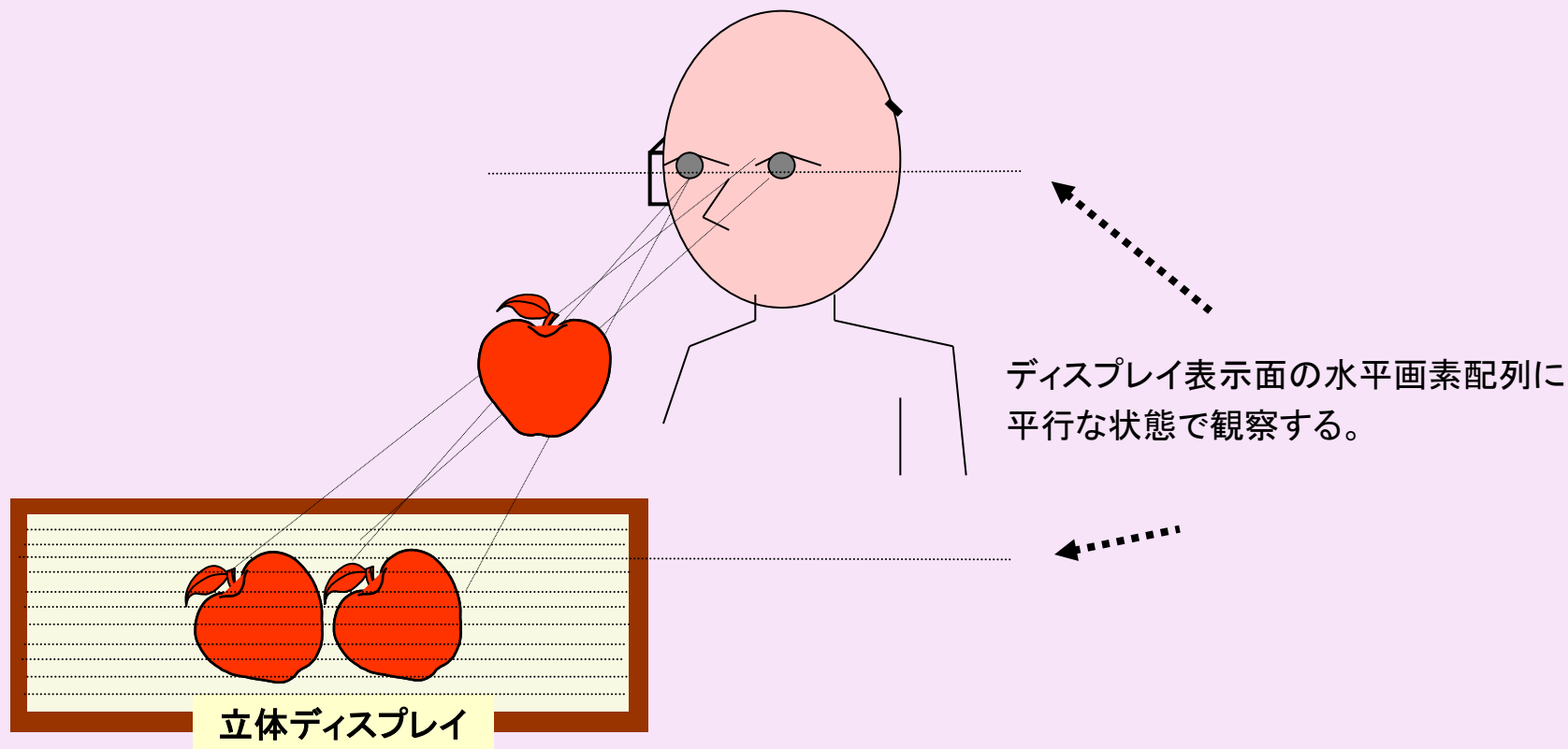
立体映像のイベントで散見されるのは、液晶シャッターメガネの同期ズレによる左右の映像の入れ替わりや、設置担当者への連絡不備による左右の映像の入れ替わりである。十分注意したい。

逆視防止のため業界にまたがる規格化が望まれる。

<GL-3> 視聴姿勢

両眼視差方式では表示面の水平方向と両目を水平にした姿勢で見るのが望ましい。

解説： 両眼が表示面に対して斜めになっていると、左右の眼に写る映像の上下の差異が大きくなり、融合困難となり、眼精疲労を引き起こす。また、直線偏光を利用した偏光メガネ方式では、傾けるとクロストークが大きくなり、眼精疲労を誘発しやすくなる。



<GL-4>視聴位置

立体映像の視聴は適正位置から行うことが望ましい。

解説

通常、立体コンテンツは画面を正面からみることを想定して作られている。さらに、ハイビジョンテレビの場合は、画面の高さの3倍の位置での位置で視聴することを前提として制作されている。それより近くで見ると視差角が大きくなり、遠くから見ると視差角が小さくなることに注意すべきである。

標準観視距離(画面の高さ(H)の3倍(3H))で見た場合の視差角を1度と設定したとき視距離を変えると視差角は、1H 3度、1.5H 2度、2H 1.5度、3H 1度、4H 0.75度、5H 0.6度、6H 0.5度となる。

イベント会場での座席設定、ホームシアタでの座席設定には注意が必要である。また、GL-5にも注意が必要である。

さらに、画面を斜め方向から見ると台形ひずみが大きくなり、適切な立体像が形成されにくくなるため、疲労や酔いの原因になる場合がある。

＜GL-5＞ 視聴時間

3D(立体)の視聴中、疲労、不快感等、異常を感じたら、使用を一旦中止する。休憩をしても疲れ、不快感が取れないときは、視聴を中止するのが望ましい。疲労、不快等の自覚症状は生体からの警告と考えるべきである。また正しい設定の視聴をしているか確認することも重要である。

VDT作業で立体映像を扱う場合にはVDTガイドラインの遵守を推奨する。

解説

眼精疲労・映像酔いなど不快感の感じ方は個人差が大きく、様々な要因が関係することから利用時間について、本ガイドラインの遵守が望まれる。

観難さや酔い等不快感を生じたときは一時的に画面から眼をそらすのも有効である。

本ガイドラインを3Dの利用者に周知させることが望ましい。例えば、3D関連機器の取扱説明書への記述や視聴前の説明が推奨される。このガイドラインは、体調をうまく伝えられないような子供では遵守困難と考えられるので大人同伴注意のもと実行することが望まれる。

VDT作業に立体映像を用いる場合は、VDTガイドラインが参考にされたい。

<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>作業に従事する者については、「一連続作業時間が1時間を超えないようにし、次の連続作業までの間に10分～15分の作業休止時間を設け、かつ、一連続作業時間内において1回～2回程度の小休止を設けること。」とされている。

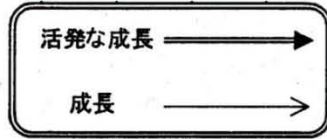
<GL-6> 低年齢層への配慮

3D機器の子供の利用では発達段階の視機能(下記参考データ)への影響を考慮したうえで、利用が必要な場合は、大人の管理のもとに視聴の可否判断、視聴時間制限をするのが望ましい。

視聴者と使用環境に係わるガイドライン試案-1

対象：視聴者と使用環境 分類：視聴者の資質
 項目：年齢(関連項目：機器開発/視聴者制限(1))

ガイドライン	基礎データベース											
	実験結果・過去の知見・参考データ・参考文献											
<ul style="list-style-type: none"> 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。 	視覚発達段階(参考文献より)											
	項目 \ 年齢	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳	7歳	8歳	9歳	10歳
	角膜	扁平化 屈折率変化	完									
	屈折値	+4D		+1D								
	眼軸長	16.5mm				23-24mm						
	字一つ視力 初回測定成功率			60%		95%						
	網膜	4ヶ月 出生時ほぼ完成	黄斑部発達		成熟							
	両眼立体 視機能	生後: 存在しない				成人 同等						
	縞視力	出生時 6ヶ月 0.02 0.2	1歳 0.3-0.4			1.0 安定						
	VEP視力	3ヶ月 0.1	チェックサイズ大で 成人同レベル				チェックサイズ小 成人同等					



＜GL-7＞ 視聴中の注意喚起

3Dの快適視聴を実現するため、視聴中に疲労や不快感を感じた時の対処法を取り扱い説明書やイベント等の事前説明で周知することが望ましい。

ライブ映像、実写映像などでは、予期せず視差量が過大になったり、動きが激しくなることがあるので特に注意が必要である。

解説:

(1) 立体視が難しくなったとき、一時的に疲労、不快を感じた時は、メガネを外し、画面から視線をそらしてもらう。視差の大きい場面、視差の急変化の場面、動きの速い場面で生じることがある。

以下は2Dでも同様だが、3Dでも効果がある。

(2) 回転、横揺れ、縦揺れを伴う映像コンテンツを 観賞する際は、自分が動いているような感覚（視覚誘導自己運動感覚）が生じることがある。それを不快と感じた場合（映像酔い）は、目を画面外に向けるなどする。

(3) 部屋を明るくして鑑賞すると、映像酔いが軽減される場合がある。

(4) 休憩をしても疲れや不快感等が取れないときは、視聴を中止するのが望ましい。

〈Note-1〉立体視の個人差、眼精疲労、不快感の自覚症状と計測方法及び原因

両眼視差を手がかりとする立体視について、見えにくい人、立体がみえてもすぐ眼精疲労を起こす人、強い視差でも疲れを感じない人など、個人差があることに注意し、不特定多数の人に見せるときにはガイドラインを遵守した注意深い対応が望まれる。

立体による眼精疲労、不快感の自覚症状と計測方法及び原因

(1) 立体観察による眼精疲労や不快感の自覚症状はつぎのようなものである。

目が疲れる、目が重い、二重に見える、目が乾く、頭が重い、頭が痛い、肩こり、肩が痛い、背中が痛い、吐き気がする、めまい、酔う等

(2) 眼精疲労や不快感に関する客観的測定法(他覚的評価)としては下記が行われているが標準化された方法は存在せず、研究途上である。以下が良く使われている。

融合限界頻度CFF、視機能(調節機能、輻輳機能)、視覚誘発電位、自律神経系(瞳孔、心電、血圧)

