

レンチキュラー方式3Dディスプレイ
立体視領域における奥行再現性を検証する

元日本工業大学 元凸版印刷株式会社

山田 千彦

はじめに

過去

1903 Parallax Stereogram **メガネなしで立体視**
1918 Parallax Panoramagram
1960 国内最初のレンチキュラー方式ステレオ印刷製品

現代

アナログ から デジタル 時代 技術進歩
商品化 → 個人向け → 市場拡大
メガネなしで立体視出来る製品 → 市場の認識、拡大に貢献！

基礎技術に課題が残っている

→→

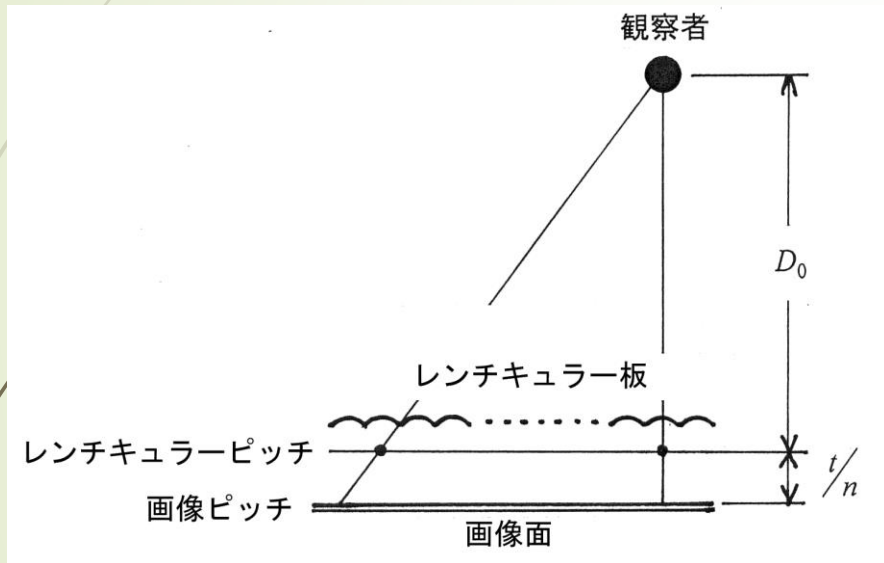
検証する

未来

立体TV放送の開始

メガネなしで立体視出来る

画像のピッチとレンチキュラー板のピッチ

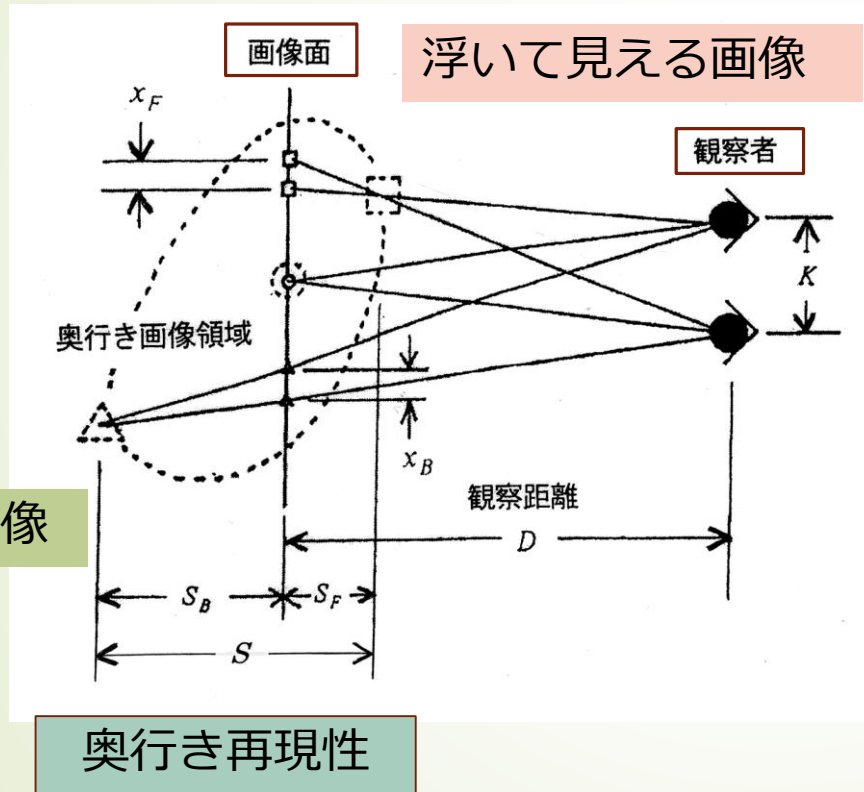


$$p_P = \left(1 + \frac{t}{D} \right) p \quad \Rightarrow \quad D = \frac{p}{p_P - p} \cdot \frac{t}{n}$$

p はレンチキュラー板のピッチ
 p_P は画像のピッチ

ステレオ印刷製品はレンチキュラー板、および立体合成画像の二者からなっている。
