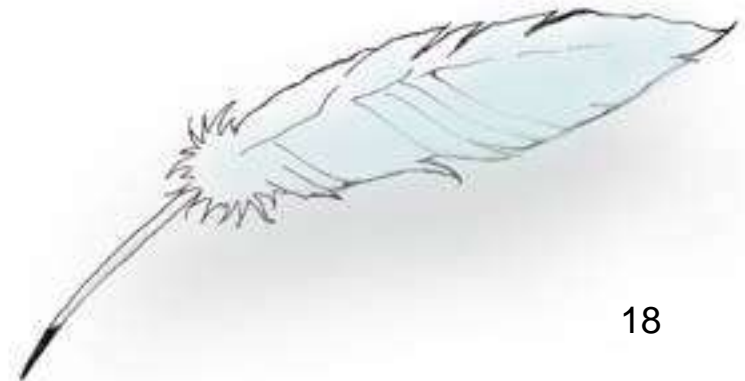


レンチキュラー方式3Dディスプレイ
市販レンチキュラー板の曲率半径を
計算する (その2 発表資料)

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**



課題が残っている

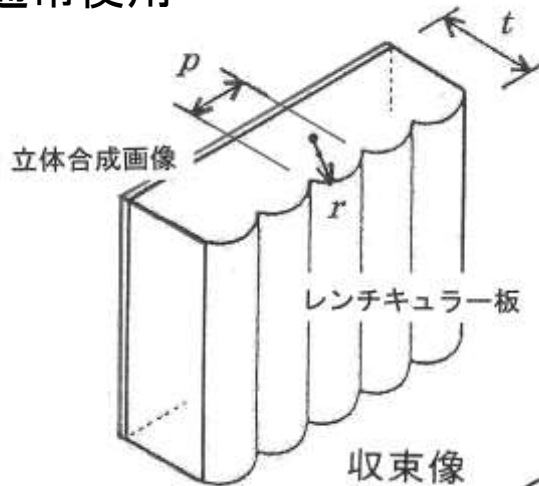


未来

立体TV放送の開始 **メガネなしで立体視出来る**

レンチキュラー板の形状

通常使用



レンチキュラー板の外観はシリンダリカルな形をした凸レンズが面状に並んでいる。

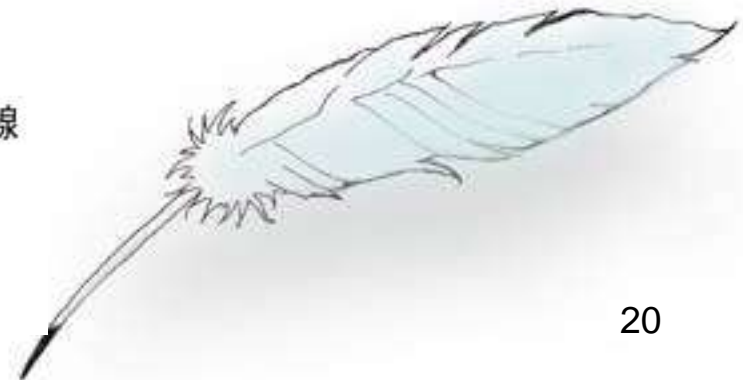
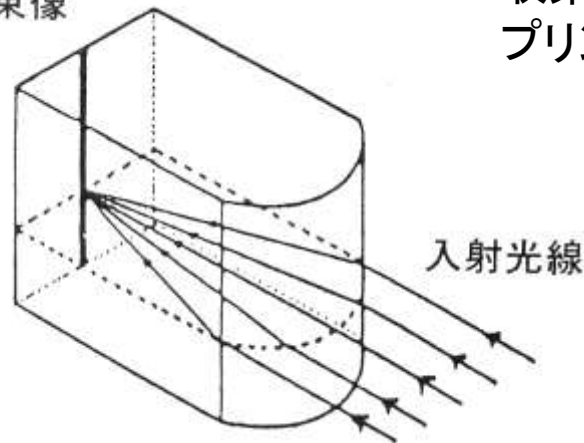
その断面形状 曲率半径 = r

ピッチ = p

最適厚さ = t

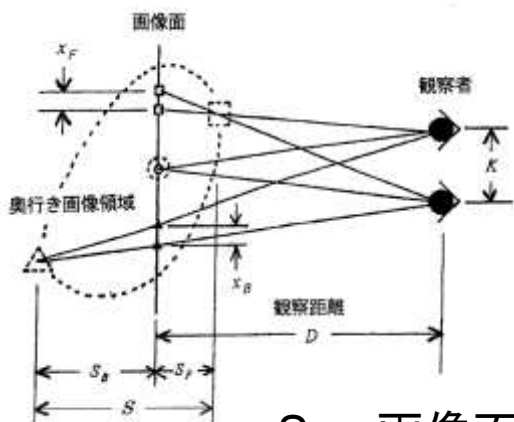
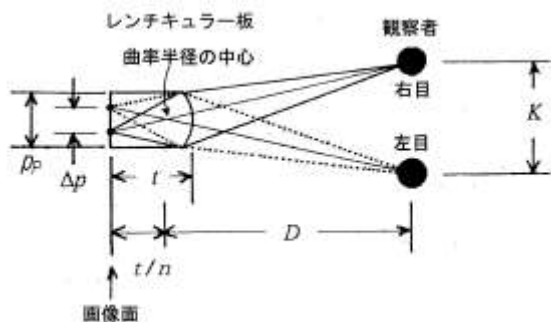
レンチキュラー板の裏面に立体合成された画像が密着されている。

