

レンチキュラー方式3Dディスプレイ
モアレの観点から立体視領域を
計算する

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立体印刷製品



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**



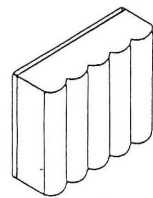
未来

立体TV放送の開始 メガネなしで立体視出来る

立体視領域の基本

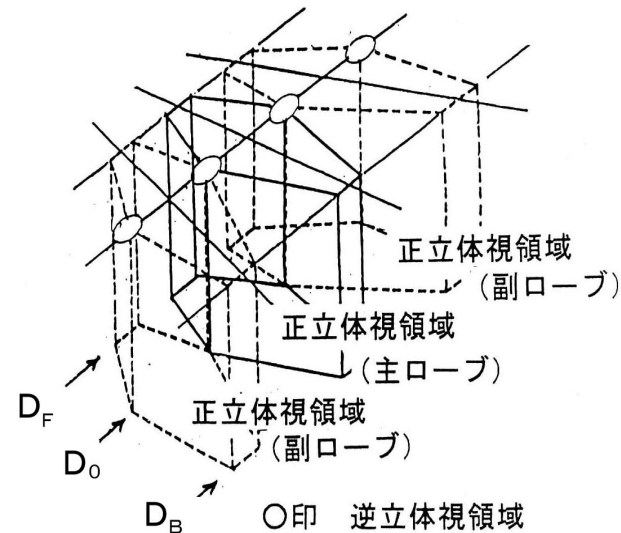
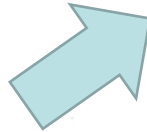
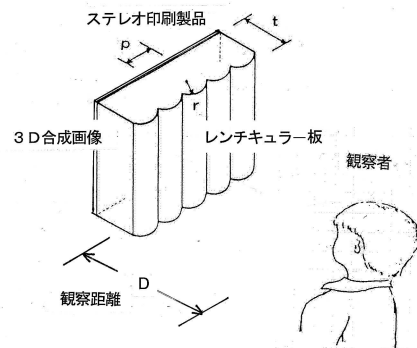
立体視できる場所、立体視できない場所
が存在している

