

ティー・イー・エム セミナー 「フレネルレンズ」

2026年9月10日

チームオプト株式会社

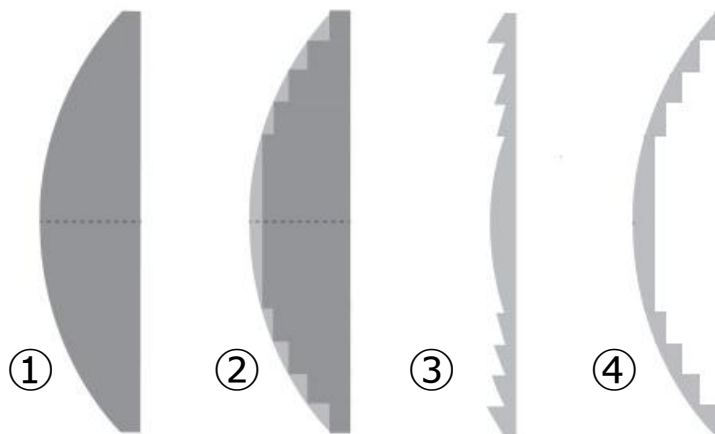
丸山 晃一

フレネルレンズとは

- フレネルレンズとは

通常のレンズを同心円状の領域に分割し、厚みを減らしたものをフレネルレンズと呼びます。薄型化 軽量化が特に有利な用途に使われますが収差補正にも特有な効果を持っています。

広く使われているフレネルレンズは、①のような凸レンズの屈折面の後の平板部分を取り除いてつないだ 鋸歯状の③のような断面形状をした平板型ですが、④図のような曲面側にレンズをシフトした形もあります。薄型化レンズではなくても、ベース面形状と異なる傾斜の屈折or反射面を持つ複数の領域でできているレンズはフレネルレンズです。



フレネルレンズの特徴

- レンズの光の損失

球面：

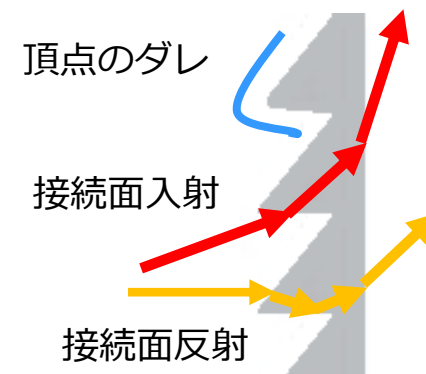
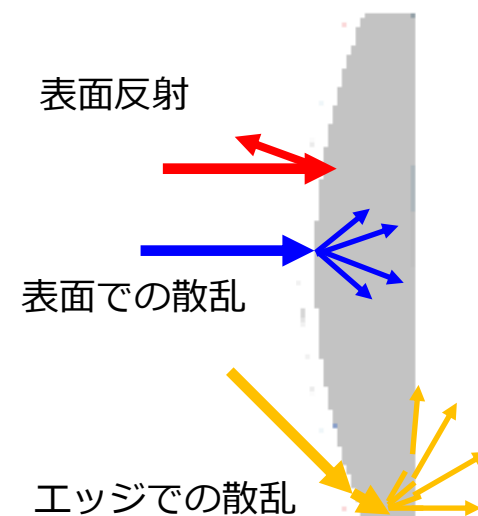
表面反射、エッジ部の散乱面、表面粗さによる散乱
(これらは他の面にも共通)

非球面：

金型加工痕による散乱 回折光

フレネル面：

球面非球面の光量損失に加えて
ファセット面頂点のダレによる屈折、接続面への入射、
接続面での全反射による迷光



シーケンシャルモードのフレネル面

- ZEMAXのシーケンシャル フレネル面

○フレネル : 屈折力を有する平面 (平面基板)
偶数次非球面と同じ屈折力定義式

○拡張フレネル : 平面、球面、多項式非球面基板 偶数次非球面と同じ基板
付加屈折力のために偶数次非球面類似の係数
(基板の形状+付加屈折力で屈折)