収束像は細い縦線状のサンプリング画像となる



ステレオ印刷製品の幾何学的計算 計算式(1/3)

奥行き再現性 (立体感)



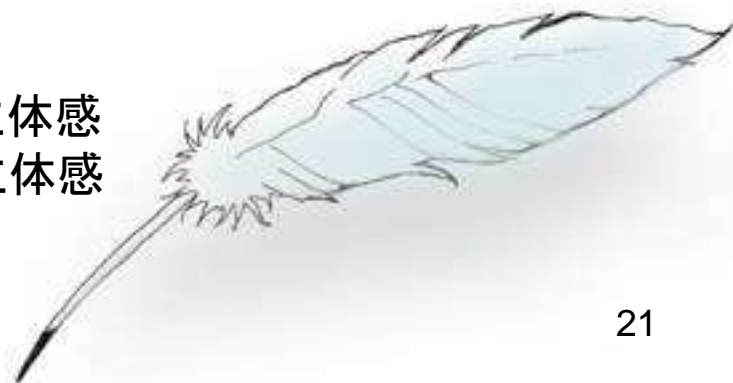
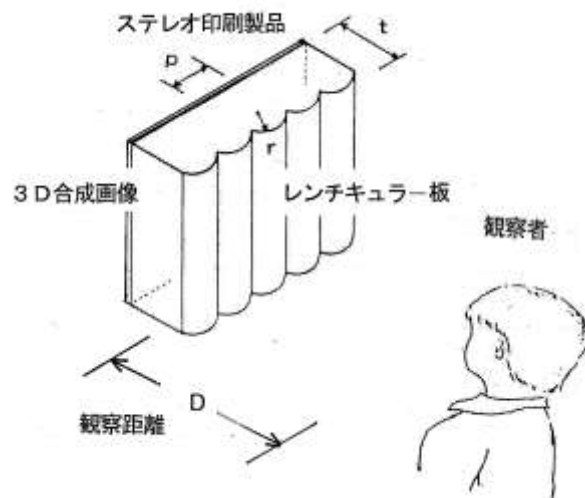
$$S_F = \frac{x_F D}{K + x_F}$$

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

$$S = S_F + S_B$$

S_F : 画像面より浮いて見える立体感

S_B : 画像面より沈んで見える立体感



ステレオ印刷製品の幾何学的計算 計算式(2/3)

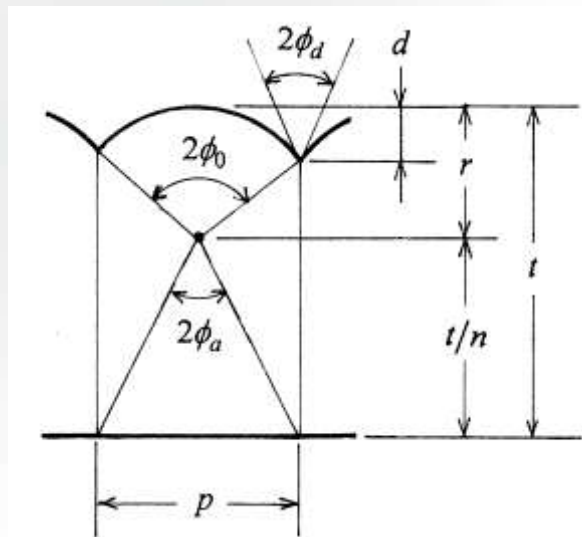
レンチキュラー形状の幾何学

$2\phi_a$: 視角、

$2\phi_0$: 開口角、

$2\phi_d$: 切削角、

d : 切削深さ



$$2\phi_a = 2 \tan^{-1} \frac{p}{2 \left(\frac{t}{n} \right)}$$

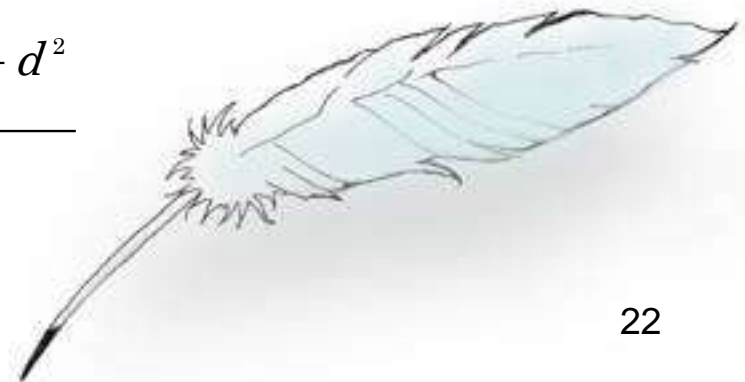
$$2\phi_0 = 2 \sin^{-1} \frac{p}{2r}$$

$$2\phi_d = 2 \cos^{-1} \frac{p}{2r}$$

$$d = r(1 - \cos \phi_0) = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{p}{2} \right)^2}$$