立体視できる領域は六角柱の中にある



3Dディスプレイ

立体視の基本

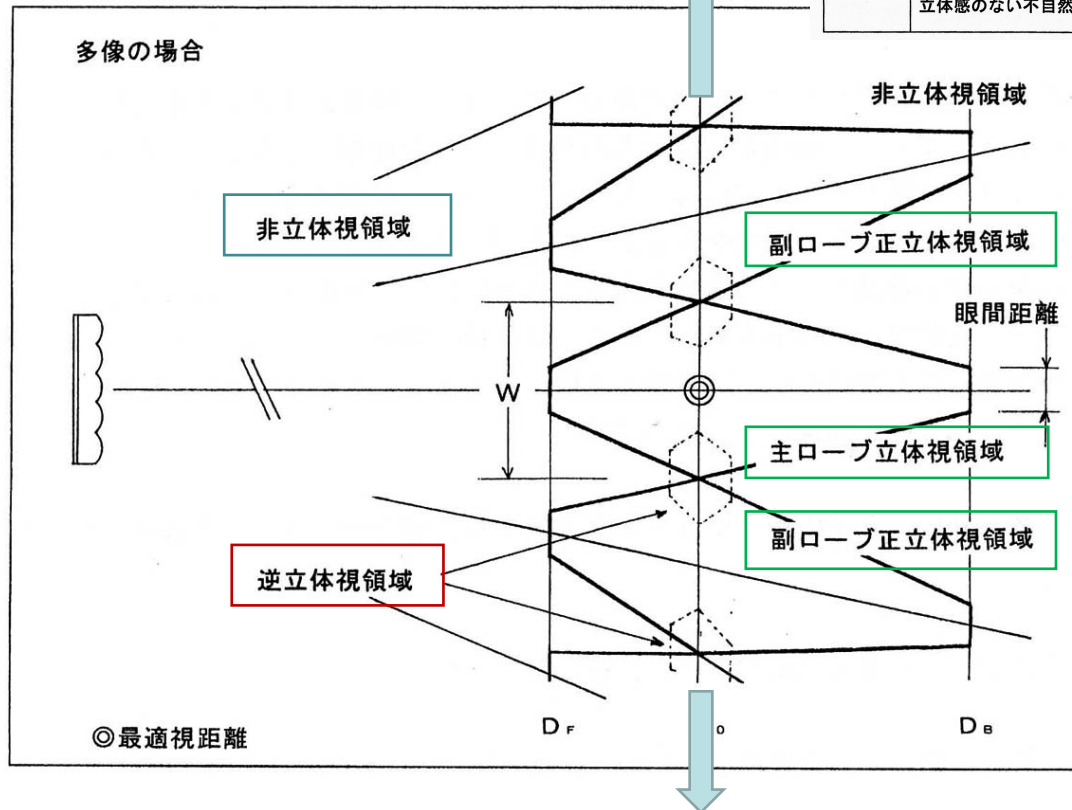


何処から観ても立体視できる、とされているが

立体視領域の三態

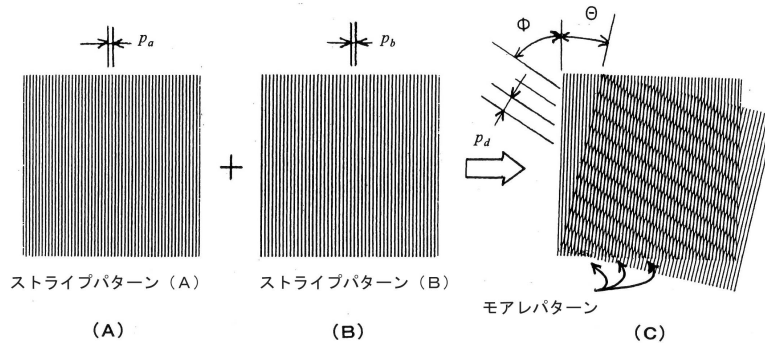
左右の立体視領域を広げている 副ローブ

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



副ローブ 左右の立体視領域を広げている

モアレ理論

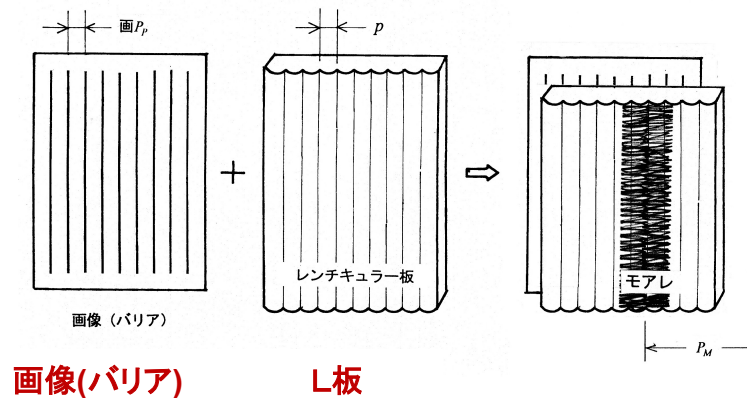


一定間隔で規則的に並ぶストライプパターンを2枚重ねると、モアレパターンが発生する。



置き換える

ストライプパターン(A) → 画像
ストライプパターン(B) → L板



L板 = レンチキュラー板

重要なこと

L板が画像面より(t-r)mm離れて上部に位置している。

それ故

観察者はL板を通して、L板のピッチ(p)が画像面に投影されて(L P_p)となり、画像のピッチ(画 P_p)と同一となって立体視できる。

モアレ理論のレンチキュラー方式への展開

基本式

$$p_d = \frac{p_a p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 - 2p_a p_b \cos \Theta}} \quad (1)$$

$$\tan \Phi = \frac{p_b \sin \Theta}{p_b \cos \Theta - p_a} \quad (2)$$

L板使用に伴う置き換え

p_d = モアレの大きさ(ピッチ)

= p_M

p_a = L板の画像面に投影されたピッチ

= $L p_P$

p_b = 画像のピッチ

= 画 p_P

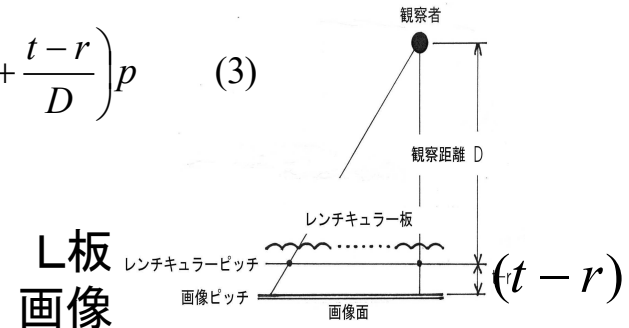
最適な距離から見た立体視の条件

$L p_P = \text{画} p_P$

$\Theta = 0$

L板の画像面に投影されたピッチ

$$p_P = \left(1 + \frac{t-r}{D}\right) p \quad (3)$$



式(1)、(2)を次の様に
書き直すことができる

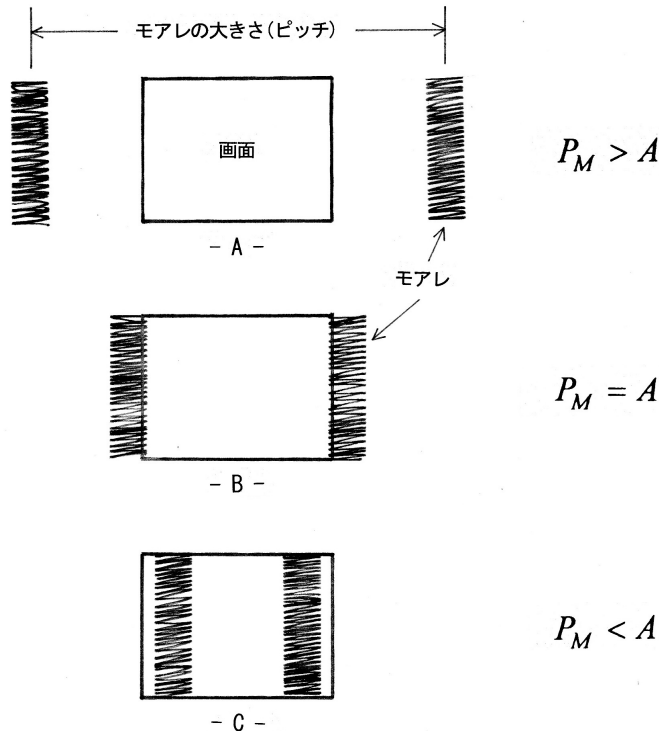
$$p_M = \frac{1}{\left| \frac{1}{L p_P} - \frac{1}{\text{画} p_P} \right|} \quad (4)$$

$\Theta = 0$

モアレの大きさと立体視領域

観察位置を最適な距離
観察位置を後方に移動
観察位置を前方に移動

$L_{pp} = \text{画}p_p$ $P_M = \text{無限大}$
 $L_{pp} < \text{画}p_p$ $P_M = \text{有限な大きさ}$
 $L_{pp} > \text{画}p_p$ $P_M = \text{有限な大きさ}$



P_M = モアレの大きさ(ピッチ)
 A = 画面の横幅

画像全面で立体視できる

$P_M > \text{画像の幅}(A)$

画像全面で立体視できない

$P_M < A$

画面全面で立体視できる限界

$P_M = A$



立体視できる最近距離 = D_F

立体視できる最遠距離 = D_B

立体視領域の具体的計算(1/2)

製品例

広告用大型ステレオ印刷
B全版 (A:2,000 × B:600 mm)
合成画像数 N=28
観察距離 $D_0=2,500$ mm

L(レンチキュラー)形状

$r=1.0$ mm
 $p=1.2673$ (実測値)
 $t=2.70$

画像のピッチ

画 $p_p=1.2682$ mm

計算例 I -1

いろいろな距離における L_{p_p} を
式(3)から求め、

$$L_{p_p} = \left(1 + \frac{t-r}{D} \right) p$$

式(4)から P_M を計算する。

$$p_M = \frac{1}{\left| \frac{1}{L_{p_p}} - \frac{1}{\text{画}p_p} \right|}$$

次に、計算結果をグラフ化する。
そして、式(8)から

$$p_M = A = 2,000$$

となる D_F 、 D_B をグラフ上から求める。

立体視の具体的計算(2/2)