(3) 眼精疲労や不快感等の原因として次のものがあげられる。

見えの不自然さ、不適切な視差の設定、調節・輻輳の矛盾、映像の歪、箱庭効果、書割効果、画枠歪、垂直視差の有無、運動視差の矛盾
左右像の幾何学的ずれ(特に上下)、左右像の光学的特性の差、左右色の差
アナグリフ方式(赤青)メガネは手軽なためよくつかわれているが、左右の眼に入る色が異なり、視野闘争を生じさせるため、疲労しやすい。

本物とは異なる擬似の立体映像であることから、なんらかの違和感は避けられないが、表示装置とコンテンツの注意深い設定により、快適にみることができる。

立体映像の快適視聴のための コンテンツ制作者向けガイドライン

<GL-8> 開散方向の視差制限

<GL-9> 快適視差範囲(その1, その2, その3)

<GL-10> 融合限界

<GL-11> ディスプレイ・サイズと視差

<GL-12> カメラ撮影

<GL-13> カメラの同期

<Note-2> 子供の瞳孔間隔(両眼幅)について

<Note-3> ディスプレイサイズと視差

<Note-4> 両眼視差の調整について(その1, その2, その3, その4)

<Note-5> 立体物の位置と左右カメラ映像(視差)の関係

<Note-6> カメラ間隔と視差

<Note-7> 映像酔い防止のための参考データ(その1, その2)

<GL-8> 開散方向の視差制限

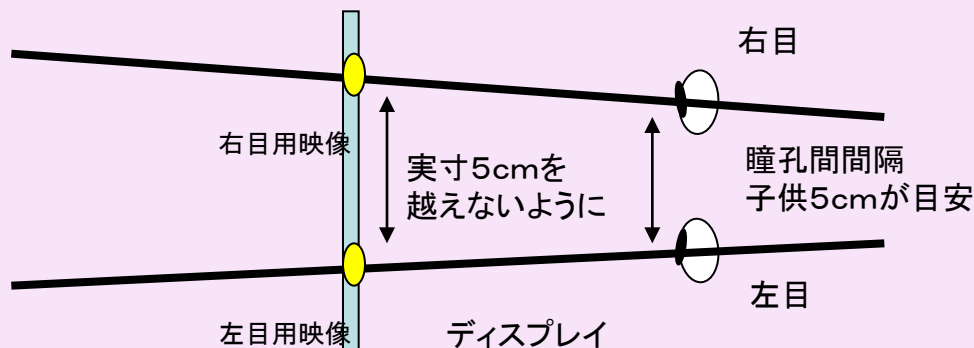
ディスプレイ後方に表示される立体映像の場合、特に視聴者が注視する映像についてディスプレイ上の視差が瞳孔間距離(子供まで考えると5cm)をこえる視差は、可能な限り避けることが望ましい。

解説: 人の目は外側には開かないので融合せず、眼精疲労を引き起こす。このガイドラインは、視聴距離に関係なく成り立つ。視差制限を超えた場合、後編集で、ボカシ処理等で影響を軽減できるがライブでは、困難な面もあるので、可能な限りという表現をした。想定サイズ以上のディスプレイに表示した場合頻繁に起こりうるので注意したい。

参考データ

ハイビジョンテレビ(16:9)インチサイズとディスプレイ上の奥行き視差限界値瞳孔間距離5cmに対応するピクセル数ただし、1920x1080解像度の場合

人の目は外側には開かないので融合せず、眼精疲労を引き起こす。



注

コンテンツの作成時に想定した画面サイズ、あるいは画面サイズの限界を算出するための視差量情報を、視聴者やハードウェアに伝えることが望ましい。画像フォーマットに該当するタグ領域がある場合は、利用することを推奨する。

サイズ	5cm相当ピクセル数
200インチ	22ピクセル
100	43
65	67
60	72
55	79
50	87
45	96
40	108

<GL-9> 快適視差範囲(その1)

解説: 両眼視差による立体視では、人はディスプレイ面とは異なるところに立体像を知覚し、眼はそこに焦点を合わせようとするが、ピントを合わせるべき画像はディスプレイ面にある。これを輻輳と調節の矛盾と言い、立体視における視覚疲労、不快感の原因の一つとされる。

そのため立体を「快適に」楽しむための奥行き(飛び出し、引っ込み)範囲、すなわち快適視差範囲が存在する。過度の視差は立体視の成立を妨害、2重像を生じさせ、視覚疲労、不快感の原因となる。

従来の研究や経験則によると視差角は1度(60分)以下が目安である。

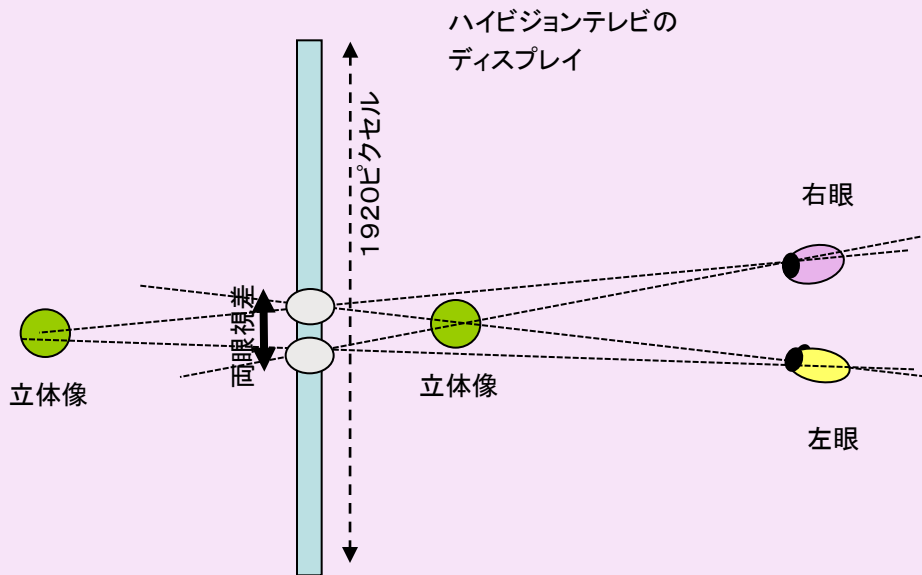
融合限界は個人差が大きい、不特定多数を対象とする場合、小さめの2度(120分)程度と考えた方が無難である。構図、時間変化等様々な要因によって許容範囲は変動するのでそれ以上を否定するものではない。

時間的、空間的に急な視差角変化(1度以上)は疲労原因となるので避けるのが望ましい。

快適範囲、融合限界を表す視差角の単位は学術論文では、輻輳角の差として度または分が用いられる。しかし、直観的な把握が難しい。次ページにハイビジョンテレビ(16:9)のディスプレイ面の視差該当ピクセル数と画面横幅に対する比(%)で示した。ハイビジョンテレビの標準観視距離3H(画面の高さHの3倍)での観察を前提とする場合には、ピクセル数で考えるのがコンテンツ制作に便利である。

視差に関する参考文献

- 1) M.Wopking: "Viewing comfort with stereoscopic pictures",
Journal of the SID, 3, 3, pp.101-103 (1995)
- 2) K.N. Ogle: "On the limits of stereoscopic vision", J. of
experimental psychology, vol.44, 253-259 (1952)
- 3) 3次元映像の基礎、泉武博監修、NHK技研編(1995)
- 4) 矢野澄男: 両眼融合可能な視差の範囲、
信学論J75-d-2,10,pp1720-1728(1991)
- 5) 長田昌次郎: 両眼式立体画像における両眼融合限界の画角及び
視距離依存特性, テレビジョン学会誌43, 3, pp.276-281 (1989)
- 6) 長田昌次郎: 両眼視融合機能に及ぼす画像条件、
信学技報 資料番号MBE91-116 (1991)



<GL-9> 快適視差範囲(その2)

解説

ハイビジョンテレビを想定した場合の快適視差範囲を以下に示す。
瞳孔間隔は6.5cm、標準観視距離(テレビの画面高さの3倍距離)での視聴を前提に作成した。この条件下では、実質的にテレビサイズ、瞳孔間距離によらないので便利である。

水平ピクセル数1920の場合

視差	ピクセル数	画面幅に対する比
0.7度(40分)	38ピクセル	1.9%
1.0度(60分)	57ピクセル	2.9%
1.5度(90分)	85ピクセル	4.4%
2.0度(120分)	113ピクセル	5.9%

↑
快適範囲

最近のハリウッド3D映画は、長時間視聴の疲労軽減と見やすさのため、画面幅に対して、奥行き方向、飛び出し方向とも概ね2%程度以下で作られているという。部分的には、それ以上の飛び出し映像を使うが、その場合は、徐々に視差を強くしていくなど時間的に急な変化を避けるのが望ましい。また、1画面内の奥行き範囲は1度以内に抑えると見やすいとの研究結果があるので参考にされたい。

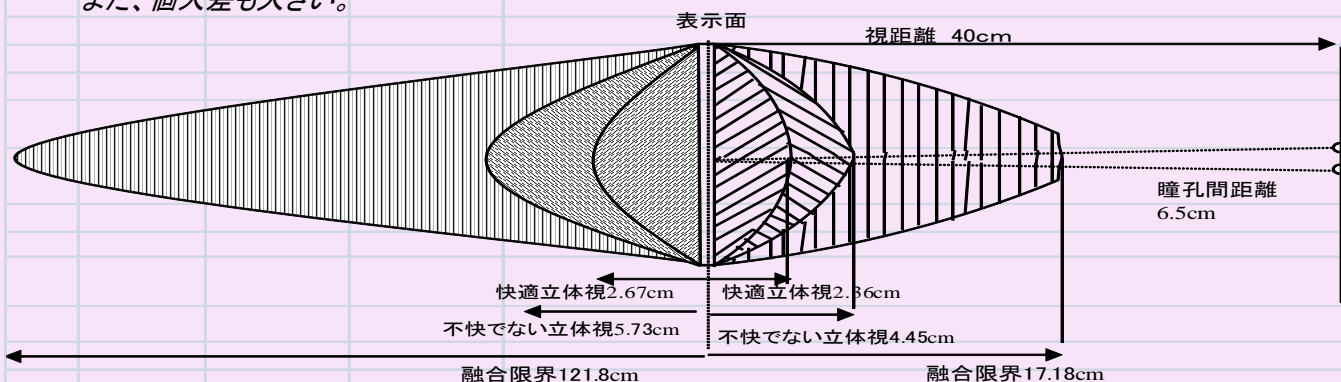
ただし、奥行き方向への視差は注意すべきである(GL-8参照)。

<GL-9> 快適視差範囲(その3)