拡張フレネルの基板式

$$z_s = \frac{c_s r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_s) c_s^2 r^2}} + \alpha_1 r^2 + \alpha_2 r^4 + \alpha_3 r^6 + \alpha_4 r^8 + \alpha_5 r^{10} + \alpha_6 r^{12} + \alpha_7 r^{14} + \alpha_8 r^{16}$$

拡張フレネルの屈折力定義

$$z_F = \frac{c_F r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_F) c_F^2 r^2}} + \sum_{i=0}^n \alpha_i r^{2i}$$

フレネルレンズ設計の実際

- フレネル面の選択

一般にフレネルレンズは細いレンズ面の間の接続面に起因する迷光が発生し光量低下、ノイズ光の増加が起こるため、一つの光学系の中で非球面のように複数使う事はほとんどありません。基本的には1面だけの使用で考えます。

そこで、フレネルレンズを使う場合の最初の検討項目がどのレンズにフレネルを使うか、フレネル面をレンズの入射側に設けるか射出側に設けるかになります。

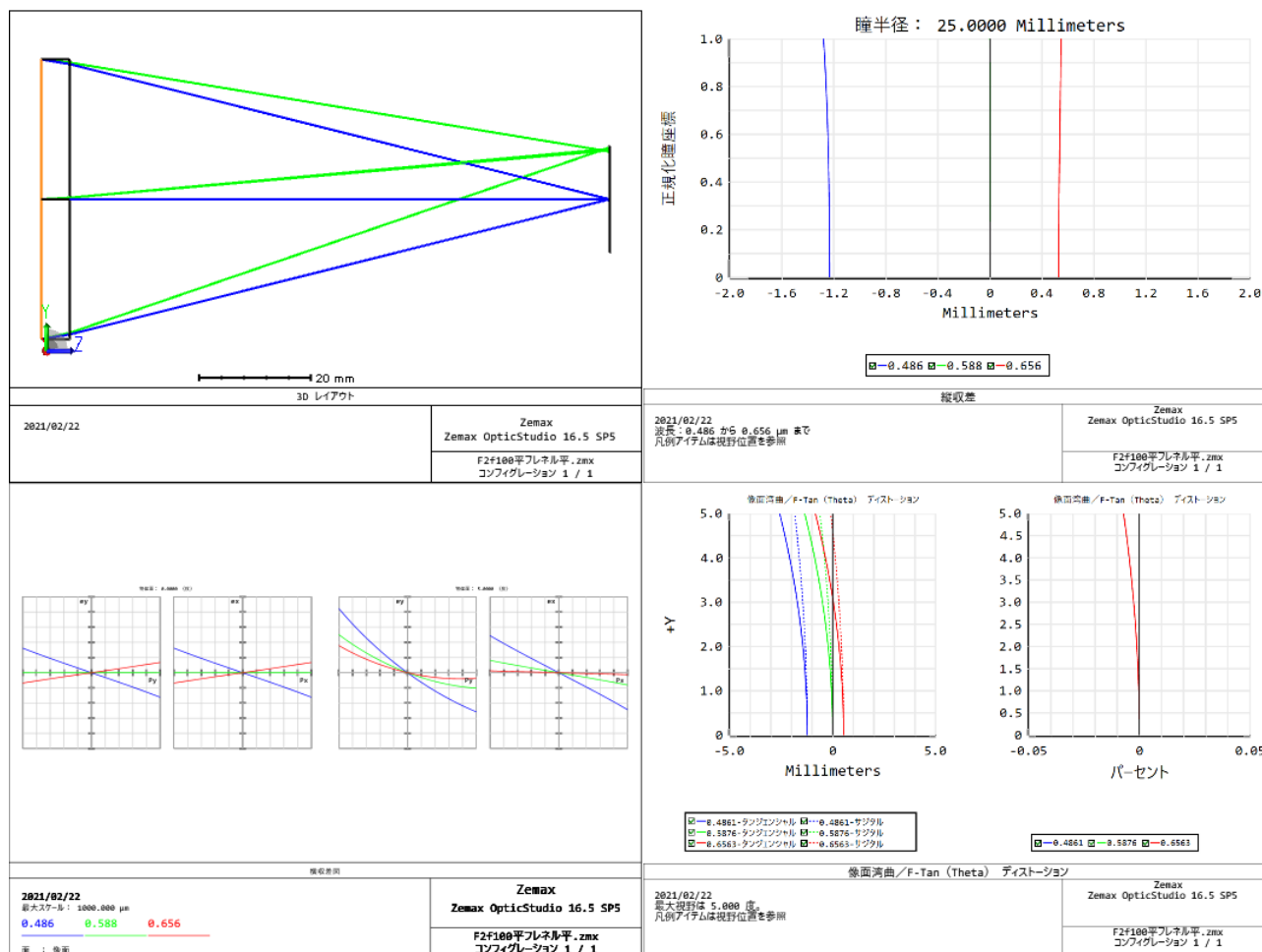
レンズ重量低減効果
加工容易性
光量損失 迷光発生
収差補正