$$p = 2\sqrt{2rd - d^2}$$

$$r = \frac{\left(\frac{p}{2} \right)^2 + d^2}{2d}$$

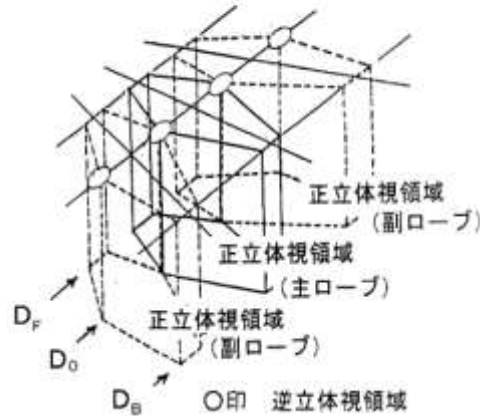


ステレオ印刷製品の幾何学的計算 計算式(3/3)

立体視領域



3Dディスプレイ



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

		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 : 立体視できる最遠距離[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

関与する計算式

最適厚さ : t を求める式

t(一般式)

$$t = \frac{n}{n-1} r$$

N.A.Valyus : 「STEREOSCOPY」
THE FOCULPRESS 1966

t : 厚さ

n : 屈折率

r : 曲率半径

$2\phi_0$: 開口角

t(大越式)

$$t = \frac{g(\phi_0)}{n^2 - 1} \{x(\phi_M) + r \sin \phi_0\} + r(1 - \cos \phi_0)$$

$$\phi_0 = \sin^{-1} \frac{p}{2r}$$

$$\phi_M = \frac{\phi_0}{2}$$

$$x(\phi_M) = r \frac{f(\phi_M) - f(\phi_0)}{g(\phi_M) + g(\phi_0)}$$

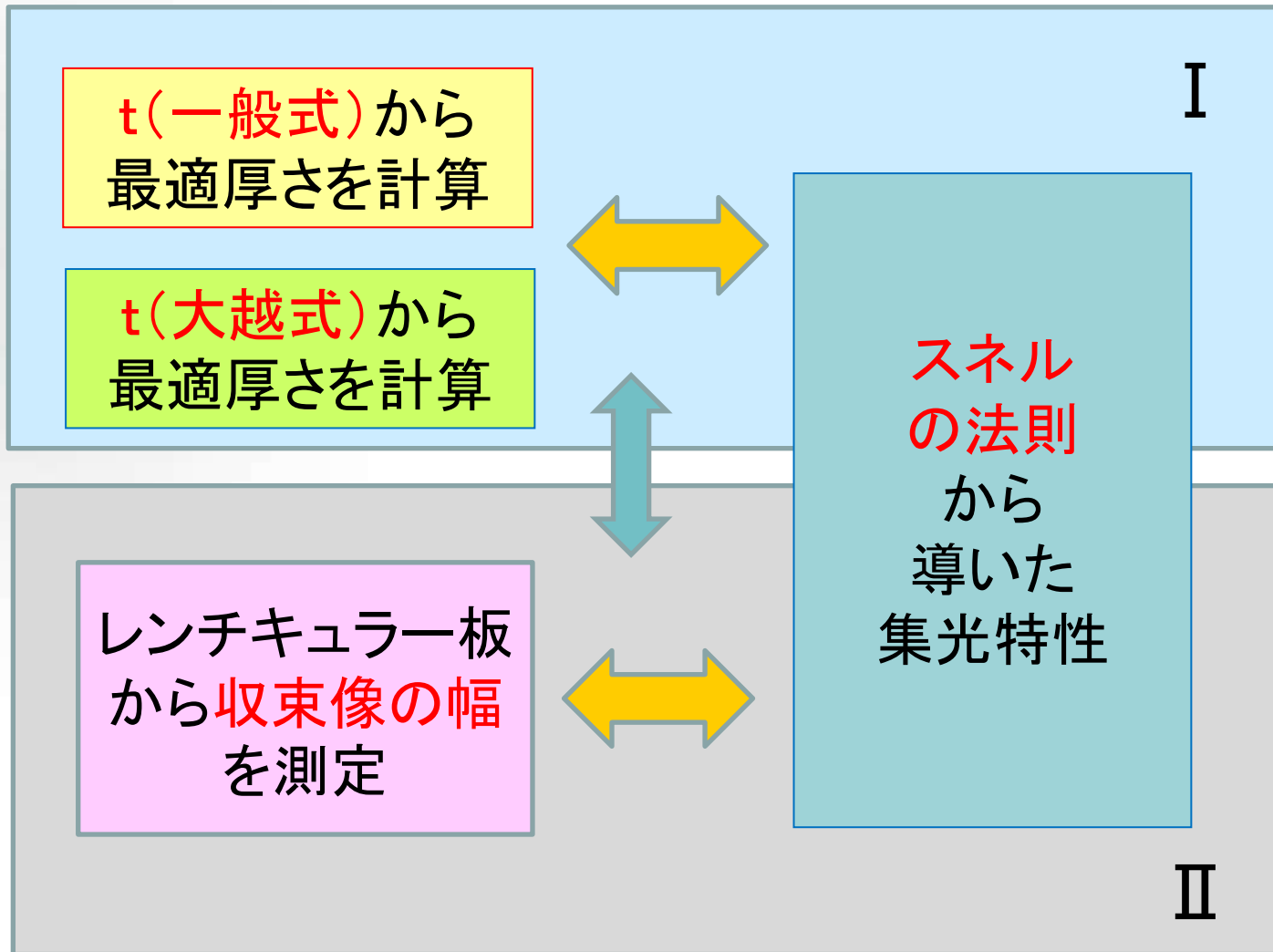
$$f(\phi) = \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi} + \cos \phi$$