解説: 両眼視差による立体視では、人はディスプレイ面とは異なるところに立体像を知覚し、眼はそこに焦点を合わせようとするが、ピントを合わせるべき画像はディスプレイ面にある。これを輻輳と調節の矛盾と言い、立体視における視覚疲労、不快感の原因の一つとされる。立体を「快適に」楽しむには奥行き(飛び出し、引っ込み)範囲、すなわち視差範囲に主要な物体像が配置される必要がある。過度の視差は2重像を生じさせ、視覚疲労の原因となる。融合範囲に収めることが重要である。快適範囲は60分(1度)以下が目安である。以下は、PCやモバイル系の機器を想定した場合の参考データである。融合限界はGL9(その1)の文献から集めたものである。測定条件により大きく異なるが、快適立体視範囲は限定される。

融合範囲		眼幅65mm、視距離40cmで飛び出し量を算出した結果		飛び出し量グラフ		測定値(測定法)
視差	飛び出し量 距離cm	引っ込み量 距離cm				
35分	2.35	2.67				快適な立体視
40分	2.67	3.09				明確な立体視: 主観評価
60分	3.88	4.81				融合限界
70分	4.45	5.73				不快感を生じる限界
80分	5.01	6.69				明確な立体視: 主観評価
1.5度	5.55	7.68				融合限界
2度	7.07	10.94				融合限界
3度	9.75	19.02				融合限界
4度	12.02	30.15				融合限界
6度	15.68	72.68				融合限界
7度	17.18	121.79				融合限界

融合範囲は、実験条件によって大きく異なる。
また、個人差も大きい。



上記は静止画を対象とした実験に基づいており、一瞬の飛び出し等を制限するものではない。

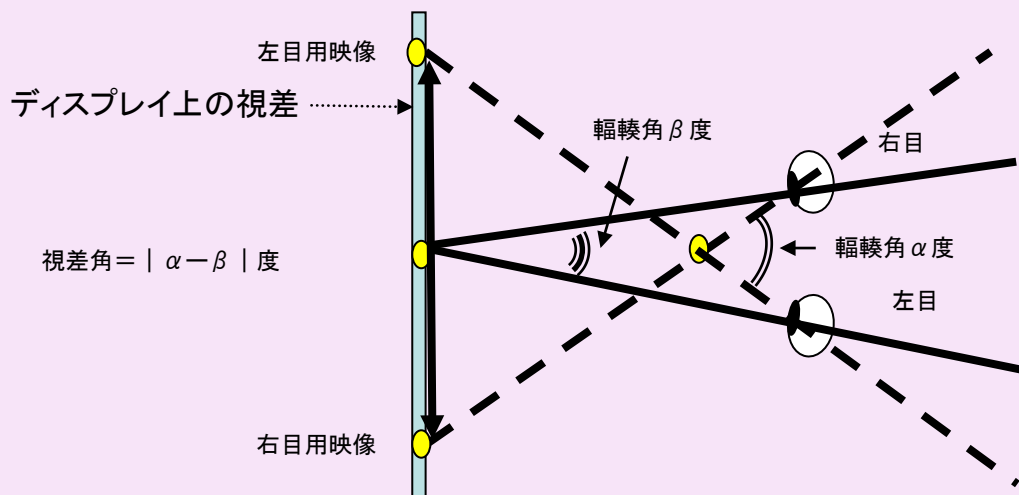
<GL-10> 融合限界

快適範囲を超えた飛び出し映像の多用や長時間提示は避けるべきだが、提示の際は視差の急な時間変化を避け、徐々に視差を増やすと疲労や2重像の発生をある程度軽減できるとされる。

解説

調節と輻輳の不一致が顕著になるため、大きい飛び出しは眼精疲労を引き起すとされる。融合限界は個人差が大きいので不特定多数の人を視聴者とする場合は、大きな飛び出しの提示頻度は必要最小限にすべきである。大きな飛び出しは立体の魅力であるが、視差の急な変化は、眼精疲労や2重像知覚の原因になるため、徐々に視差を増やすなど、眼がついていけるよう時間変化に注意して使うのが望まれる。ただし、一瞬の飛び出し効果まで制限するものではない。

飛び出し方向の融合限界は、両眼を内側によせる方向なので、個人差はあるが無理すれば大きな値ともなり得る。



融合限界は、実験条件によって大きく異なり、個人差も大きいことが知られる。

また、視野角が大きいほど融合限界が大きくなることも報告されている。

融合限界の統計データや実験条件によるちがいについては以下を参照されたい。

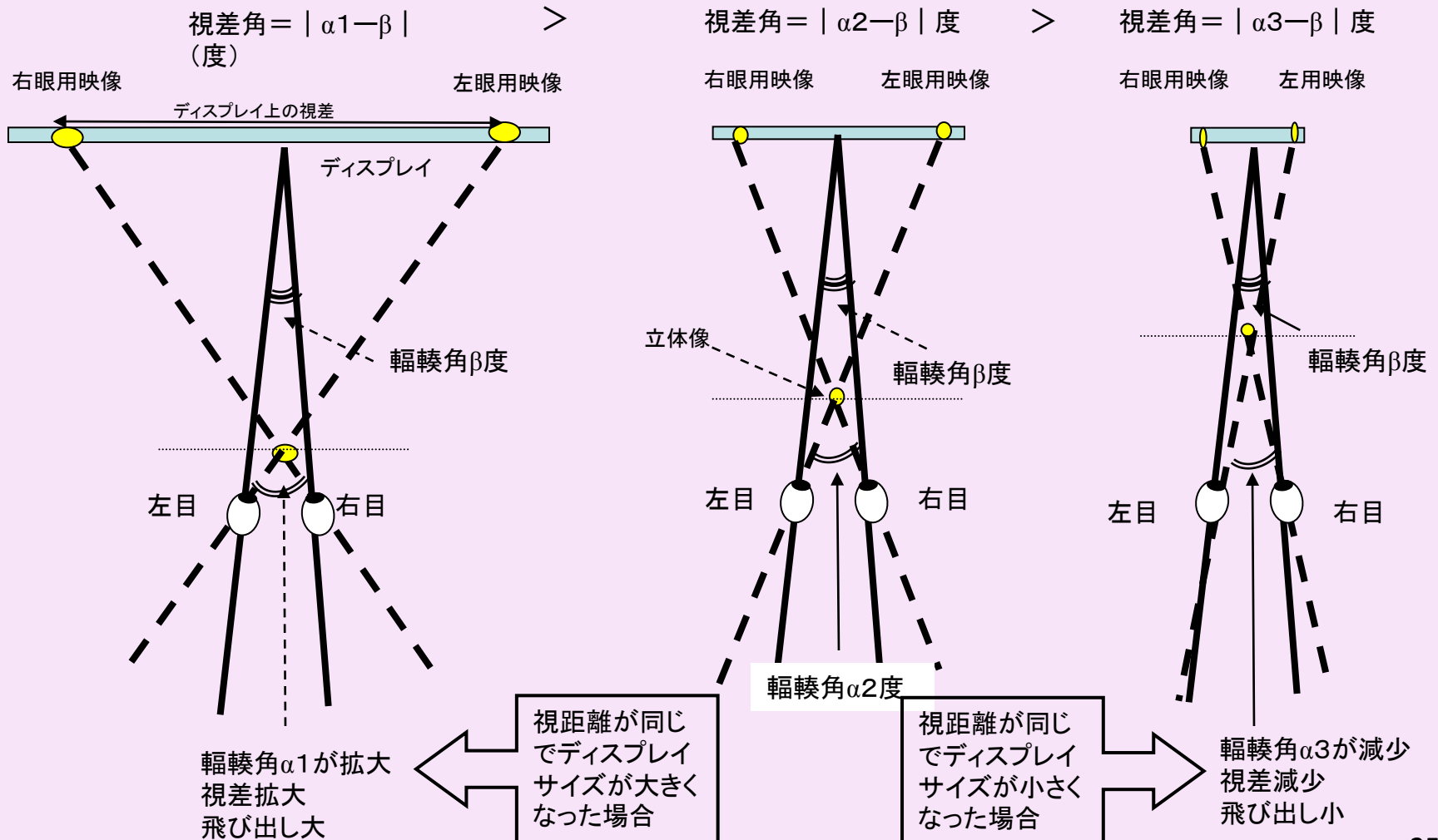
(1)長田：“立体映像の観察時における輻輳性立体視限界VFSLの分布”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.7, No.2, 2002

(2)JEITA編：“3次元映像に関するガイドライン試案”、P94, 1999

<GL-11> ディスプレイサイズと視差

コンテンツ作成時には、立体表示するディスプレイのサイズと視距離を念頭に融合限界を考えながらディスプレイ上の視差量を設定するのが望ましい。

解説: ディスプレイ上の左右距離差で飛び出し量が決まるので視距離が一定ならば表示サイズが大きくなるほど飛び出しが大きくなり、融合限界を超える恐れがあるので注意する。想定より小さなディスプレイに表示するときは視差が小さくなるので問題はない。GL-8注参照。