 レンチキュラー板のピッチと画像のピッチは観察距離、あるいはレンチキュラー形状により幾何学的に決まっている。

奥行き再現性



視差：連続多像式

$$x_F = \frac{\Delta p}{p_P} X_F$$

$$x_B = \frac{\Delta p}{p_P} X_B$$

有限多像式

$$x_F = \frac{X_F}{N-1}$$

$$x_B = \frac{X_B}{N-1}$$

奥行き再現性

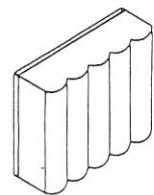
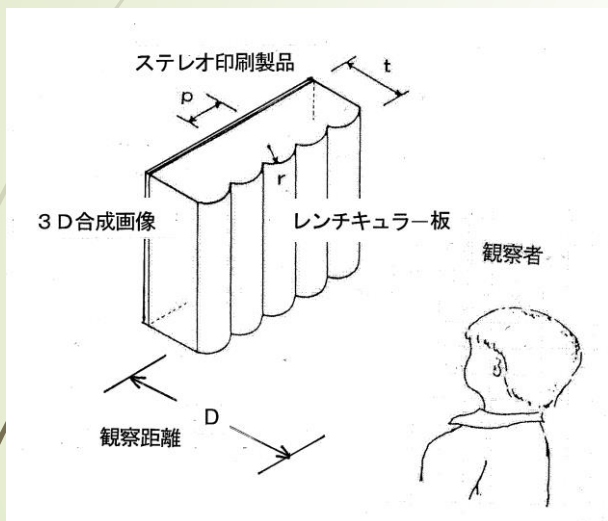
$$S_F = \frac{x_F D}{K + x_F}$$

$$S_B = \frac{x_B D}{K - x_B}$$

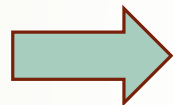
$$S = S_F + S_B$$

立体視領域

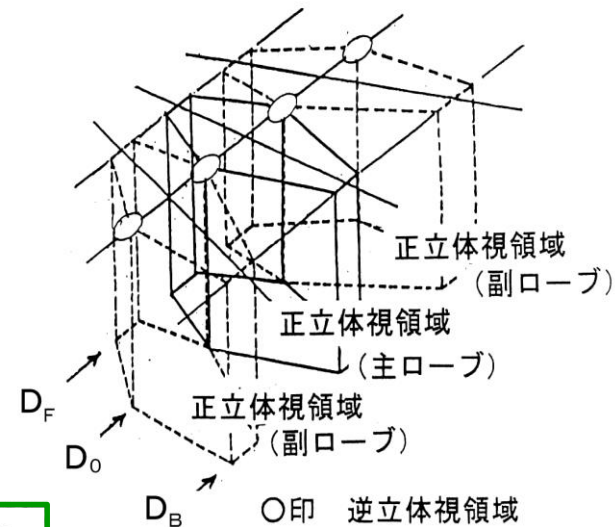
立体視の基本



3Dディスプレイ



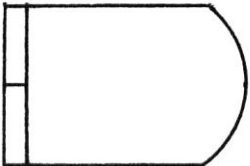
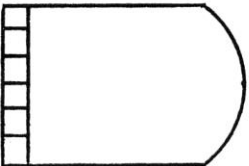
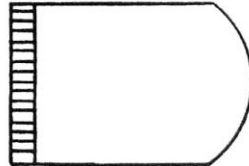
立体視領域が存在する