$$g(\phi) = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \phi} + n^2 \cos \phi}{\sin \phi}$$

どちらの式が実用的か？

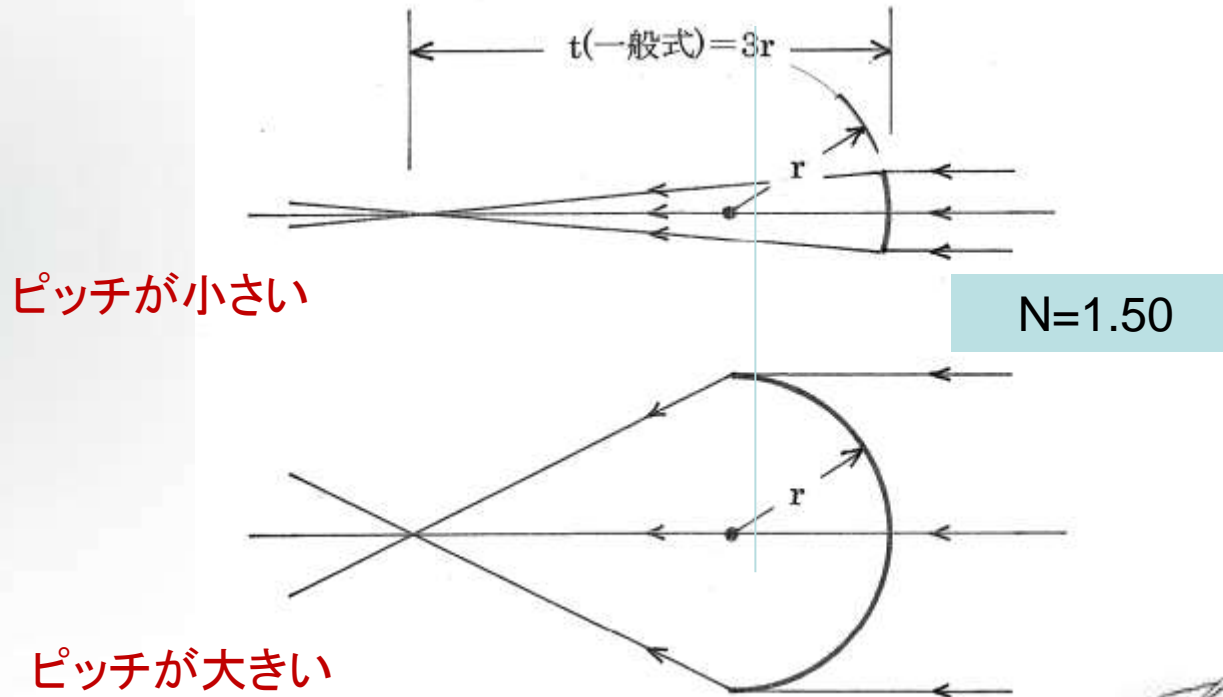
大越孝敬著「三次元画像工学」
産業図書(株) 1973

確認・最適厚さ



確認 (I) / 最適厚さを計算

t(一般式)



最適厚さは屈折率： n 、および曲率半径： r から計算され、
開口角に関係なく、一定値となる。

確認 (I) / 最適厚さを計算 t(大越式)

レンズ面に入射した光束は樹脂内の厚さ: t の位置に集光する。

通常、樹脂の厚さは t で造られており、
レンズとしての焦点距離 : f は

$$t = f$$

となる。

$$t = \frac{g(\phi_0)}{n^2 - 1} \{x(\phi_M) + r \sin \phi_0\} + r(1 - \cos \phi_0)$$