計算例 I -2

式(9)を用いて、

$$Lp_P = \frac{1}{\frac{1}{P_M} \pm \frac{1}{\text{画}p_P}}$$

この式に

$$p_M = A = 2,000$$

を代入して、2つの Lp_P を求める
そして、式(10)から

$$D = \frac{p}{Lp_P - p}(t - r)$$

D_F 、 D_B を計算する

計算例 II

Q画＝幅(A)mmの画像の中に存在する
画像のレンチキュラー本数

QL＝観察者がある距離から画像を
観ているとき、幅(A)mmの画像
の中に存在するレンチキュラー
本数

と定義したとき、

$$Q_{\text{画}} = \frac{A}{\text{画}p_P}$$

$$Q_L = \frac{A}{Lp_P}$$

$$Q_{\text{画}} - Q_L = \pm 1$$

となる2つの Lp_P を計算し、式(10)から

$$D = \frac{p}{Lp_P - p}(t - r)$$

D_F 、 D_B を計算する。

計算結果(I -1)

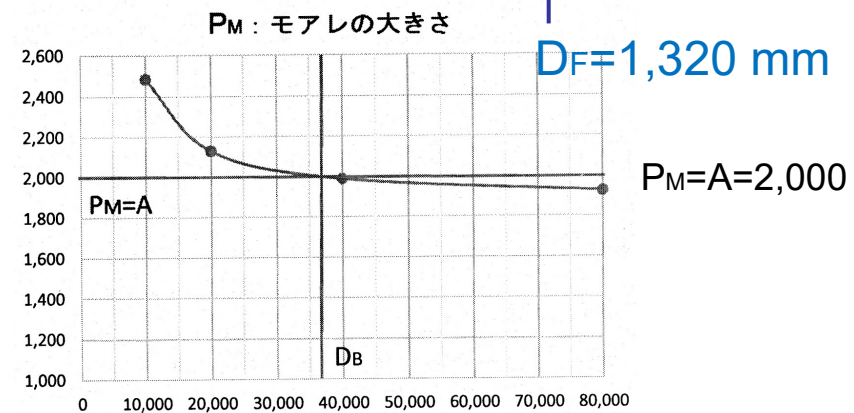
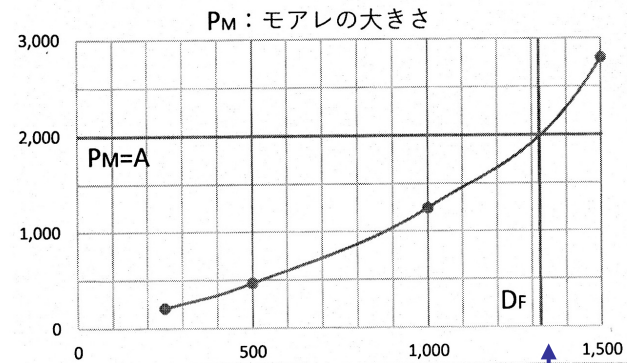
モアレの大きさ(ピッチ)



D	PM
250	209
500	468
1,000	1,245
1,500	2,801
2,000	7,466
2,500	100,000
5,000	3,731
10,000	2,487
20,000	2,132
40,000	1,989
80,000	1,925

最適距離

$D_0 =$



$D_B=37,000 \text{ mm}$

計算結果(I -2)、(II)

式(9)より

$$Lp_P = \frac{1}{\frac{1}{P_M} \pm \frac{1}{\text{画}p_P}}$$

$$P_M = A = 2,000$$

$$\text{画}p_P = 1.282$$

(-)を取ると

$$Lp_P = 1.269005$$

式(10)より

$$D = \frac{p}{Lp_P - p}(t - r)$$

$$D_F = 1,264 \text{ mm}$$

(+)をとると

$$Lp_P = 1.267396$$

式(10)より

$$D_B = 22,362 \text{ mm}$$

式(11)より

$$Q_{\text{画}} = \frac{A}{\text{画}p_P}$$

$$A = 2,000$$

$$\text{画}p_P = 1.2682$$

$$Q_{\text{画}} = 1,577.0383$$

式(13)において(-1)本の場合

$$Q_L = Q_{\text{画}} \pm 1$$

式(12)より

$$Lp_P = \frac{A}{Q_L}$$

$$Lp_P = 1.2690$$

式(10)より

$$D_F = 1,264 \text{ mm}$$

同様に(+1)の場合

$$Lp_P = 1.2674$$

$$D_B = 21,544 \text{ mm}$$

まとめ

計算結果

I -1

$D_F=1,320$

$D_B=37,000$

I -2

$D_F=1,264$

$D_B=22,362$

II

$D_F=1,264$

$D_B=21,544$

まとめ

計算方法は違っても、

最近距離: D_F

最遠距離: D_B

の両方において、ほぼ近い値になる。

しかし、最遠距離においては、距離が遠くなると、計算途中で取り扱う桁数によって、計算結果にバラツキが出てくる。

立体視しているとき、

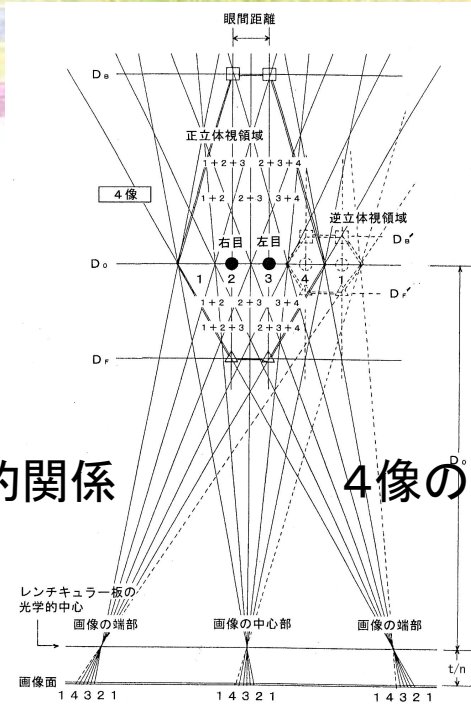
最近距離は重要な意味を持つが、

最遠距離は適当で良さそうである。

付録

		N像式		連続多像式	
正立体視	前後方向	D_F	$D_F = \frac{A+K}{A+NK} D_0$	$D_F = \frac{(A+K)}{2(x+\Delta x_F)} \left(\frac{t}{n}\right)$ $x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n}\right)$ $\Delta x_F = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{t}{n}\right)}{D_0}\right) p$	
		D_0	D_0		
		D_B	$D_B = \frac{A+K}{A-(N-2)K} D_0$	$D_B = \frac{(A-K)}{2(x-\Delta x_B)} \left(\frac{t}{n}\right)$ $x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n}\right)$ $\Delta x_B = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{t}{n}\right)}{D_0}\right) p$	
	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 D_0 : 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