何処から観ても立体視できると、
思われているが

正立体視	画面全体において正しい浮きや沈みが得られる立体再現状態を言う
逆立体視	画面全体において浮き沈みが逆転した不自然な立体再現状態を言う
非立体視	画面の一部のみが正立体であったり、逆立体と混在したり、あるいは立体感のない不自然な立体再現状態を言う

合成画像数の分類

2 像 合 成	多 像 合 成	
	有限多像 (6 像の例)	連 続 多 像
L  R	6 · · 2 · 1 	N · · 2 · 1 

2 像式：特定の産業用に活用される。

多像式／有限多像：立体合成される画像数を数えることの出来る

多像式／連続多像：立体合成される画像数が有限多像よりはるかに多く、
画像数が計算できない像数

計算上の共通データとレンチキュラー形状

画像数：

2 像式

有限多像 / 4 像式

有限多像 / 10 像式

連続多像

ディスプレイサイズ：

(横) A=270 mm

(縦) B=340 mm

最適な観察距離：

$D_0 = 1,000$ mm

画像の持っている

最大視差値：

$X_F = 10$ mm

$X_B = 20$ mm

レンチキュラー形状は最適な観察距離において、

$$\text{式 } N = \frac{p_p}{\Delta p}$$

を満足する形状とし、ピッチは、共通な

$$p = 0.4375 \text{ mm}$$

とし、画像数に合わせて形状が変化する



	レンチキュラー形状			$t-r$	p_p	Δp
	r	p	t			
2 像式	1.80	0.4375	5.18	3.38	0.4390	0.2195
4 像式	0.91		2.60	1.69	0.4382	0.1096
10 像式	0.39		1.06	0.67	0.4378	0.0436
連続多像	0.52		1.30	0.78	0.4378	0.0567

$D_0 = 1,000$ mm

立体視領域を 求める計算式

立体視領域の計算結果：

	立体視領域		
	D _F	D ₀	D _B
2像式	838	1,000	1,241
4像式	632		2,393
10像式	364		-1,340
連続多像	403		-704

D_B が負となるのは
D_B=∞ を意味している

		N像式		連続多像式	
正立体視	前後方向	D _F	$D_F = \frac{A+K}{A+NK} D_0$	$D_F = \frac{(A+K)}{2(x+\Delta x_F)} \left(\frac{t}{n}\right)$	$x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n}\right)$
		D ₀	D ₀	$\Delta x_F = \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{t}{D_0}\right) \right] p$	
	D _B	$D_B = \frac{A+K}{A-(N-2)K} D_0$	$D_B = \frac{(A-K)}{2(x-\Delta x_B)} \left(\frac{t}{n}\right)$	$x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n}\right)$	$\Delta x_B = \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{t}{D_0}\right) \right] p$
	左右方向	W	W = NK	$W = \frac{p}{\left(\frac{t}{n}\right)} D_0$	
逆立体視	前後方向	D _{F'}	$D_{F'} = \frac{A+(N+1)K}{A+(N+2)K} D_0$		
		D ₀	D ₀		
	D _{B'}	$D_{B'} = \frac{A+(N+1)K}{A+NK} D_0$			
	左右方向	W'	W' = 2K		