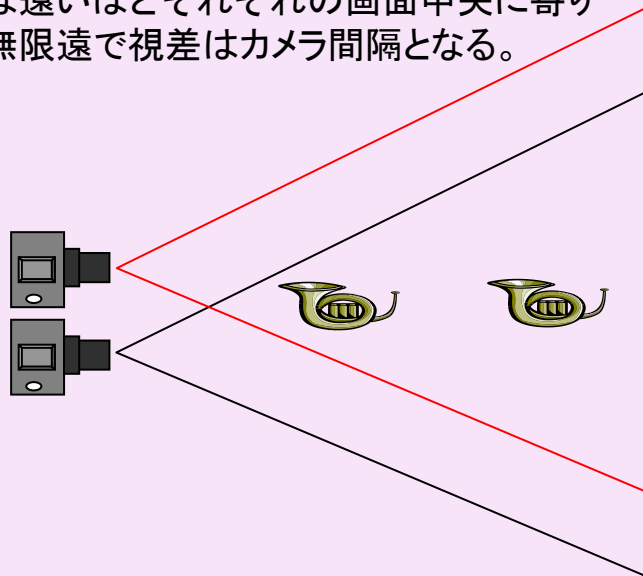
<GL-12>カメラ撮影

2つのカメラで左右映像を撮る場合、そのカメラの特性は可能な限り、同じでなければならない。また、それぞれのカメラは、ズーム、フォーカス操作の場合を含めて、特に光軸のずれ、画像の大きさのズレのないようにしなければならない。

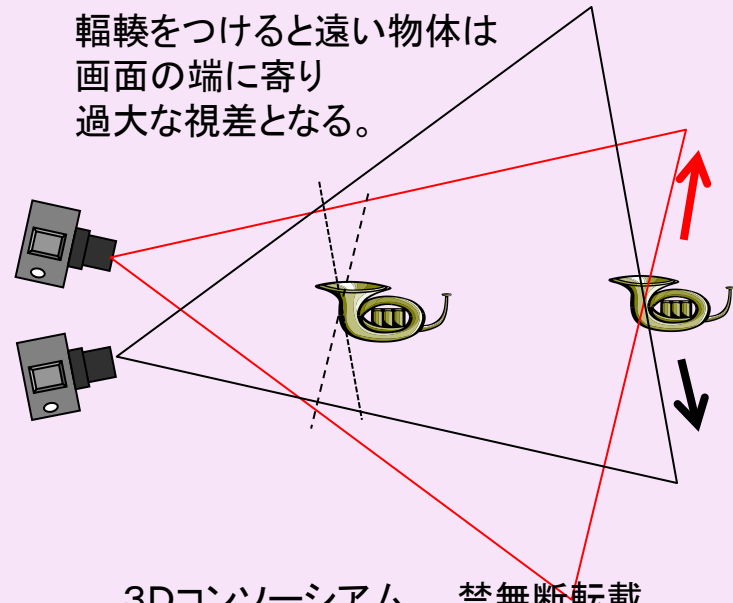
解説 プロ用の市販のカメラでは問題がないと思われるが、手軽に2つのカメラを利用して立体撮影を行いたいというニーズはある。この場合、2つのカメラは、可能な限り、同じ特性のものを使い、視差以外の左右カメラ撮影映像の差異(左右像の上下ずれ、左右像の大きさのずれ、左右像の回転ずれ、左右像の光学的特性の差、左右色の差)をできるだけ小さくしなければならない。また、人間の目は、左右画像の縦ずれに対して敏感で、わずかなズレでも眼精疲労の原因になる。そのため、上下の光軸を可能な限り平行に調整する必要がある。わずかなズレは、後処理で修正可能であるが、できるだけ正確な設定が望まれる。

カメラの設置には平行法と輻輳をつける方法がある。カメラに輻輳をつける場合は、後方の物体の視差が過大になるので注意を要する。

平行法では左右カメラの中央にある物体は遠いほどそれぞれの画面中央に寄り無限遠で視差はカメラ間隔となる。



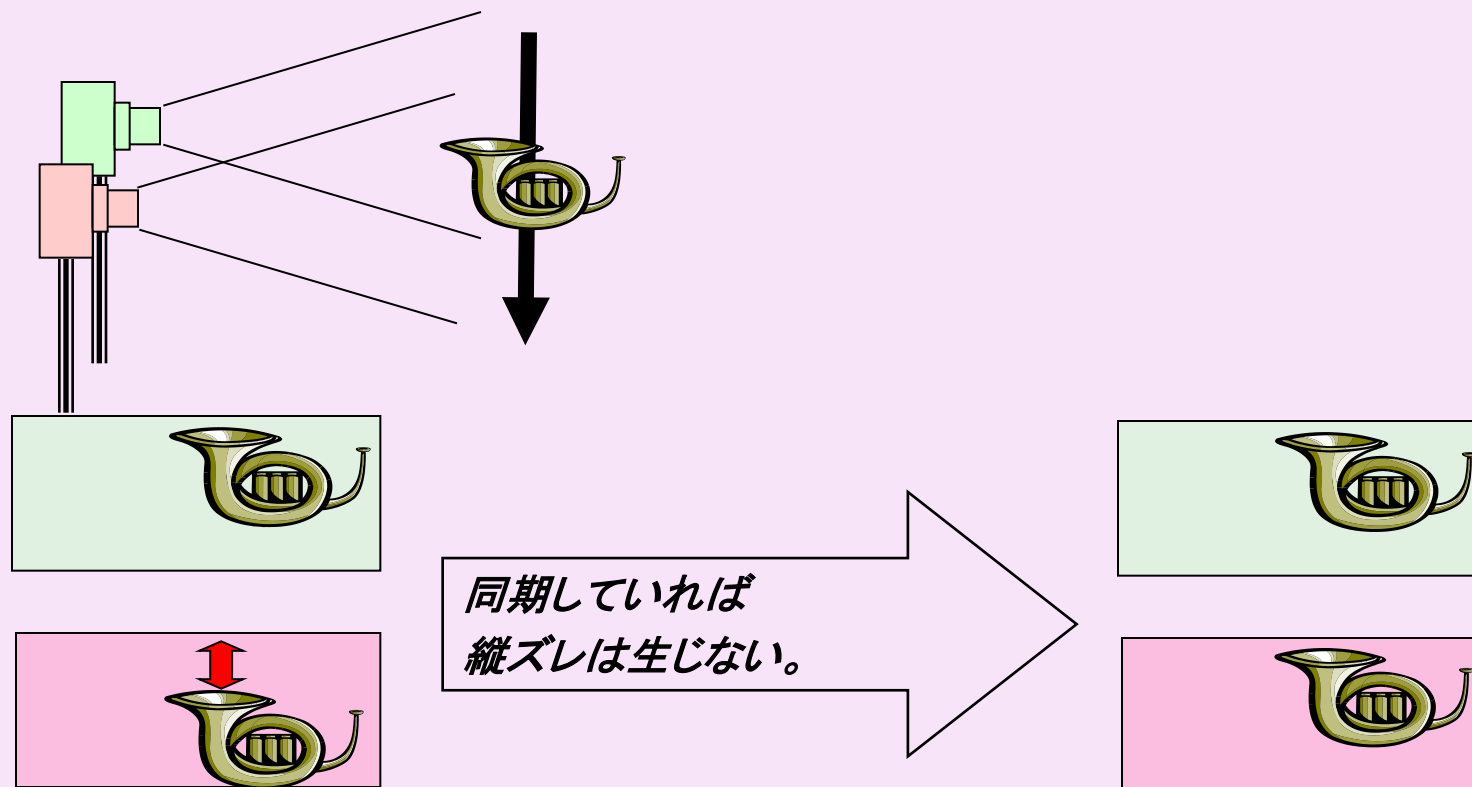
輻輳をつけると遠い物体は画面の端に寄り過大な視差となる。



<GL-13>カメラの同期

複数のカメラで動画立体映像を撮る場合、カメラを同期させて撮影する必要がある。

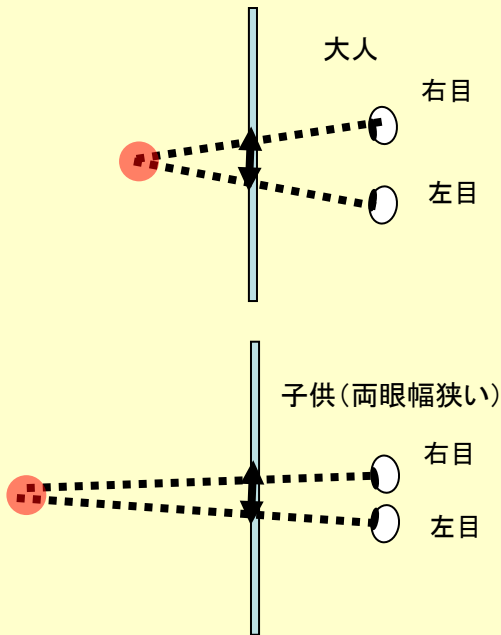
解説:人間の目は、左右画像の縦ずれに対して非常に敏感で、わずかなずれでも眼精疲労の原因になる。被写体が上下方向に動いている場合、撮影のタイミングが異なると左右の映像に縦方向のズレが生じてしまう。左右方向に動いている物体を撮影した場合でも、視差に誤差が生じたり、被写体の形状が変化して融合が妨げられ疲労の原因になることがある。



<Note-2>子供の瞳孔間間隔(両眼幅)について

ディスプレイの後方に表示する場合は、ディスプレイ上で両眼瞳孔間間隔を超える視差がつくことは可能な限り避けるべきである。両眼は左右には開かないからである。
また、立体の飛び出し感、奥行き感は視差の調整で制御できるが、同じ視差でも瞳孔間間隔(左右両眼幅)の狭い人(子供)は立体感を強く感じるので注意が必要である。