幾何学的関係

4 像の例

$D_0=2,500 \text{ mm}$

A=2,000 mm

K=65 mm

N=28

の場合、

$D_F = 1,351 \text{ mm}$

$D_B = 16,653 \text{ mm}$

レンチキュラー方式3Dディスプレイ
モアレの観点から立体視領域を計算する

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

レンチキュラー方式3Dディスプレイ モアレの観点から立体視領域を計算する

Calculations of Positions Possible Stereoscopic Viewing in Terms of MOIRE
in Autostereoscopic Display

山田 千彦

Chihiko Yamada

元日本工業大学、元凸版印刷（株）

〒120-0014 東京都足立区西綾瀬 4-13-17

E-mail : c-yamada@jcom.zaq.ne.jp

2005 年から立体映画が最盛期を迎えるようになり、2010 年は家庭用立体テレビ元年と言われている。何れも専用のメガネをかけて立体視する方法である。その様な中、メガネなしで立体視できる方法にレンチキュラー方式3Dディスプレイがある。レンチキュラー方式で最も歴史があって普及しているのが通称「ステレオ印刷」である。ステレオ印刷はいろいろな企業で製品化されているが、今でも経験による作業が含まれている。本稿ではステレオ印刷を立体視する時の立体視できる領域（前後）をモアレの観点から計算する。

1. はじめに

日本国内においては、1960 年頃から印刷企業を中心にメガネなしで立体視できる「レンチキュラー方式印刷タイプ3Dディスプレイ（通称：ステレオ印刷）」が市場に流れる様になり、珍しさが伴って多くの数の商品化が進められた。しかしその多くは宣伝用であり、個人向けの商品は少なかった。当時ステレオ印刷を手にとると誰でもが驚き、興味を示していたが、お金を出して購入する人はほとんどいなかった。

一方、いろいろな博覧会、等では立体映画に皆が集まり、大盛況であったのを覚えている。しかし、お金を出して観る、劇場で上映されている立体映画は常に低迷していた。

1990 年代に入り、立体映画、あるいは臨場感通信、等に多くの論文が出る様になり、メガネなしで立体視できる産業用3Dディスプレイが市場に出る様になってきた。当初はレンチキュラー、あるいはバリアを用いた2像式であったが、その後ディスプレイの画素が

増えるに伴って多像式に移行している。

今地上デジタル放送が実用に入り、次は立体TV放送の実用化と言われている。当然メガネなしで立体視できる方式になるであろうと言われている。

ステレオ印刷はすでに五十年以上の経験ある製品となっている。市場にあるステレオ印刷製品は、多像式であり、何処から観ても立体視できる印象を持っている。通常の製品では、手に持つか、壁に固定して立体視する程度である。それゆえ、何処で立体視できるのか、「立体視領域」について議論したことはほとんどないと思われる。

本稿では、「立体視領域」について、「モアレ」の観点から詳述する。

2. 立体視領域の定義

ステレオ印刷製品を観て立体視している図を図01に示す。レンチキュラー板(略：L板)は円筒形レンズを多数並べて造られている。レンチキュラー板はその形状から、

曲率半径： r

幅 (ピッチ) : p

厚さ : t

となっており、厚さ : t は通常焦点距離 : f と一致している。また、レンチキュラー板は無色透明な熱可塑性樹脂、等で造られている事が多い。

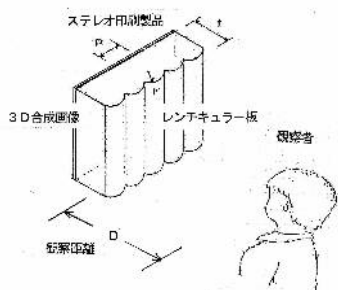


図 01 ステレオ印刷製品と立体視

ステレオ印刷、例えば、立体絵はがきを観ると、どこから見ても立体視できるように思われる。しかし、幾何学的に計算してみると、ある限定された立体視領域が存在することが分かる。図 02 に立体視領域の概念を示す

ある観察距離 : D_0 に設計、製作された製品 (装置) は、その位置を最適距離として前後左右に立体視出来る領域を持っている。この形を平面図で表すと「六角形」となる。また、上下方向を加えると「六角柱」となる。

この六角柱の中に入れる人の数は2像式では1人に限定されるが、像数が増えるに従って人数が増えていく。

更に、横方向に展開すると、この六角柱の形をした立体視領域が左右に多く並び、立体視できる観察者の数を多くしている。このとき、中心にある立体視領域を「主ローブ」と呼び、その両側に数多く存在する立体視領域を「副ローブ」と呼ぶ。

つぎに、立体視領域を平面に展開すると、ステレオ印刷に対して観察者がどの場所から観ているかによって「正立体視」、「逆立体視」、「非立体視」の3態に区分する事が出来る。

正面で所定の観察距離からステレオ印刷を観ると、右目で右目用の画像、左目で左目用の画像を見て、正しい立体感を得ている。

同様に、観察位置を少し横にずらして見ると、右目で左目用の画像を、左目で右目用の画像を見てしまう。これが逆の立体感であり、不自然に見える。

更に違った位置に目を置いてみると、右目と左目の両方で左目用の画像を見てしまう場所がある。これでは立体感は何れもない。

これらの様に、観察者がどこから見るかによって立体感の再現性が違って来る。これら3態を表 01 に示す。

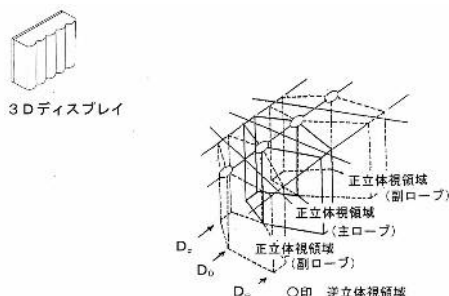


図 02 立体視領域の概念図

表 01 立体視領域の三態

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

多像式における立体視領域の平面図を図 03 に示す。ここでは、2 像式ステレオ印刷製品は市場にないことから、2 像式については省略する。

多像式における正立体視領域は、画像数が増えれば増える程にその面積は広がっていく。それに合わせて逆立体視領域は相対的に小さくなり、殆ど逆立体視領域を見つけることが出来なくなる。