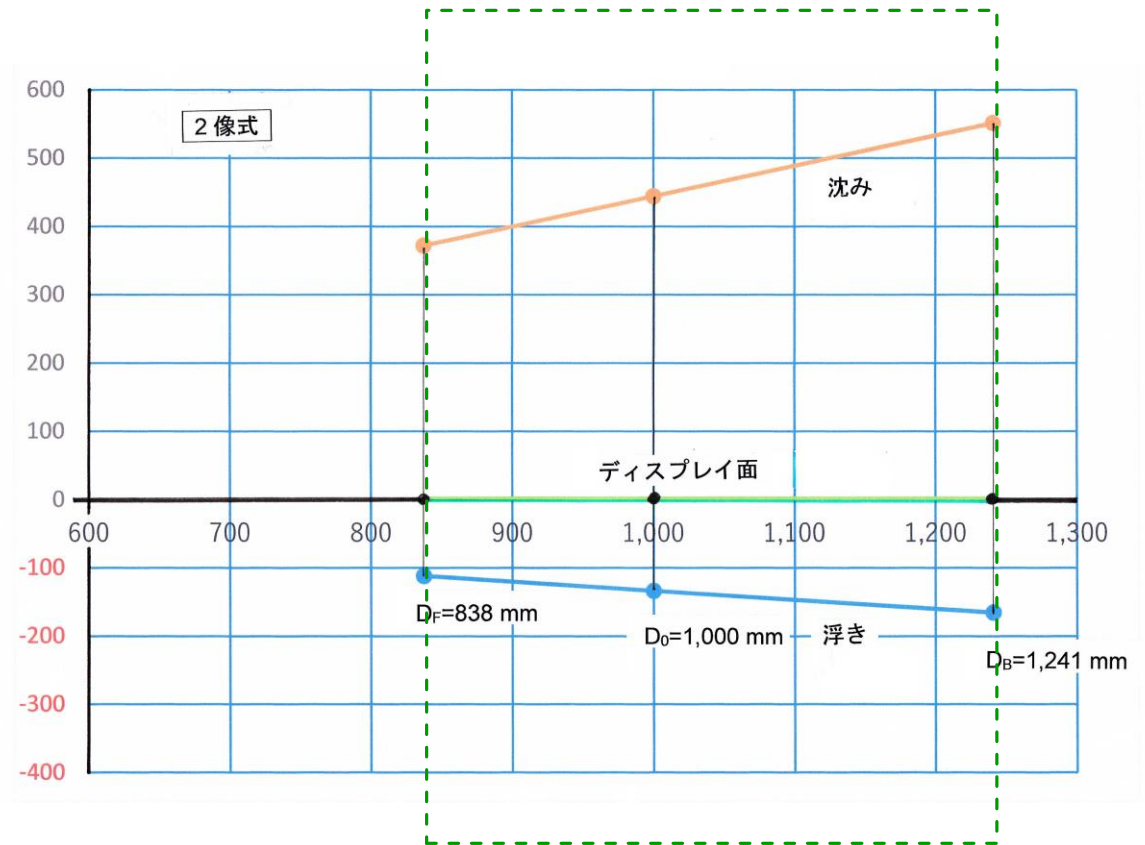
p ; レンチキュラーのピッチ [mm] D_F : 立体視できる最近距離 [mm]
 N : 画像数 D₀ : 立体視できる最適距離 [mm]
 A : 画像の横幅寸法 [mm] D_B : 立体視できる最遠距離 [mm]
 K : 眼間距離 [mm] D_{F'}, D_{B'}, W' : 逆立体視領域

計算結果：2像式

D		浮き		沈み	
		xF=10		xB=20	
		xF	SF	xB	SB
DF	838	10.0	-112	20.0	372
Do	1,000		-133		444
DB	1,241		-165		551