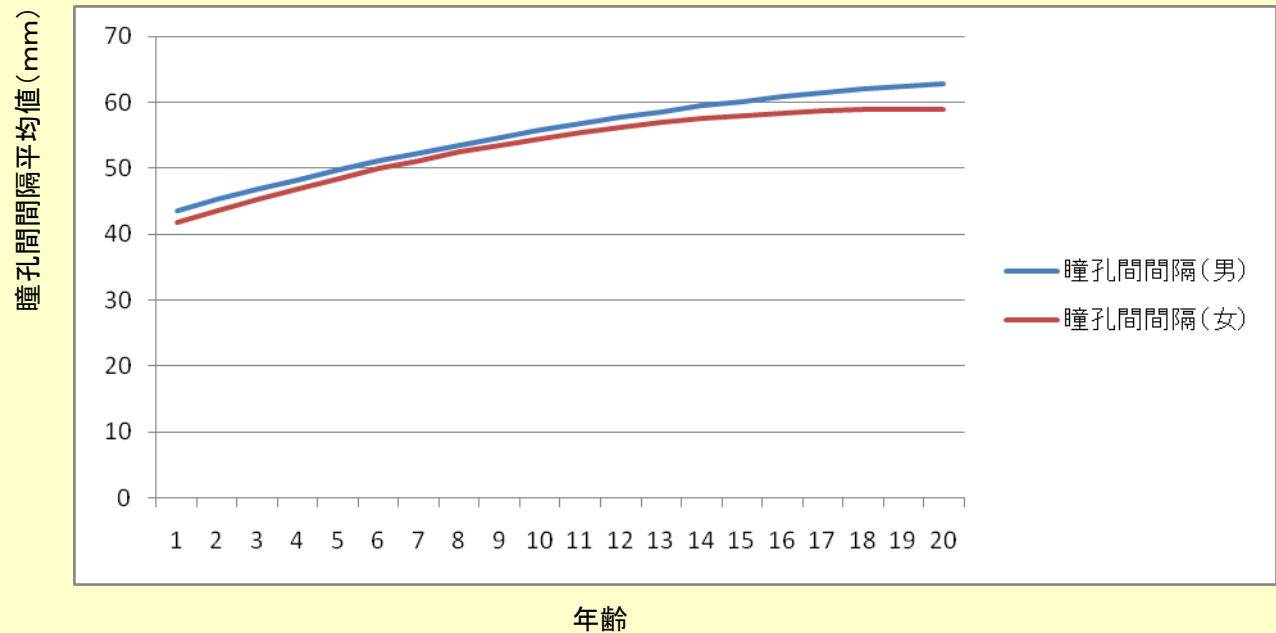
両眼幅の狭い子供では
立体感が強くなるので注意



瞳孔間間隔に関する基礎データ(生後1ヶ月から、19歳まで、1311名で調べた結果)

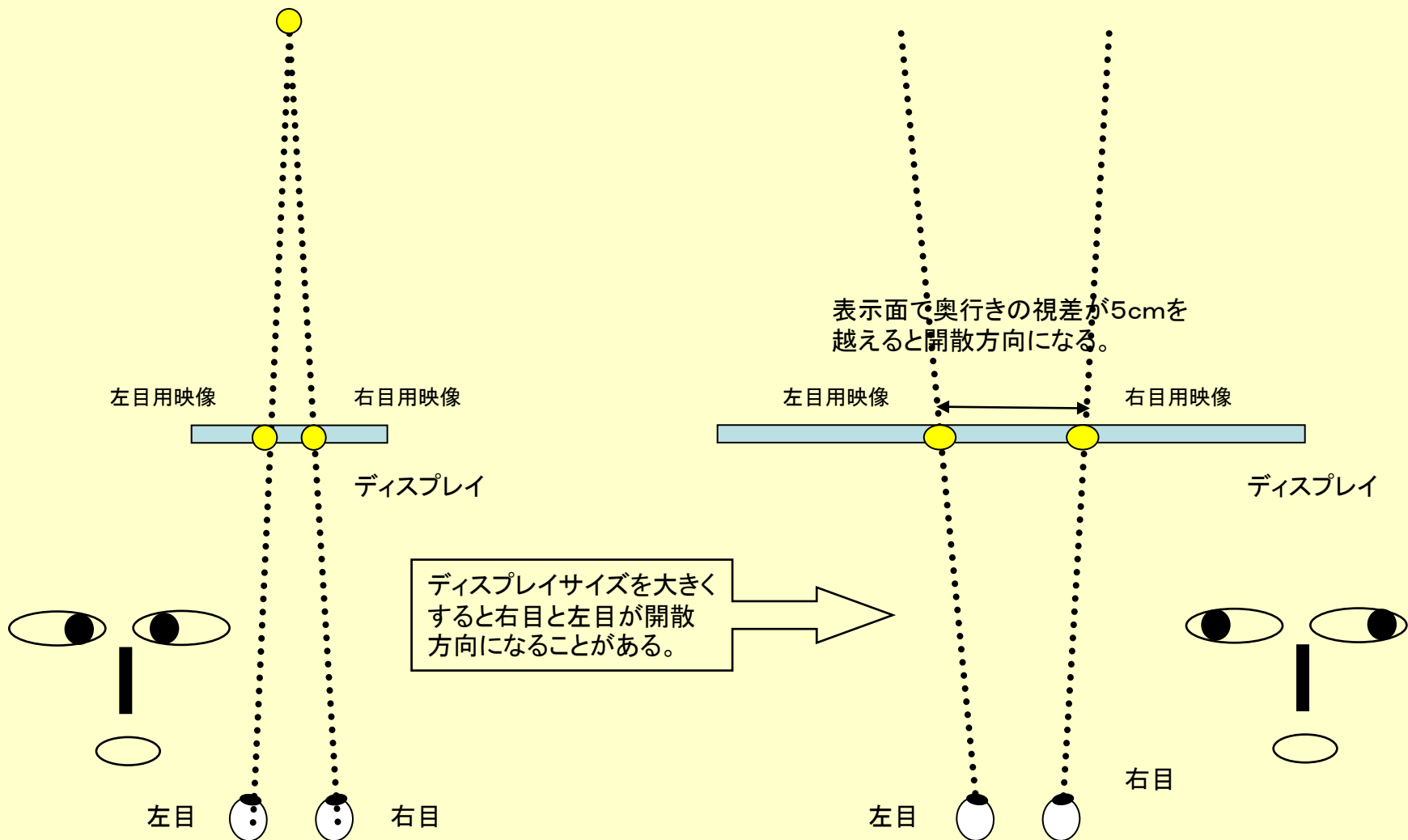
Colleen MacLachlan and Howard C. Howland; "Normal values and standard deviations for pupil diameter and interpupillary distance in subjects aged 1 month to 19 years", Ophthal. Physiol. Opt. 2002 22: 175-182

瞳孔間間隔は6歳で5cm程度である。本ガイドラインでは、安全を考慮し、子供の代表値とすることにする。



<Note-3> ディスプレイサイズと視差

ディスプレイ面から奥行き方向へ表示の場合、想定したサイズより大きなディスプレイに表示すると限界値5cmを越え、右目と左目が開散方向となる恐れがあるので十分な注意が必要である。これは視距離に関らず成り立つ。



〈Note-4〉両眼視差の調整について(その1)

視差を大きくすると飛び出し量や引っ込み量が大きくなり、利用者に驚きを与えることができるが、実際は融合限界というものがあり、視差をある程度以上に大きくすると、右目と左目の画像が融合せず、2重像がみえてしまい、立体視はできなくなる。

制作側は、驚き感を演出するため、両眼視差を大きくする傾向があるが、大きな視差の長時間提示は避けるのが望ましい。

また、ディスプレイの後方に表示する場合は、ディスプレイ上で両眼瞳孔間隔を超える視差がつくことは可能な限り避けるべきである。両眼は左右には開かないからである。表示するディスプレイの最大サイズを想定して両眼視差を設定する必要がある。

両眼視差による立体視の得意の人、苦手な人、できない人が現実存在する。また、長時間見ても平気な人、慣れる人、すぐに疲れてしまう人もいる。視差が大きいほど、この傾向は強くなる。

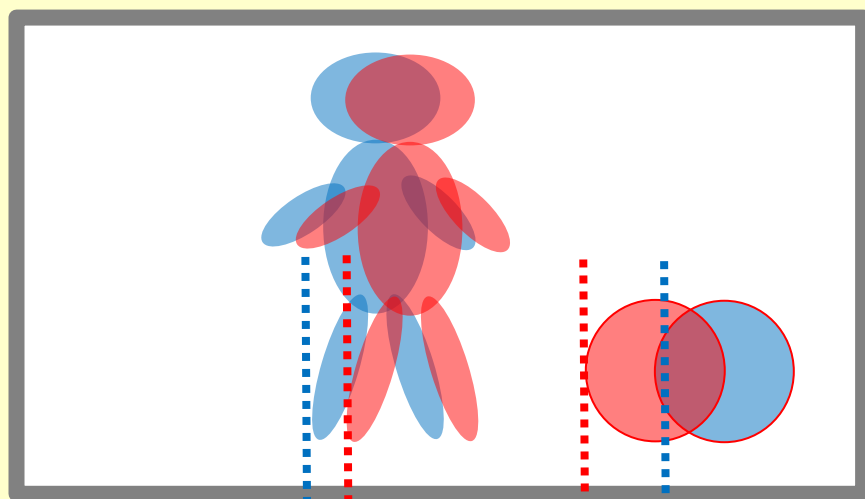
視差許容範囲には慣れがあるとされるので、制作者以外の人に視聴してもらうのが有効である。

<Note-4> 両眼視差の調整について(その2)