3. モアレ理論をステレオ印刷に展開

一定間隔で規則的に並ぶストライプパターンを2枚重ねると、図 04 に示すモアレパターンが発生する。

図 04(A)はピッチ : p_a のストライプパターン(A)であり、図 04(B)はピッチ : p_b のストライプパターン(B)である。そして、この2

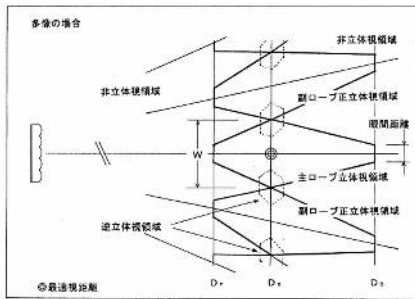


図03 多像式ステレオ印刷における立体視領域

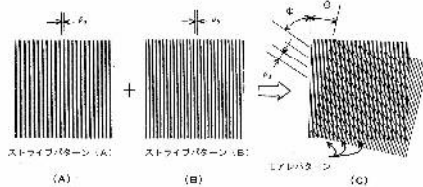


図04 モアレ発生原理

枚のストライプパターン間に角度： Θ を設けて重ねると、図 04(C)に示すモアレパターンが発生する。このモアレパターンの大きさ(ピッチ)を p_d 、モアレパターンの角度を Φ とすると、次式で表すことができる。

$$p_d = \frac{p_a p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 - 2p_a p_b \cos \Theta}}$$

$$\tan \Phi = \frac{p_b \sin \Theta}{p_b \cos \Theta - p_a} \quad (1), (2)$$

ここで、 $p_a = p_b$ の時、式(1)からモアレの大きさ(ピッチ： p_d)が無限大となり、モアレは観えなくなる。

モアレ理論をステレオ印刷に展開した場合、図 04 において、

- ・ストライプパターン(A)を画像(バリアを含む)に
- ・ストライプパターン(B)をL板に置き換えることになる。ステレオ印刷の製品の図を図05に示す。

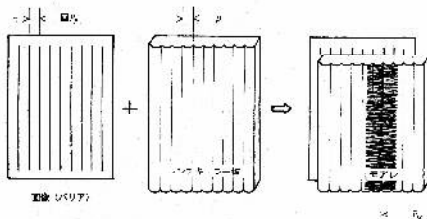


図05 ステレオ印刷製品によるモアレ

しかし、単純に置き換えることは出来ない。L板が画像面より $(t-r)$ mm 離れて上部に位

置しているからである。図 04 で示すと、ストライプパターン(A)の上面に $(t-r)$ mm の空気層を設けてストライプパターン(B)が位置していることとなる。

幾何学的には、観察者がL板を通して立体視してる時は、L板のピッチ： p が画像面に投影されて Lp_p となる。この時の幾何学的関係を図06に示す。

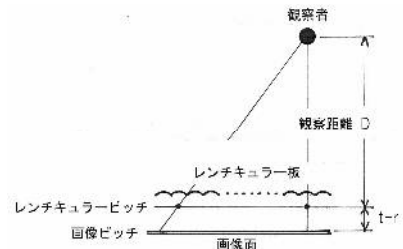


図06 L板のピッチと画像のピッチとの幾何学的関係

L板の投影されたピッチが画像のピッチと同じ値になった時、立体視できると共に両者によるモアレは無限大となり、モアレは観えなくなる。

図06における幾何学的関係は、観察者からステレオ印刷製品までの距離を D とすると、次式で表すことができる。

$$p_p = \left(1 + \frac{t-r}{D}\right)p \quad (3)$$

ここで、図01にある様に、 t はレンチキュラー板の厚さ、 r は曲率半径である。

図04中の t/n は、幾何光学で使われているが、製品上は $t-r$ を用いた方が現実的である。

以下、計算を進める上で、次の様に定義する。

画 p_p = 製品の画像ピッチ

Lp_p = L板の画像上に

投影されたピッチ

モアレの大きさ(ピッチ)を P_M とすると、式(1)、式(2)は次式となる。

この時、一次モアレのみ扱うとする。

$$\Theta = 0$$

$$P_M = \frac{1}{\left| \frac{1}{Lp_p} - \frac{1}{\text{画}p_p} \right|} \quad (4)$$

4. モアレの大きさと立体視領域

観察者が最適な距離： D_0 から立体視している場合は、

$$Lp_P = \text{画}p_P \quad (5)$$

となり、この時のモアレの大きさは無限大となる。

観察者が最適な距離： D_0 より前後に移動して立体視した場合、式(4)よりモアレの大きさ： P_M が有限な大きさに変化していく。

その中で、

$$P_M > A \quad (6)$$

においては、画像の中にモアレが観えず、立体視領域となる。しかし、

$$P_M \leq A \quad (7)$$

となると、画像の中にモアレが入ってしまい、立体視領域以外となる。

立体視領域に含まれるか、否かの境界は、

$$P_M = A \quad (8)$$

となる距離である。ここで、 A はステレオ印刷製品の横幅である。

そこで、式(8)を満足する観察距離を、

立体視できる最遠距離： D_B

立体視できる最近距離： D_F

と設定し、以下に計算を進めていく。

5. 立体視領域の具体的計算

ステレオ印刷の1例をたたき台として、具体的な計算を進める。

製品例

広告用大型ステレオ印刷

サイズ：B倍判(横×縦)

(A)2,000×(B)800

合成画像数： $N = 28$

観察距離： $D_0 = 2,500 \text{ mm}$

レンチキュラー形状

$r = 1.0$

$p = 1.2673$ (実測値)

$t = 2.70$

MS樹脂 ($n = 1.53$)

モアレの観点から具体的な計算に入るが、モアレの扱い方により、下記の2方式に区別して進める。

計算例 I-1

いろいろな観察距離における Lp_P を式(3)から計算し、式(4)に代入して P_M を計算する。そして、計算結果をグラフ化し、式(8)を満足する最遠距離： D_B 、及び最近距離： D_F を求めることができる。

計算例 I-2

式(8)を書き直すと、

$$Lp_P = \frac{1}{\frac{1}{P_M} \pm \frac{1}{\text{画}p_P}} \quad (9)$$

となる。また、式(3)を書き直すと、

$$D = \frac{p}{Lp_P - p}(t - r) \quad (10)$$

となる。式(9)で得られた2つの値を式(10)に代入して、最遠距離： D_B 、及び最近距離： D_F を求めることができる。

計算例 II

ここで述べる計算方法は、本稿で今まで述べてきたモアレとは全く別の観点から、計算を進めていく。

最遠距離： D_B 、及び最近距離： D_F では、画像の両端、または両端のすぐ外側にモアレが観える状況(式(8))である。この状況を別の観点から述べると、次の様に言える。