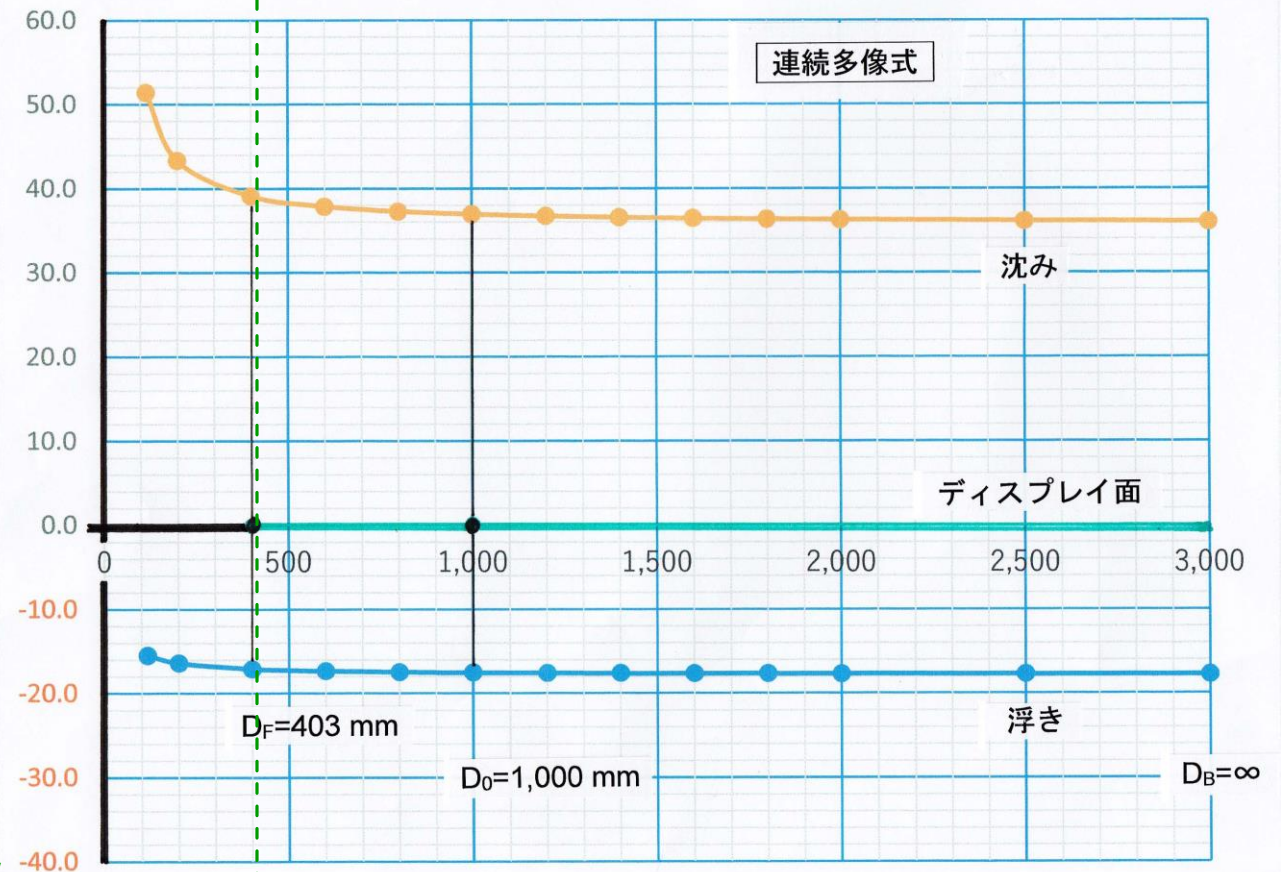
2像式が多像式と異なる点は

- ・ 観察距離に関係なく、観ている視差は最大視差値である
- ・ 観察距離に比例して奥行き再現性が変化する
- ・ 活用できる環境は「産業用」となる



計算結果：連続多像式

D	$\Delta p/pP$	浮き		沈み	
		$X_F=10$		$X_B=20$	
		x_F	S_F	x_B	S_B
116	0.9982	10.0	-15.4	20.0	51.4
200	0.5790	5.8	-16.4	11.6	43.4
400	0.2895	2.9	-17.1	5.8	39.1
600	0.1930	1.9	-17.3	3.9	37.9
800	0.1447	1.4	-17.4	2.9	37.3
1,000	0.1158	1.2	-17.5	2.3	36.9
1,200	0.0965	1.0	-17.6	1.9	36.7
1,400	0.0827	0.8	-17.6	1.7	36.6
1,600	0.0724	0.7	-17.6	1.4	36.4
1,800	0.0643	0.6	-17.6	1.3	36.3
2,000	0.0579	0.6	-17.7	1.2	36.3
2,500	0.0463	0.5	-17.7	0.9	36.1
3,000	0.0386	0.4	-17.7	0.8	36.1