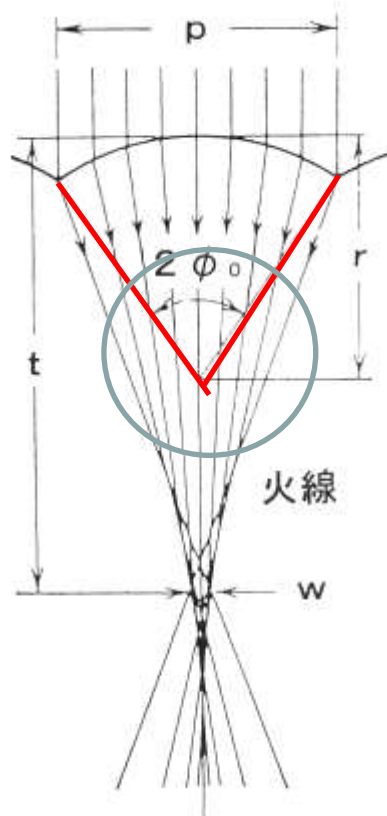


この時

最適厚さ: t は開口角により計算する

$2\phi_0$: 開口角

$p = 0$ の時 $2\phi_0 = 0$ $p = 2r$ の時 $2\phi_0 = 180$ 度となる



$$\phi_0 = \sin^{-1} \frac{p}{2r}$$

$$\phi_M = \frac{\phi_0}{2}$$

$$x(\phi_M) = r \frac{f(\phi_M) - f(\phi_0)}{g(\phi_M) + g(\phi_0)}$$

$$f(\phi) = \sqrt{n^2 - \sin^2 \phi} + \cos \phi$$

$$g(\phi) = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \phi} + n^2 \cos \phi}{\sin \phi}$$

確認 (I) / 最適厚さを計算 (スネルの法則 1/2)

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

レンズ面に入射

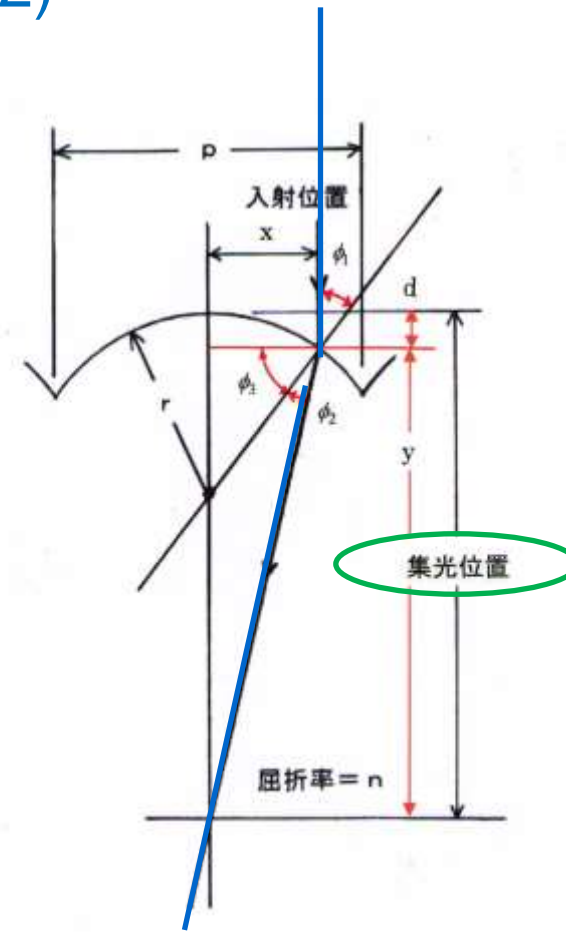
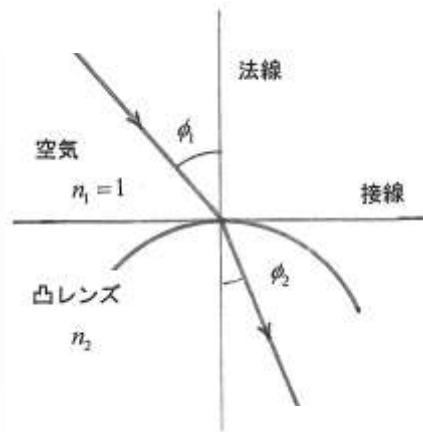