$Q_{\text{画}} = \text{幅}(A)\text{mm}$ の画像の中に存在する

画像のレンチキュラー本数

$Q_L = \text{観察者がある距離から画像を観て}$

いるときの、幅(A)mm の画像の中

に存在するレンチキュラー本数

と定義し、式で表すと、

$$Q_{\text{画}} = \frac{A}{\text{画}p_P} \quad (11)$$

$$Q_L = \frac{A}{Lp_P} \quad (12)$$

となり、

式(8)を別の表現で表すと、

$$Q_{\text{画}} - Q_L = \pm 1 \quad (13)$$

となる。

式(11)、式(12)、式(13)、を満足し、さらに式(3)から2つの距離が得られる。その時、一

つが最近距離: D_F であり、他が最遠距離: D_B である。

6. 計算結果

計算例 I-1

計算結果を表 02 に、グラフを図 07 に示す。

表 02 計算結果

D	PM
250	209
500	468
1,000	1,245
1,500	2,801
2,000	7,466
2,500	100,000
5,000	3,731
10,000	2,487
20,000	2,132
40,000	1,989
80,000	1,925

表 02 の中で $D=2,500\text{mm}$ が最適な観察距離であり、この時の $P_M=100,000\text{mm}$ は無限大を意味している。

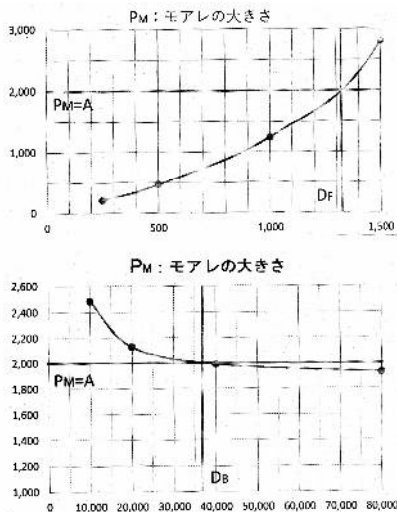


図 07 表 02 のグラフ

図 07 は上下 2 つのグラフからなり、上下のグラフ共、縦軸に画像サイズ(横: A)を置くと、上のグラフの横軸には最近距離: D_F を、下のグラフの横軸からは最遠距離: D_B を求める事ができる。

このグラフからは、およそ

$$D_F = \text{約}1,320$$

$$D_B = \text{約}37,000$$

を得ることができる。

計算例 I-2

式(4)、及び式(3)を書き直すと、

$$Lp_P = \frac{1}{\frac{1}{A} \pm \frac{1}{\text{画}p_P}} \quad (14)$$

$$D = \frac{P}{Lp_P - p} (t - r) \quad (15)$$

これらの式に、

$$P_M = A = 2,000$$

$$p = 1.2673$$

$$\begin{aligned} \text{画}p_P &= \left(1 + \frac{t-r}{D_0}\right)p \\ &= \left(1 + \frac{1.7}{2,500}\right) \times 1.2673 \\ &= 1.2682 \end{aligned}$$

を、代入し、式(14)において(-)で計算すると、式(14)から、

$$\begin{aligned} Lp_P &= \frac{1}{\frac{1}{2,000} - \frac{1}{1.2682}} \\ &= 1.269005 \end{aligned}$$

式(15)から、

$$\begin{aligned} D_F &= \frac{1.2673}{1.269005 - 1.2673} \times 1.7 \\ &= 1,264 \end{aligned}$$

同様に、式(14)において(+)で計算すると、

$$Lp_P = 1.267396$$

$$D_B = 22,362$$

を得ることができる。

計算例 II

$$\text{画}p_P = 1.2682$$

式(11)から、

$$\begin{aligned} Q_{\text{画}} &= \frac{A}{\text{画}p_P} = \frac{2,000}{1.2682} \\ &= 1,577.0383 \end{aligned}$$

-1 本となる Lp_P は式(12)から、式(15)から、

$$D_F = \frac{p}{Lp_P - p}(t-r)$$

$$= \frac{1.2673}{1.2690 - 1.2673} \times 1.70$$

$$= 1,264$$

同様に、+1 本では、

$$Lp_P = \frac{2,000}{1,578.0383}$$

$$= 1.2674$$

$$D_B = \frac{1.2673}{1.2674 - 1.2673} \times 1.70$$

$$= 21,544$$

となる。

7. まとめ

前章で得られた計算結果をまとめると、
計算例 I-1 では、

$$D_F = 1,320$$

$$D_B = 37,000$$

計算例 I-2 では、

$$D_F = 1,264$$

$$D_B = 22,362$$

計算例 II では、

$$D_F = 1,264$$

$$D_B = 21,544$$

となる。

計算を進めているときに気づいたことは、
計算方法が違ってても、最近距離、および最遠距離の両方でほぼ近い値になる。しかし、最遠距離において、距離が遠くなると計算途中で扱う桁数によってバラツキが出ていることである。

しかし、現実的にはステレオ印刷を観ていて、最近距離は重要な意味を持つが、最遠距離は適当で良さそうである。

8. おわりに

ステレオ印刷にとって、どこでも立体視できるという利点を持っている。しかし、現実にはそれは有限であり、製造設計上、把握しておきたい技術である。特に、本稿で例とした広告用大型製品、等では重要であると思っている。

これからもステレオ印刷技術に関し、お役に立ちそうな資料が出た時は発表していきたい。

< 参考文献 >

- (1) 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)
- (2) 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

< 付録 >

参考文献に述べている立体視領域は、観察者とステレオ印刷との間で立体視しているときの「幾何学的関係」を図示し、その図から立体視領域を求める計算式を作成している。

N 式		逆N式
正立体視 前後方向	$D_1 = \frac{A+K}{A-K} D_0$ $D_2 = \frac{A+K}{A-K} D_0$	$D_1 = \frac{(A+K)}{2(x+\Delta x_s)} \left(\frac{z}{x} \right)$ $x = \frac{A}{2D_1} \left(\frac{z}{x} \right)$ $\Delta x_s = \frac{z}{2} \left(1 + \frac{x}{D_0} \right) \rho$
逆立体視 前後方向	$D_1 = \frac{A+K}{A-(K-2)K} D_0$ $D_2 = \frac{A+K}{A-(K-2)K} D_0$	$D_1 = \frac{(A+K)}{2(x-\Delta x_s)} \left(\frac{z}{x} \right)$ $x = \frac{A}{2D_1} \left(\frac{z}{x} \right)$ $\Delta x_s = \frac{z}{2} \left(1 + \frac{x}{D_0} \right) \rho$
左右方向	$B^* = 2K$	$B^* = \frac{z}{x} D_0$