メガネ式3Dテレビでは、メガネを外して見ると左右の眼に対する映像が重なって見えるため視差の大きさを画面上で確認でき便利である。

視差の大きさは、視差/画面幅×100%で評価可能
ハイビジョンテレビの場合はピクセル数で評価可能

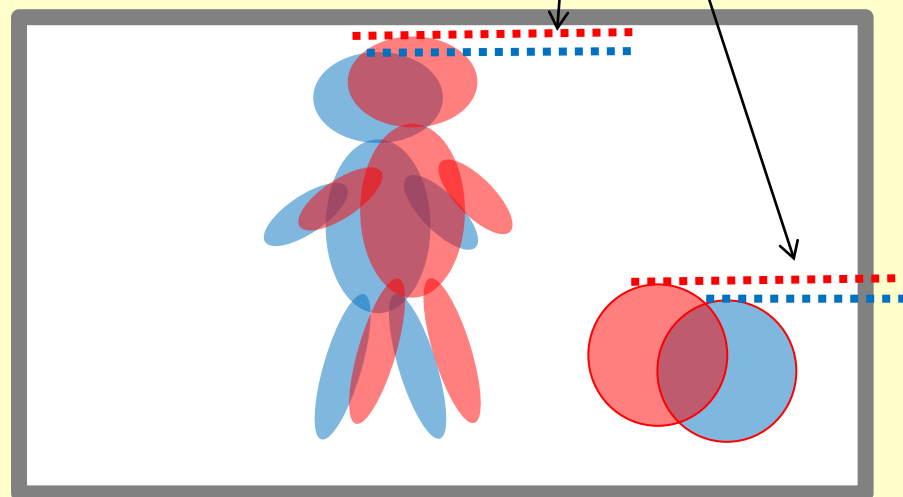
画面幅(W)
←-----→



視差1

視差2

縦ずれを見つけたら
可能な限りゼロに修正



<Note-4> 両眼視差の調整について(その3)

飛び出し映像の場合 のディスプレイ上の視差(S)の計算

$$S = IPD + 2 * x$$

$$= 2 * (IPD + x) - IPD$$

$$= 2 * L * \tan(\beta/2) - IPD$$

$$= 2 * L * (\tan(\beta/2) - \tan(\alpha/2))$$

$$= 2 * L * (1 + \tan(\beta/2) * \tan(\alpha/2)) * \tan(\theta/2)$$

$$\approx 2 * L * \tan(\theta/2) \quad (\text{通常は視距離}L\text{に比べて瞳孔間距離が小さいので} \tan(\beta/2) * \tan(\alpha/2) \ll 1)$$

視差としてこれを使っても大きな齟齬はない

α ディスプレイ中心への輻輳角

β 立体像に対する輻輳角

θ 視差角

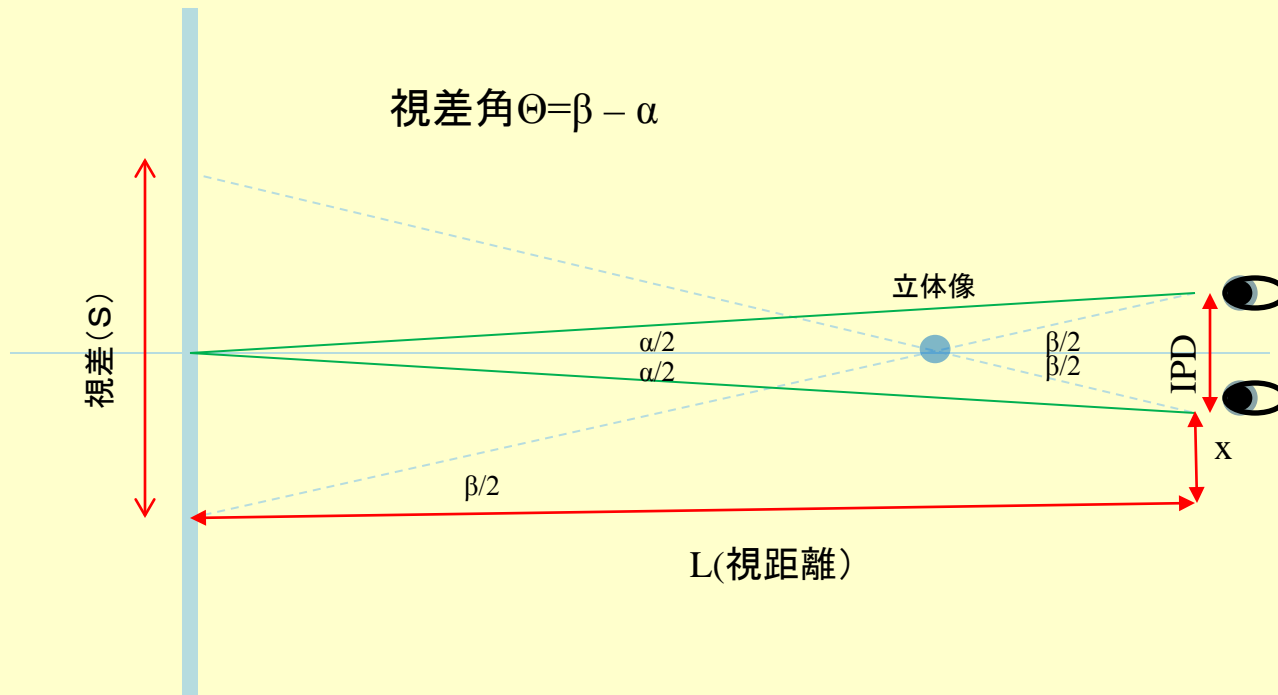
IPD 瞳孔間距離

L 視距離

$$IPD + x = L * \tan(\beta/2)$$

$$\beta = \alpha + \theta$$

$$IPD = 2 * L * \tan(\alpha/2)$$



<Note-4> 両眼視差の調整について(その4)

立体像がディスプレイの後方にある場合の視差の計算
(図の分かりやすさのため瞳孔間間隔を前頁より拡大して記述)