集光位置 = $d + y$

$$d = r - \sqrt{r^2 - x^2}$$

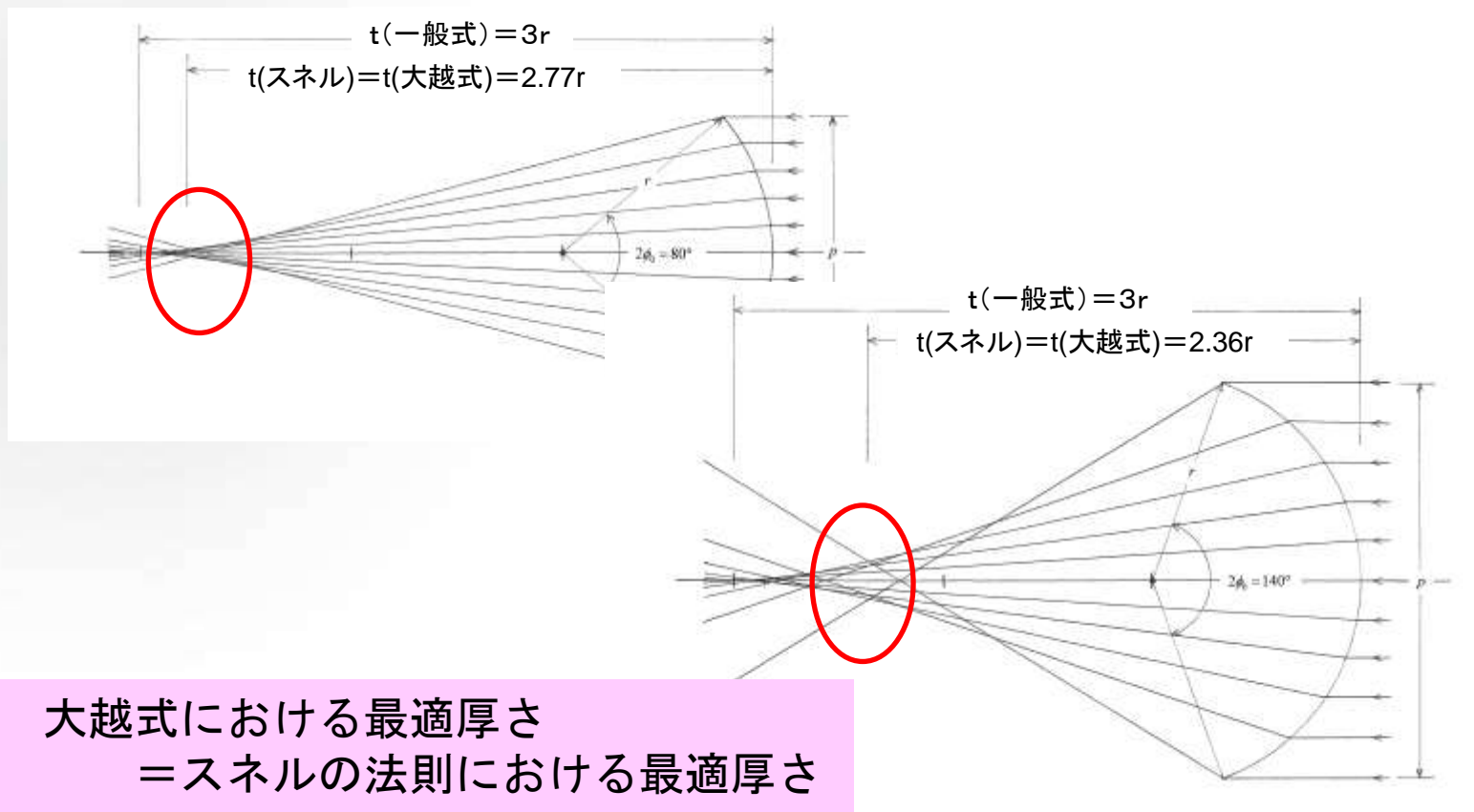
$$y = x \tan(\phi_3 + \phi_2)$$

$$= x \tan \left(\cos^{-1} \frac{x}{r} + \frac{\sin^{-1} \frac{x}{r}}{n} \right)$$



確認 (I) / 最適厚さを計算 (スネルの法則 2/2)