ρ : レンチキュラーのピッチ [mm] D_0 : 立体視できる最近距離 [mm]
 K : 同像数 D_0 : 立体視できる最遠距離 [mm]
 A : 画像の幅 [mm] D_1 : 立体視できる最近距離 [mm]
 K : 同像数 [mm] D_2 : 立体視できる最遠距離 [mm]

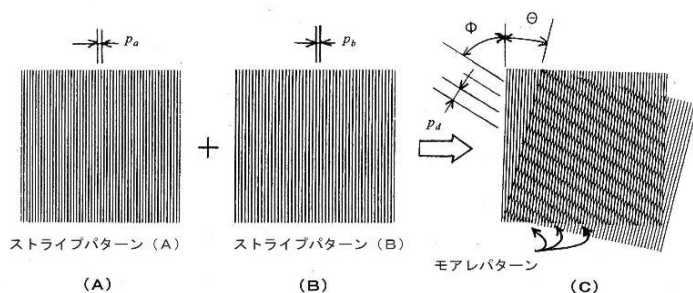
< 添付資料 >

EXCEL シート
「モアレの大きさから計算」

立体視領域をモアレの観点から計算する

I -1

モアレの大きさ・立体視領域

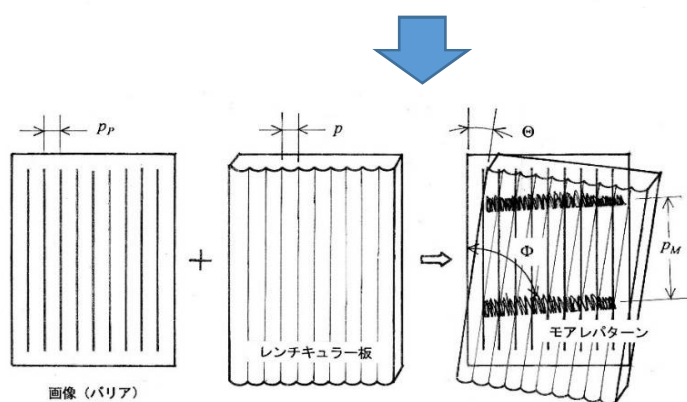


● モアレの基本式

$$p_d = \frac{p_a p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 - 2 p_a p_b \cos \Theta}}$$

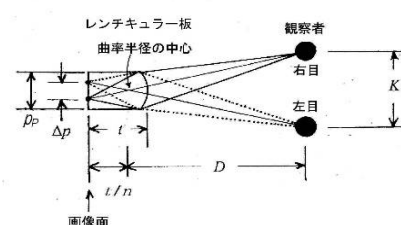
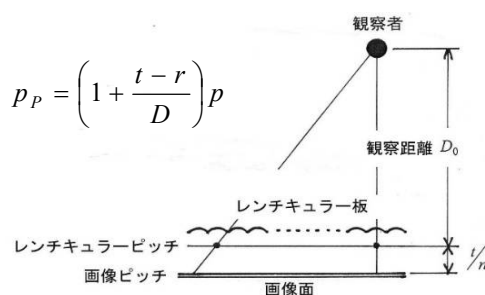
$$\tan \Phi = \frac{p_b \sin \Theta}{p_b \cos \Theta - p_a}$$

$$\Theta=0, p_a \neq p_b \text{ の時 } p_d = \frac{1}{\frac{1}{p_a} - \frac{1}{p_b}}$$



● L板

$$p_p = \left(1 + \frac{t-r}{D}\right) p$$



● 置き換え

p_a = 画像のピッチ = 画 p_p

p_b = L板の画像上に投影されたピッチ = L p_p

$p_d = p_M$

$$p_M = \frac{1}{\frac{1}{\text{画 } p_p} - \frac{1}{L p_p}}$$

● 対称商品

B × 2 判 横 大型 TPN 20 Lpi

L 形状

画像の幅	A =	2,000
合成画像数	N =	28
最適距離	D_0 =	2,500
眼間距離	K =	65

画 p_p =	1.2682
Δp =	0.0442
N =	28.7

r =	1.00
p =	1.2673
t =	2.70
材料	MS
屈折率 n =	1.53
t - r =	1.70

入 力

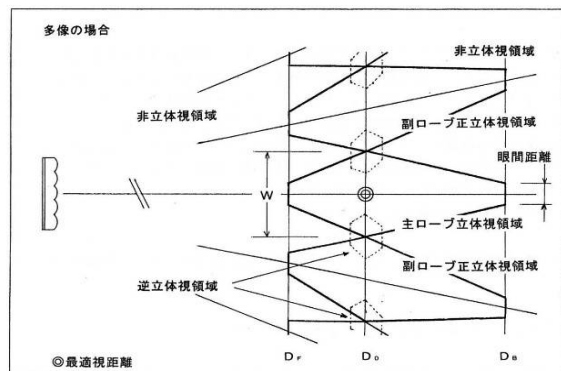
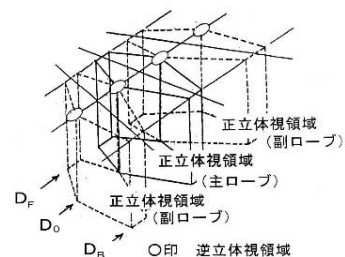
計算値

● モアレの大きさを計算

D	Lpp	画pp	PM
250	1.2759	1.2682	209
500	1.2716	1.2682	468
1,000	1.2695	1.2682	1,245
1,500	1.2687	1.2682	2,801
2,000	1.2684	1.2682	7,466
D ₀ = 2,500	1.2682	1.2682	無限大
5,000	1.2677	1.2682	3,731
10,000	1.2675	1.2682	2,487
20,000	1.2674	1.2682	2,132
40,000	1.2674	1.2682	1,989
80,000	1.2673	1.2682	1,925