ディスプレイ上の視差

$$= \text{IPD} - 2 * x$$

$$= \text{IPD} - 2 * L * \tan(\beta/2)$$

$$= 2 * L * (\tan(\alpha/2) - \tan(\beta/2))$$

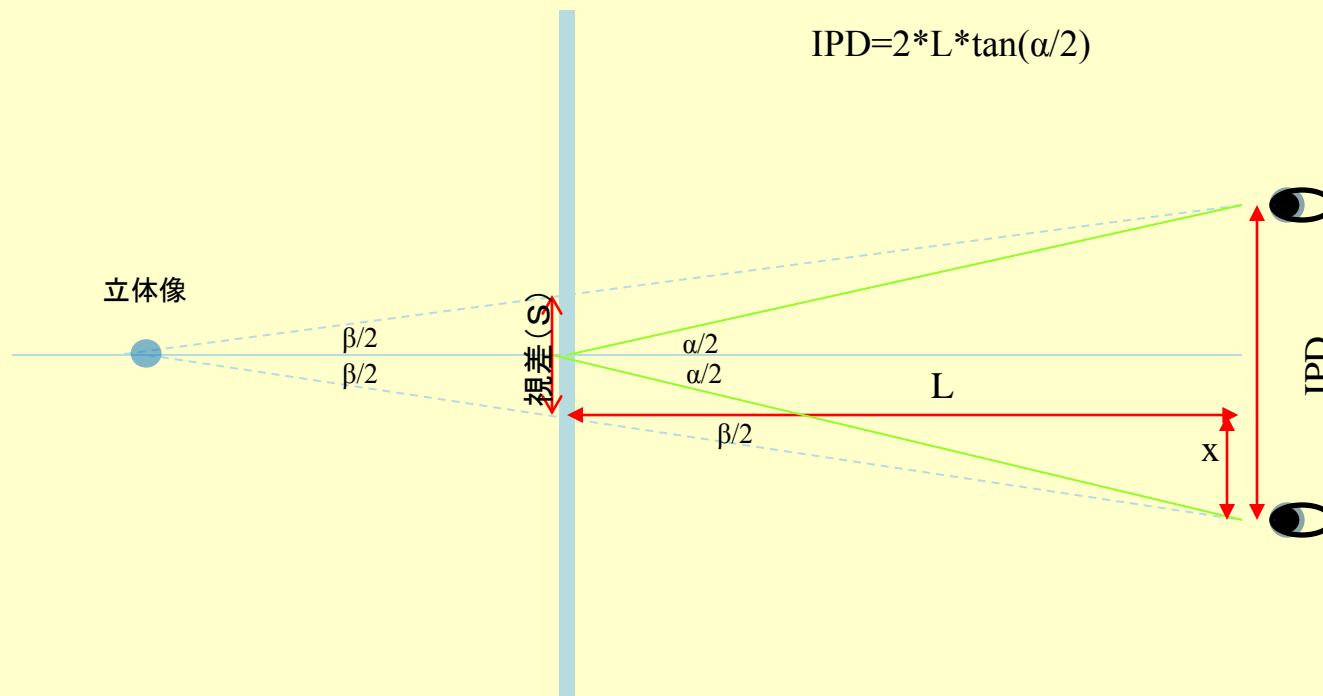
$$\doteq 2 * L * \tan(\theta/2)$$

視差としてこれを使っても大きな齟齬はない

$$x = L * \tan(\beta/2)$$

$$\beta = \alpha - \theta$$

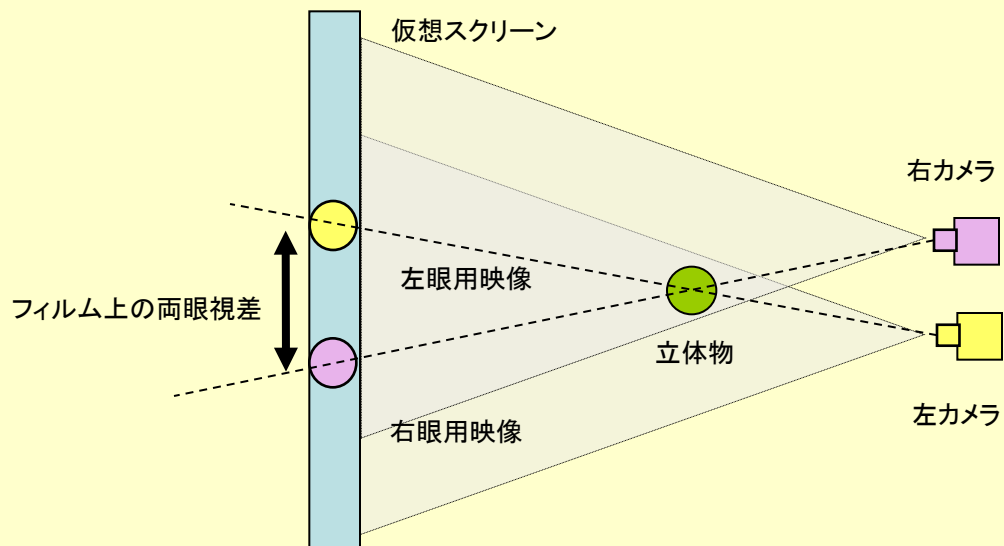
$$\text{視差角} \theta = \alpha - \beta$$



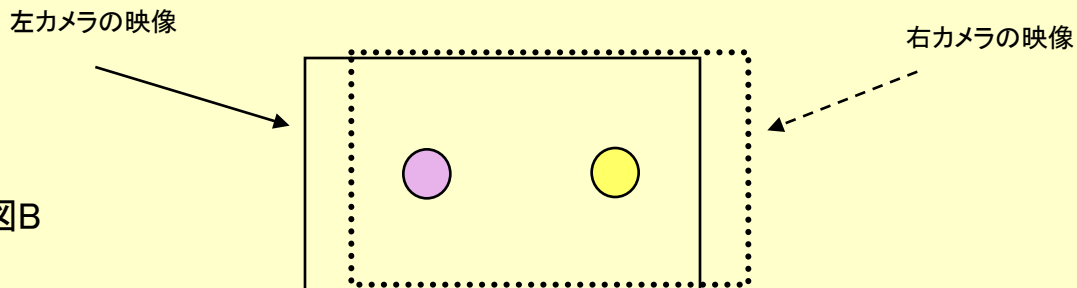
<Note-5> 立体物の位置と左右カメラ映像(視差)の関係

立体映像撮影のためカメラを2台使うことがある。左右のカメラを一定の間隔を広げ図のように設置し、撮影すると図Bのような画像が得られる。左右画像の共通部分を重ねたとき、立体物の像が水平方向にずれているのがわかる。これが両眼視差の一つである。

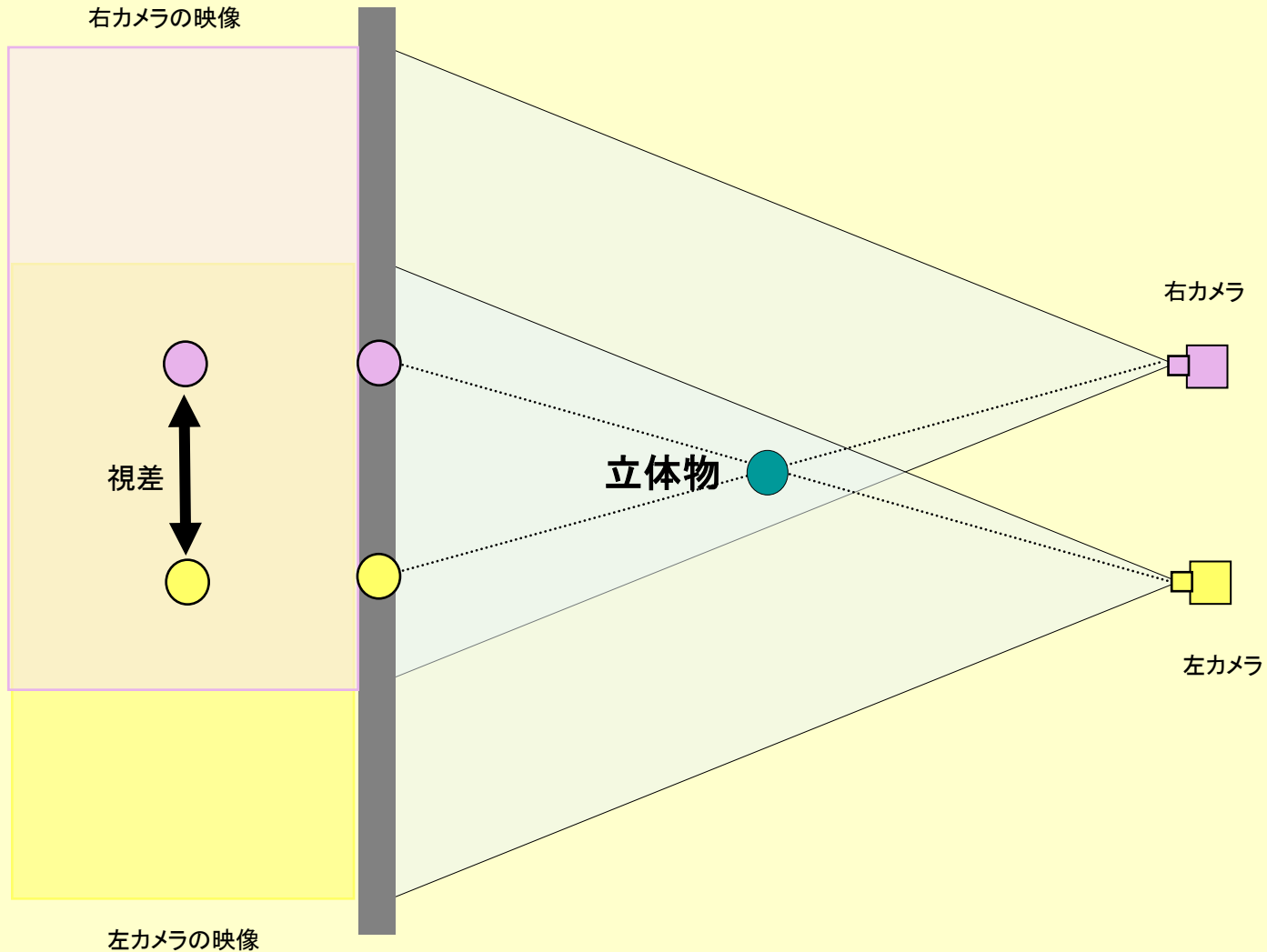
図A



図B



<Note-6>カメラ間隔と視差 カメラ間隔を狭めると視差は小さくなる。



<Note-7>映像酔い防止のための参考データ(その1)

解説

- (1) 2D映像でも同様であるが、立体映像を視聴中に乗り物酔いのような不快感を訴える人がいる。3Dあるいは立体酔いと呼ばれるものである。立体映像に関する直接の実験結果は、まだ、見当たらないが、映像酔いに関する2D映像の研究データを参照し、映像酔い防止のため、参考にされたい。
- (2) 水平の見込み角30度は、ハイビジョンテレビの標準観視距離(テレビ画面の高さの3倍から視聴[※])に相当する。

家庭では、それより近距離でテレビをみることもあるので回転、横揺れ、縦揺れを伴う映像コンテンツを観賞する際は、自分が動いているような感覚(視覚誘導自己運動感覚)が生じ、それに不快感を感じる場合がある。

※ハイビジョンテレビの標準観視距離は、画面サイズに応じて以下のようなになるので参考にされたい。

32インチ ⇒ 約120cm、 37インチ ⇒ 約140cm、 46インチ ⇒ 約170cm、

52インチ ⇒ 約190cm、 65インチ ⇒ 約240cm

- (3) 回転、横揺れ、縦揺れとともに概ね30~60度/秒の動きが映像酔いを起こしやすいとされているので、このような動きを連続してみることは避けるのが無難である。

例: 6~12秒で一回転する速度で画面全体が回る映像

標準観視距離の場合、0.5~1秒で画面を横切るような映像

参考文献

氏家: 標準化ジャーナル、Vol.35, p6-8(2005)

H.Ujike, T.Yokoi, S.Saida: Proc.26th Annual Int. Conf. IEEE EMBS, p2399-2402(2004)

(2Dに関する研究データの要約は、次ページNote17参照)

<Note-7>映像酔いに関する学術データ(その2)

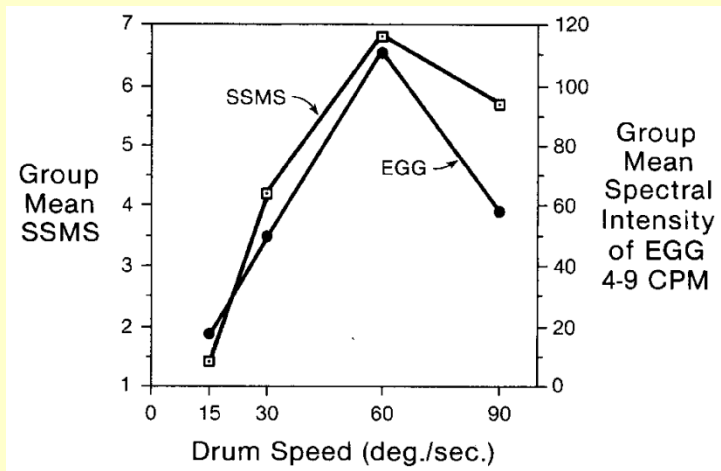
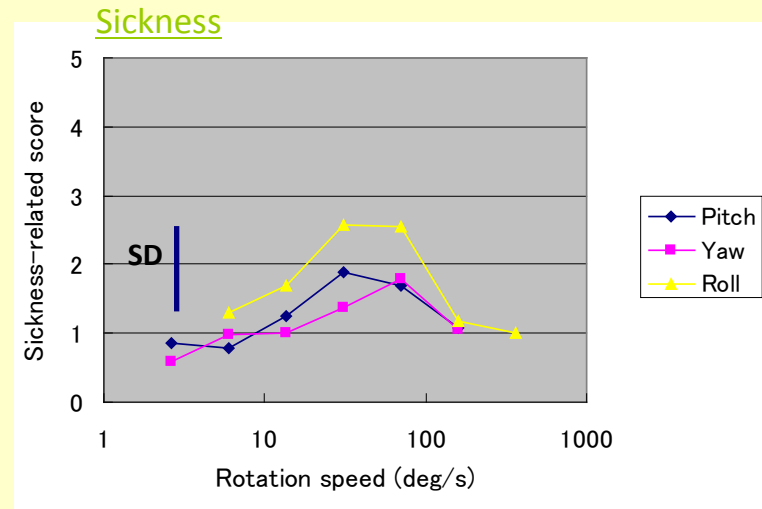


Fig. 1. The effects of four drum rotation speeds on subjective symptoms of motion sickness (SSMS) and on tachygastric power expressed as spectral intensity of EGG activity at 4-9 cpm.