開口角 = 80度、および140度の場合



大越式における最適厚さ
= スネルの法則における最適厚さ
 \neq 一般式における最適厚さ

確認 (I) / まとめ・最適厚さ

t(一般式)から
最適厚さを計算

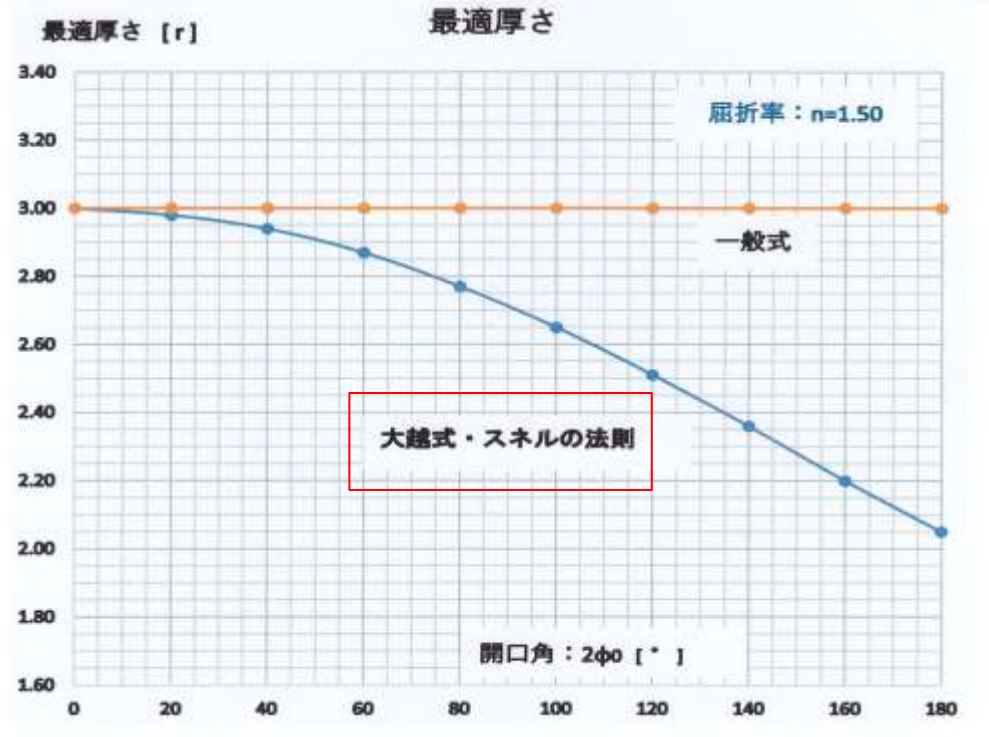
t(大越式)から
最適厚さを計算

スネルの法則
から導いた
集光特性

樹脂の屈折率: $n=1.50$

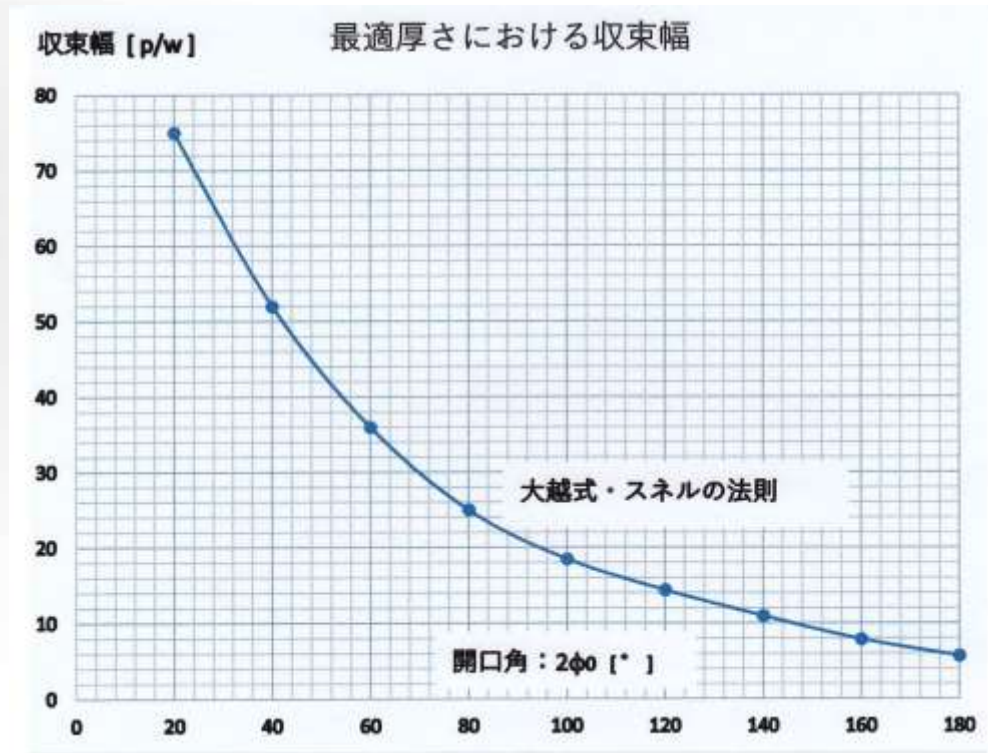


レンチキュラー板の最適厚さは大越式から計算できる



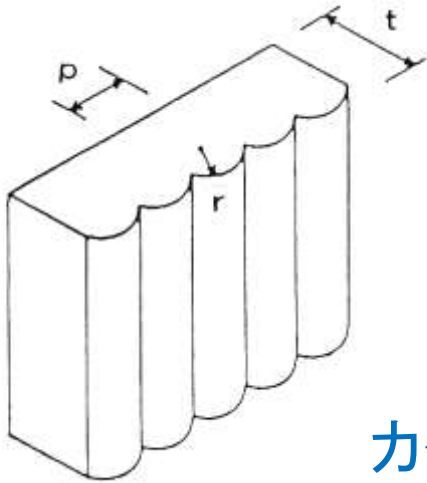
確認(Ⅱ) / まとめ・収束幅(解像力)