モアレの発生

などを考慮して、フレネル面にする面を決定します。

フレネルレンズ設計の実際 面選択

- フレネル面の選択 F2/f100mm 平面フレネル-平面

オレンジ色が
フレネル面



フレネルレンズ設計の実際 面選択

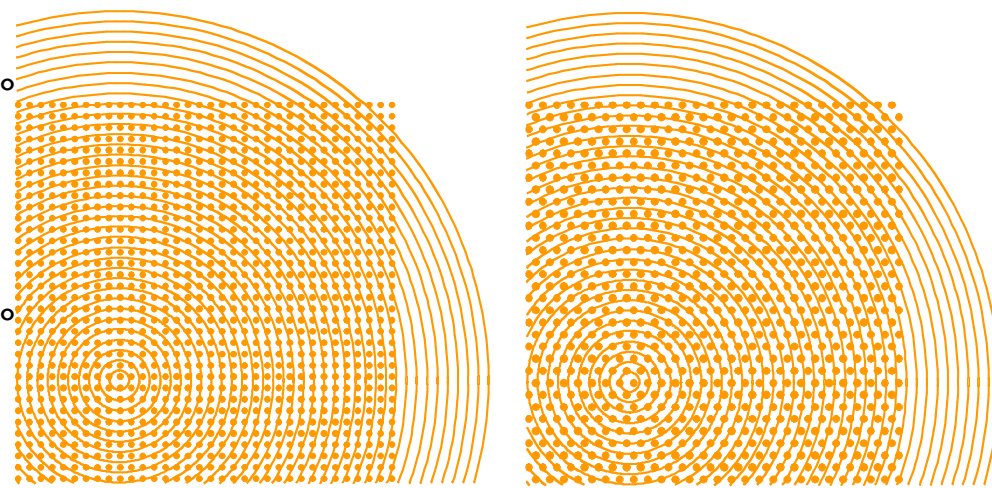
- フレネル面の選択 モアレ

フレネルレンズに特徴的な検討項目がモアレです。

表示 撮像素子は素子の周波数に近い周期構造とモアレが発生しますが、フレネルレンズの同心円パターンは場所によりX Y方向の周波数が変わるので、規則的構造を持つ素子の近くにフレネルレンズを置くとモアレが発生します。

モアレを回避するには

- ・フレネル面をパターン位置から離し
フレネル面上で光束が広がるようにする。
- ・繰り返し構造とフレネルのピッチを
大きく異なったものにする。
- ・フレネルの頂点 ボトムの転写を良く
して、リング状の光量変化を小さくする。
等の対応を行います。



フレネルレンズ設計の実際 微細形状

- 微細形状の作成 ノンシーケンシャル評価

拡張フレネルレンズのノンシーケンシャルコンポーネントとしての評価例です。
シーケンシャル面では出ない 明らかにおかしな向きの光線がたくさん出ています。
C:\Users\XXXX\Documents\Zemax\Objects\Tabulated Objects\ の下に
fresnel31.TOB ファイルを保存