連続多像式は

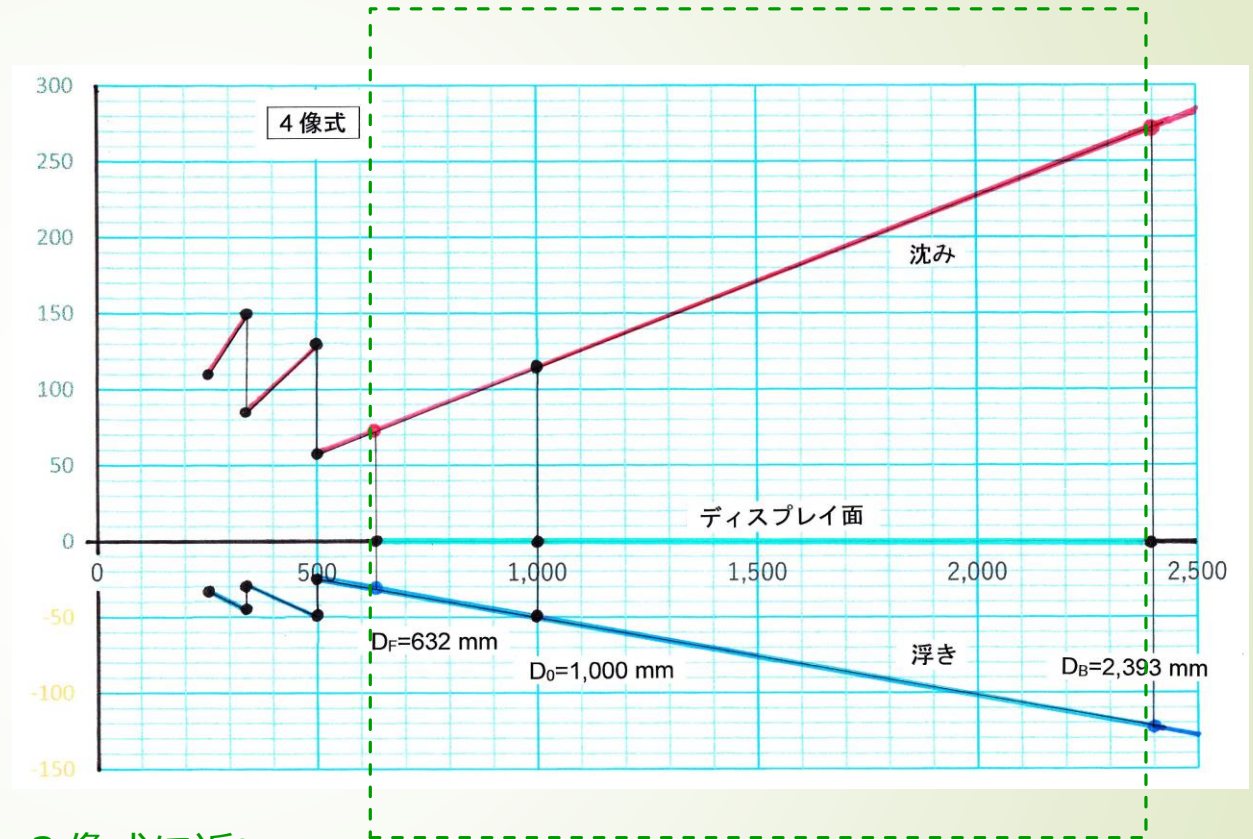
- ・ 観察距離により視差が変化し
- ・ 観察距離が変わっても、奥行再現性がほぼ一定となり、自然な立体感にほぼ一致している

計算結果：4像式

D	浮き		沈み	
	X _F = 10		X _B = 20	
	x _F	S _F	X _B	S _B
251	10.0	-33	20.0	111
334		-45		149
501	6.7	-31	13.3	86
		-47		129
1,003	3.3	-24	6.7	57
		-49		115