$$\text{収束幅 [w]} = \text{解像力 [p/w]} = \text{解像力 [本/p]}$$



3D画像用 = 開口角の小さなレンチキュラー形状が良い
2D画像用 = 開口角の大きなレンチキュラー形状が良い

市販のレンチキュラー板



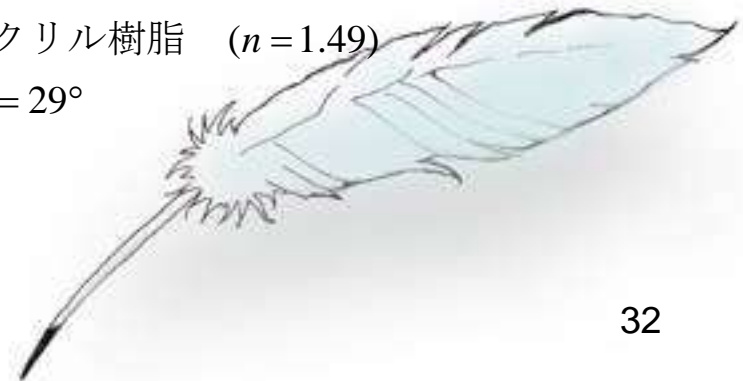
カタログに表示されている項目

- 用途 :3D用
- ピッチ : p
- 厚さ : t
- 切り替え角度 : $2\phi_a$ (視角)
- 材料名 : アクリル樹脂

カタログ数値の一例

- 用途 :3D用
- ピッチ : 20lpi ($p=1.2700\text{mm}$)
- 厚さ : $t=3.81\text{ mm}$
- 材料 : アクリル樹脂 ($n=1.49$)
- 視角 : $2\phi_a=29^\circ$

何故か、曲率半径 : r
の表示がない!?



市販のレンチキュラー板の
曲率半径を推定する (1/3)

(1) 視角を求める計算式から曲率半径を計算する

$$2\phi_a - 2 \tan^{-1} \frac{p}{2 \frac{t}{n}} \longrightarrow r = 1.35 \text{ mm}$$

大越式から最適厚さを計算する

$$r = 1.35 \longrightarrow t = 3.96 \text{ mm}$$



計算結果はカタログ数値と一致していない
➡正しい数値は別にある!?

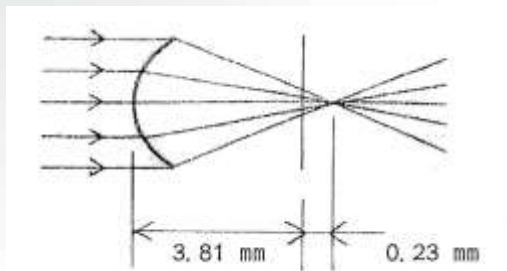


市販のレンチキュラー板の 曲率半径を推定する (2/3)

(2) カタログにあるレンチキュラー板を顕微鏡で
レンチキュラー形状を実測する

曲率半径： $r = 1.43 \text{ mm}$

収束位置を測定する



$$f = t = 3.81 + 0.23 \times 1.49 = 4.15 \text{ mm}$$



収束位置から曲率半径を計算する (大越式)

t (大越式) = 4.15 mm となる曲率半径は、

曲率半径： $r = 1.41 \text{ mm}$



市販のレンチキュラー板の 曲率半径を推定する (3/3)

- (3) 市販品のレンチキュラー板の多くを測定すると、
製品の厚さ \div 最適厚さの90%程度
の物が多い。
この時の曲率半径を大越式で計算すると、
曲率半径： $r=1.43$ mm

- (4) 球面収差、等を考慮する

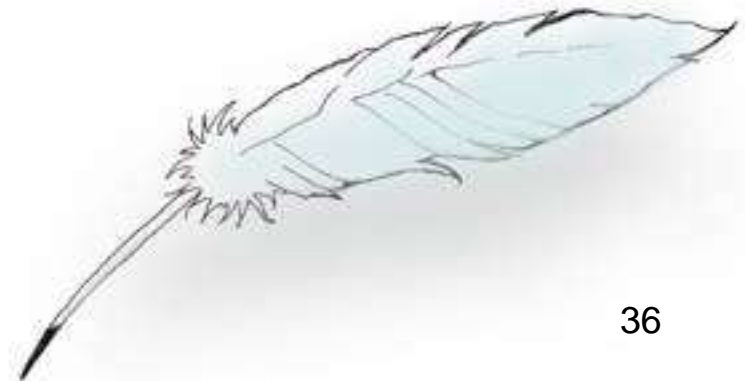
左右から観ているときは、球面収差が
上下から観ているときは、楕円形の集光特性が問題になる？
しかし、実質、観察位置による立体画像の
劣化は無い様だ！



市販のレンチキュラー板の 曲率半径を決定する

曲率半径を推定する (1/3, 2/3, 3/3) から
曲率半径を $r=1.43 \text{ mm}$ と決定する。

曲率半径を推定するための計算手順は本文に付録の
EXCEL「L形状／カタログから r を計算」
を使って簡単に計算できる。



付記

カタログ上のピッチは金型のピッチであり、
レンチキュラー板の製造方法により、
実際のピッチを実測すると、
やや小さめの値となっている。



製造現場では、実際のピッチにあった画像ピッチで
製版、印刷することになる。

< 計算上重要 >

レンチキュラー板の最適厚さ \neq 焦点距離
のため

t/n \rightarrow $(t-r)$ として計算すべき

レンチキュラー方式3Dディスプレイ
市販レンチキュラー板の曲率半径を計算する

ありがとうございました



© 2021 山田 千彦