3Dディスプレイ

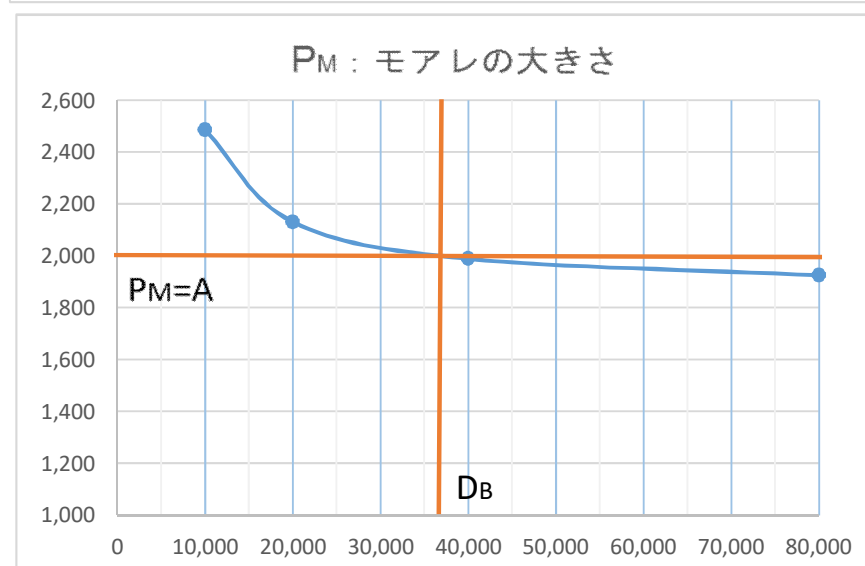
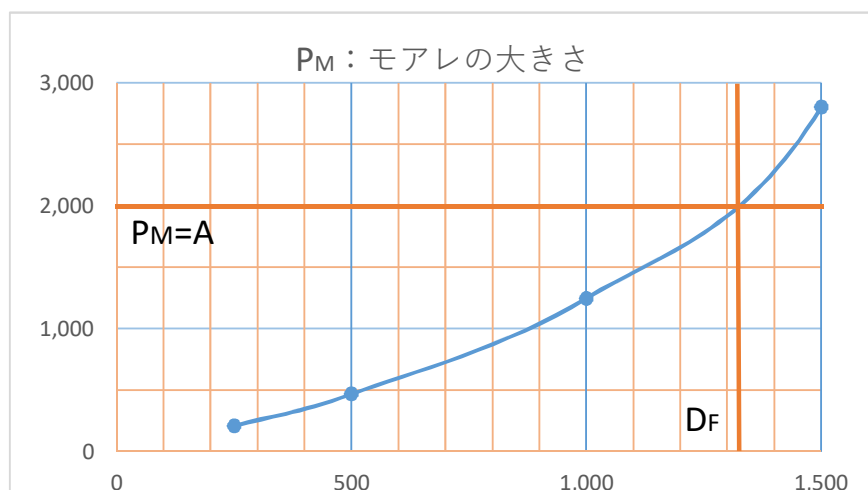


● グラフ

D	PM
250	209
500	468
1,000	1,245
1,500	2,801
2,000	7,466
D ₀ = 2,500	100,000
5,000	3,731
10,000	2,487
20,000	2,132
40,000	1,989
80,000	1,925

D_F : 立体視できる最近距離

D_B : 立体視できる最遠距離



I-2 立体視できる「最近距離」、および「最遠距離」を計算する

転送

p =	1.2673	mm
画 p p =	1.2682	mm
画像の幅 A =	2,000	mm
t-r=	1.70	mm

$$Lp_P = \frac{1}{\frac{1}{P_M} \pm \frac{1}{\text{画}p_P}}$$

$$P_M = A$$

$$D = \frac{p}{Lp_P - p}(t - r)$$

$$1/P_M = 0.000500$$

$$1/\text{画}p_p = 0.788543$$

$$Lpp+= 1.267358$$

$$Lpp-= 1.268966$$

$$D_F = 1,293 \text{ mm}$$

$$D_B = 37,045 \text{ mm}$$

$$Lpp+-p = 0.000058$$

$$Lpp--p = 0.001666$$

II モアレ±I本から計算する

A=	2,000
画pp=	1.2682
t-r=	1.70
p=	1.2673

$$Q_{\text{画}} = 1577.0859$$

$$-Lpp = 1.2689664$$

$$+Lpp = 1.2673582$$

$$-Lpp-p = 0.001666$$

$$+Lpp-p = 0.000058$$

$$D_F = 1293$$

$$D_B = 37,045$$

$$Q_{\text{画}} = \frac{A}{\text{画}p_P}$$

$$Q_L = \frac{A}{Lp_P}$$

$$Q_{\text{画}} - Q_L = \pm 1$$

$$Lp_P = \frac{1}{Q_{\text{画}} - 1}$$

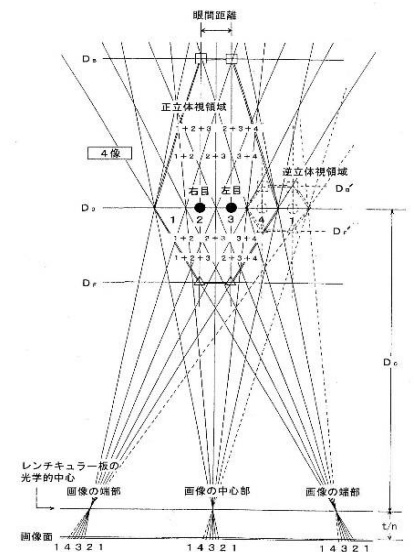
● 参考資料 EXCEL 「立体視領域」

< 参考資料 >

幾何学的関係から計算

			N 像式	連続多像式
正立体視	前後方向	D_F	$D_F = \frac{A+K}{A+NK} D_0$	$D_F = \frac{(A+K)}{2(x+\Delta x_F)} \left(\frac{t}{n} \right)$ $x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n} \right)$ $\Delta x_F = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{t}{n} \right)}{D_0} \right) p$
		D_0	D_0	
		D_B	$D_B = \frac{A+K}{A-(N-2)K} D_0$	$D_B = \frac{(A-K)}{2(x-\Delta x_B)} \left(\frac{t}{n} \right)$ $x = \frac{A}{2D_0} \left(\frac{t}{n} \right)$ $\Delta x_B = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\left(\frac{t}{n} \right)}{D_0} \right) p$
	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 D_0 : 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



観察位置	左目で見ている画像	右目で見ている画像
2 像	D_a L	R
	D_o L	R
	D_r L	R
4 像	D_a 4 3 2	3 2 1
	D_o 2 x ₂ 3 x ₃ 4	1 x ₁ 2 x ₂ 3
	D_r 2 3 4	1 2 3