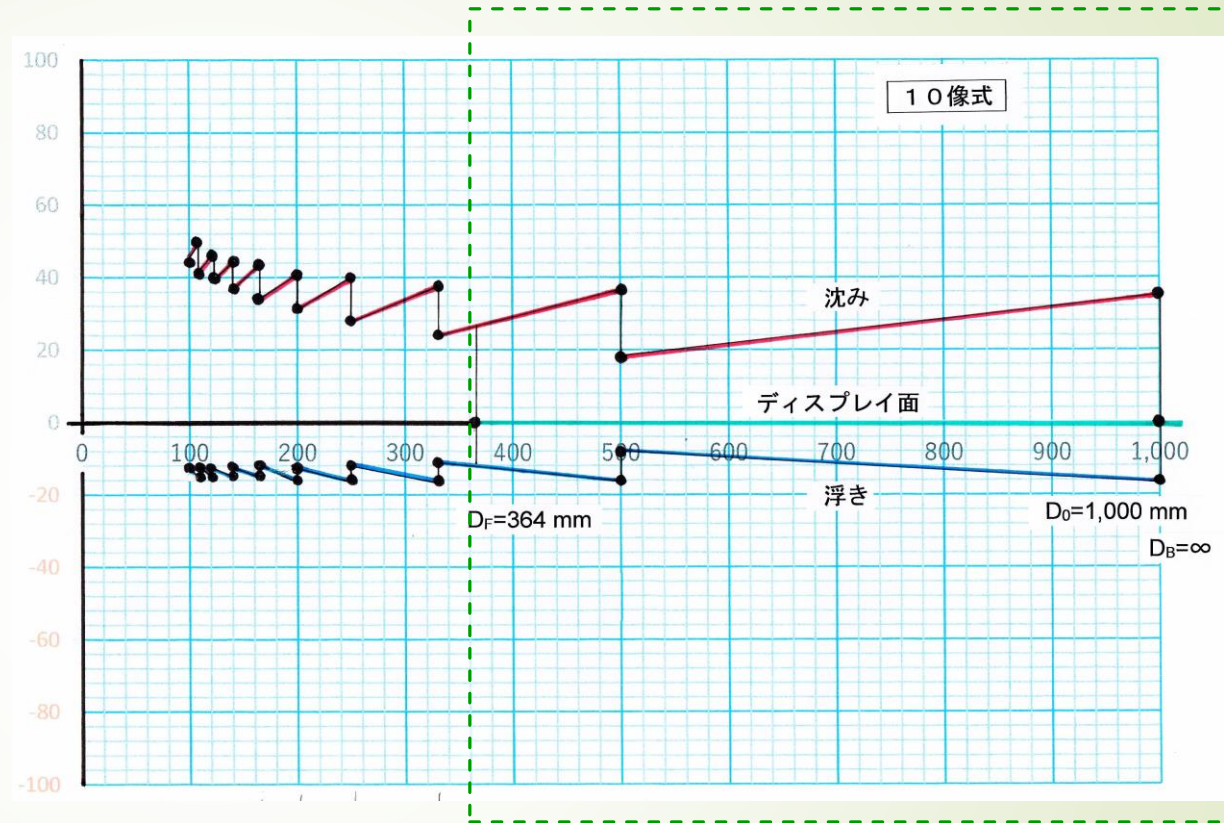
4像式では

- ・ 観察距離により視差が変化し
- ・ 立体視領域内では、2像式と同じであり
- ・ 観察距離の変化に伴い、奥行き再現性も変化する
- ・ 多像式の利点の一部が観られるが、2像式に近い。



計算結果：10像式

D	浮き		沈み	
	X _F = 10		X _B = 20	
	x _F	S _F	x _B	S _B
99	10.0	(13.3)	20.0	44.2
111		(14.7)		49.1
124	8.9	(13.3)	17.8	41.6
		(15.0)		46.8
142	7.8	(13.3)	15.6	39.1
		(15.2)		44.7
166	6.7	(13.2)	13.3	36.7
		(15.4)		42.8
199	5.6	(13.1)	11.1	34.2
		(15.7)		41.0
249	4.4	(12.7)	8.9	31.5
		(15.9)		39.4
332	3.3	(12.1)	6.7	28.4
		(16.2)		37.9
497	2.2	(11.0)	4.4	24.3
		(16.4)		36.5
995	1.1	(8.4)	2.2	17.6
		(16.7)		35.2