Hu et al.(1989) は、回転ドラムにより視覚的に与えられるYaw運動で、60 deg/sの速度で最も影響があることを報告。



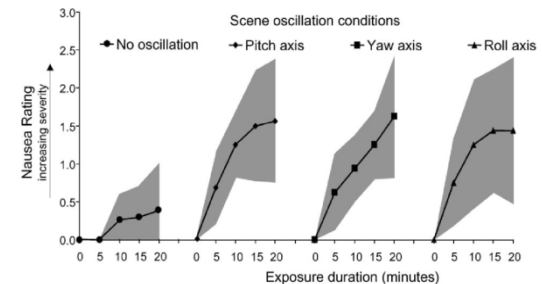
Hu S, Stern RM, Vasey MW, Koch KL: Motion sickness and gastric myoelectric activity as a function of speed of rotation of a circularvection drum. Aviat Space Environ Med, 60(5), 411-414 (1989).

CGによるシーンを、振幅60度、速度30deg/sで振動させると、時間とともに、不快度の主観評価スコアが増加する。

ピッチ、ヨー、ロールのいずれの軸に対する回転も、基本的には、同程度の映像酔いを引き起こした。



Fig. 1. Sample scenes of what the participants saw on the head-mounted display during scene oscillations in the roll axis. The virtual environ contains some buildings, a train station, tracks, cables, and bridges.



Lo WT, So RHY: Cybersickness in the presence of scene rotational movements along different axes. Applied Ergonomics, 32(1), 1-14 (2001).

Copyright © 2001 by Taylor & Francis Ltd. All rights reserved. This article is intended solely for the personal use of the individual user and is not to be disseminated broadly. No part of this article may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from Taylor & Francis Ltd.

立体映像の快適視聴のための 製造者向けガイドライン

＜GL-14＞クロストーク

＜GL-15＞時分割立体方式の推奨周波数

<GL-14>クロストーク

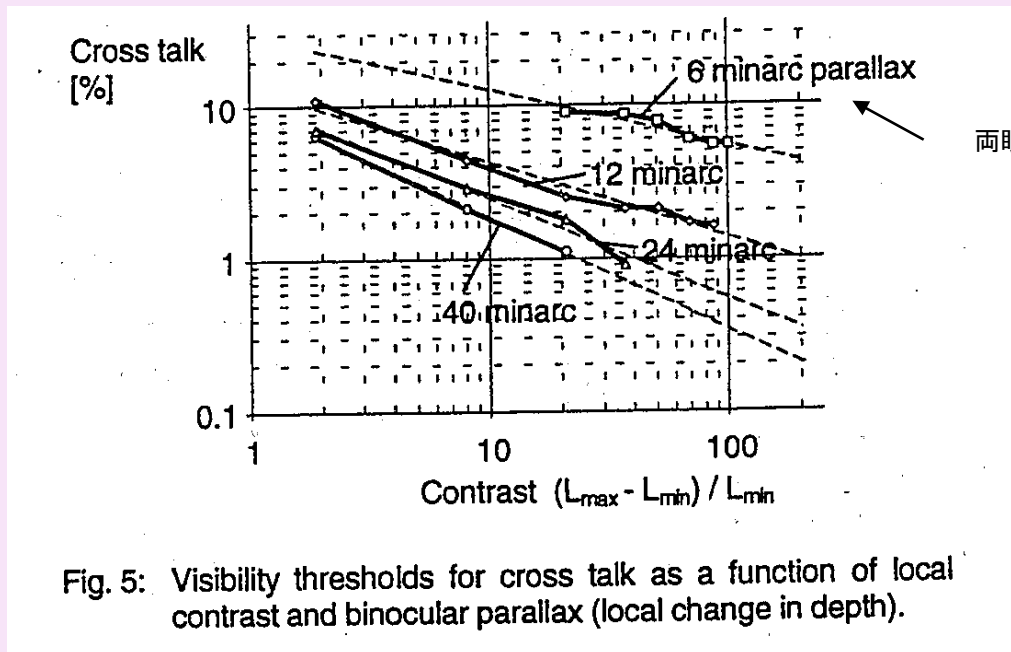
両眼視差を利用した立体表示装置では左右画像のクロストークができるだけ小さい装置の開発を推奨する。

クロストーク: 右眼用の映像が左眼に、左眼用の映像が右眼にもれる割合(%)

解説: クロストークが大きいとコントラストが高い場合2重像が見え、眼精疲労が引き起こされる。

小さいと快適な立体視が可能となり視差量も大きくとることが可能となる。

3Dディスプレイを導入するときの重要な評価要素となる。



両眼視差の単位 = minarc = 分 = 1/60度

左図はドイツHHI研究所による実験結果で、クロストークの大きさ(縦軸)と2重像が感じられるコントラストの限界値及び視差の限界値が示されている。快適な3Dを得るためにはクロストークの小さなディスプレイを選ぶ必要があることが分かる。

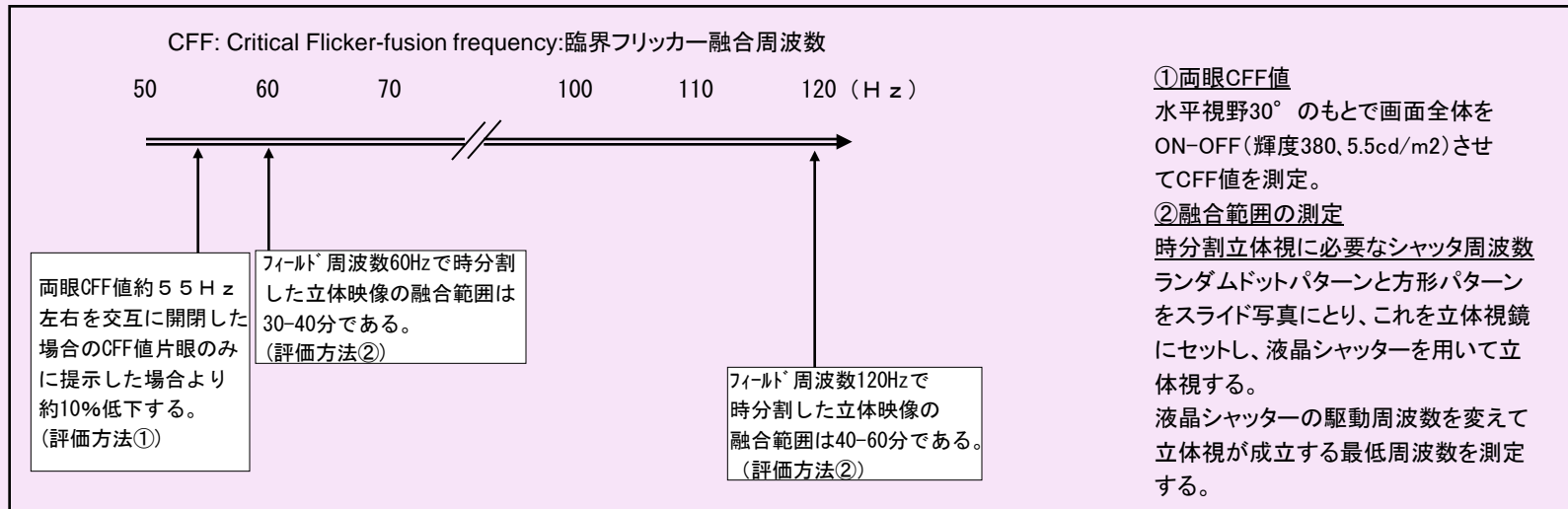
S. Pastoor, "Human factors of 3D images: Results of recent research at Heinrich-Hertz-Institut Berlin, Proceeding of IDW'95 3D-7, pp69-72(1995)

<GL-15>時分割立体方式推奨周波数

液晶シャッターメガネ方式の3D装置では切り替え周波数が低いとチラツキを感じ、光感受性発作や融合限界を低下させる可能性がある。チラツキの感じ方については個人差が大きく、周囲の環境の影響を受けるが、できるだけ高い切り替え周波数を推奨する。

解説: チラツキは、場合によっては光感受性発作を誘引する可能性が考えられるので特に注意が必要である。切り替え周波数が充分高ければ、チラツキは感じられなくなるが、メガネの開閉だけでなく、メガネの開閉とインバータ無しの蛍光灯などとの干渉もあり注意が必要である。また、明るい画面ほどチラツキは感じやすいことが知られる。

下記データはJEITAガイドラインより抜粋



謝辞

本ガイドラインは、以下の研究成果を策定の基盤として使わせて頂きました。
それらの調査研究開発事業を長期にわたり支援して頂いた経済産業省、(財)JKA、(財)機械システム振興協会、(社)電子情報技術産業協会(JEITA)、総務省及び関連団体に深く感謝申し上げます。

- ① (財)機械システム振興協会委託事業(1996～2002年)
(社)電子情報技術産業協会「3次元映像の生体影響総合評価システムの開発に関するフィジビリティ」報告書、3次元映像に関するガイドライン試案(1999)、コンテンツ制作支援DB(2001)
- ② 経済産業省基準認証事業(2003～2005年)報告書
(独)産業技術総合研究所「映像の生体安全性評価の標準化研究」、ISO IWA3(2005)
- ③ 総務省研究開発委託(2003～2005年)報告書
東京大学、NHK、日立、東芝、シャープ、「映像が生体に与える悪影響を防止する技術」
- ④ (財)JKA & (財)機械システム振興協会委託事業(2006～2008年)
(社)電子情報技術産業協会「映像酔いガイドライン検証システムの開発に関するフィジビリティ」他
- ⑤ 経済産業省「低炭素革命に向けた日米国際共同協力事業 省エネルギー基盤技術国際標準化研究」
快適3D基盤研究推進プロジェクト (2009～)
3DC安全ガイドライン2010改訂案、3D生体影響文献抄録集
NPO法人映像評価機構、株式会社 ユースタッフ

2010年4月
3Dコンソーシアム
安全ガイドライン部会