10像式では

- ・連続多像式に近い結果となっているが、
- ・立体視領域内では、2像式と同じような結果を示している。

それでは、

- ・連続多像式と同様な結果を得るためには、何像とすれば良いのか？

まとめ

2像式は、観察距離により立体感が変化し、一般用でなく、産業用に適している。

連続多像式は、観察距離に関係なくほぼ一定の立体感が得られ、自然な立体感が得られる。

有限多像式で連続多像式と同様な結果を得るためには何像が必要になるのだろうか？

以前は、PCの処理能力が小さかったので、6~10像程度が多かった。

近年は、20像程度が多くなっており、自然な立体感が得られる様になっている。

おわりに

ステレオ印刷製品が市場に多く出る様になり、一般の人が容易に購入出来るようになった。ステレオ印刷製品は、当初から「連続多像式」の製品が当たり前であり、観察者は、どこか見ても立体視できる。

今、デジタル時代になり、容易にステレオ印刷製品を製造できるようになった。「地デジ放送」の次は「立体TV放送」と言われている。その中で、メガネなしで立体視できる方法に「ステレオ印刷」製品がある。

ステレオ印刷製品を手にして見ると、まだまだ「課題」が残っている様である。これからも詰めていきたい！

レンチキュラー方式3Dディスプレイ
立体視領域における奥行再現性を検証する

16

ご清聴、ありがとうございました

元日本工業大学 元凸版印刷株式会社

山田 千彦

© 2018 山田 千彦

参考文献

- (1) 山田千彦 「立体視領域における「過観察距離」を提案する」、
「3D映像」Vo.31, No.3, (2017-12)
- (2) 山田千彦、「モアレの観点から立体視領域を計算する」、
「3D映像」Vol.30, No.4 (2017-01)
- (3) 羽倉弘之、山田千彦、大口孝之・編集「裸眼3Dグラフィクス」
朝倉書店 pp.42-76 2012-08刊
- (4) 山田千彦、「レンチキュラー板立体ディスプレイにおける立体視領域」
「3D映像」 Vol.7, No.2, pp4-7 (1993-03)

連続多像式のステレオ撮影方法

通 称	カメラ	レンズ	露 光	被 写 体	得られる原画と処理
スタジオカメラ (A)	固 定	単 眼	数秒間	ターンテーブル上に載せることのできる数秒間不動の被写体	撮影と同時に立体合成される。その合成画像の上に、レンチキュラー板を載せて直ちに立体視できる。 (連続多像)
ポータブル (B) カメラ	横移動	単 眼	数秒間	室内外の数秒間不動の被写体	
大口径カメラ	固 定	大口径 単 眼	瞬 間	(C)	
				全ての被写体 (D)	
単眼多像撮影 カメラ	固 定	単 眼	数秒間	ターンテーブル上に載せることのできる数秒間不動の被写体 (G)	視差のある複数枚の画像を得た後、次工程で立体合成を行なう。その合成画像の上にレンチキュラー板を載せて立体視出来る。 (有限多像) (2像)
	横移動			室内外の数秒間不動の被写体 (E)	
ワンショット (F) カメラ	固 定	多 眼	瞬 間	全ての被写体	

アナログ時代は (A)、および (B) で撮影してきた。
デジタル時代に入って、連続多像式に相当する撮影方法が実現するであろうか。
現時点では、(E) 方式が多く実用されている様であるが。

計算式の中での置き換え

光学設計者の使用する計算式と、筆者が使用する計算式とに違いがある。計算結果が実用に近いことから、筆者は下記のように置き換えて計算している。

$$\frac{t}{n} \rightarrow t - r$$

$$\frac{t}{n}$$

光学設計者は、

「レンチキュラー板の曲率半径の中心から裏面までの距離＝

$$\frac{t}{n}$$

と置いている。この計算式は正しい。

しかし、ステレオ印刷製品の製造では、通常 樹脂の厚さを85～90%
に薄くしている。

$$f \neq t$$

なのである。

これは、品質を落とすことなく、コスト低減につながっている。
実用に近い計算結果を得るためには、

$$t - r$$

に置き換えて計算すべきと考えている。