

「レンズ設計支援プログラム」  
取扱説明書

Ver 1.1  
2017. 7. 19

## 目次





1.	はじめに	3
2.	本書の見方	3
3.	動作環境	3
4.	画面の名称	4
	「メイン」画面	4
	「新規作成」ダイアログ	5
	「硝材データ入力」ダイアログ	5
	「改訂履歴」ダイアログ	6
	「PDF 出力」ダイアログ	6
	「設定」ダイアログ	7
5.	使い方	8
	レンズを設計する	8
	硝材データを入力する（既存の硝材を選択する場合）	11
	硝材データを入力する（数値のみ入力する場合）	13
	入力した硝材データを登録（保存）する	14
	レンズの焦点距離・重さを確認する	14
	改訂履歴を入力する	15
	改訂履歴のバージョンを上げる	16
	図面を出力する	17
	入力データを保存する	19
	以前保存したデータを読み込む	20
	データ保存先フォルダをエクスプローラで表示	21
	設定を変更する	22
6.	計算式	23
	深さ	23
	コバ厚	23
	焦点距離	23
	面取巾	24
	体積	24
	重さ	24

## 1. はじめに

「レンズ設計支援プログラム」（以降、本プログラムと表記）は「外径」「センター厚」「曲率半径」「内径」を指定することでレンズの設計書を自動作成するソフトウェアで、Windows 搭載のパソコンで動作します。

## 2. 本書の見方

本書では、画面の説明箇所では以下のイラストを用いています。

- ユーザが行う動作は 
- その結果、変化する事柄は 
- ヒントや注意事項は 
- 図の中でユーザがクリックする箇所は 

## 3. 動作環境

項目	内容
OS	Windows XP 以降
必要なソフトウェア	①. NET Framework 3.5 ②Acrobat Reader 等の PDF ビューアプログラム
モニタ解像度	1024×768 以上

## 4. 画面の名称

以下は、本プログラムで表示される画面の一覧です。

### 「メイン」画面

杉藤レンズ設計支援プログラム (新規)

ファイル 設定 ヘルプ

The main screen displays a technical drawing of a lens with the following dimensions and features:

- Top width: 3.158
- Top chamfer width: 1 (on both sides)
- Top chamfer angle:  $\angle 45^\circ$  (on both sides)
- Left radius: 40R
- Right radius: -50R
- Bottom chamfer width: 1.026 (left) and 0.817 (right)
- Bottom chamfer angle:  $\angle 45^\circ$  (on both sides)
- Bottom width: 5
- Outer diameter:  $\phi 20$
- Inner diameter:  $\phi 18$
- Center thickness: 5

At the bottom of the drawing area, the following parameters are displayed:

焦点距離(mm)	体積(cm <sup>3</sup> )	重さ(g)
-	1.2273	-

**材質**

メーカー  硝材名

Nd   $\nu d$   比重

**レンズ形状**

	許容誤差1	許容誤差2
外径	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="+0.01"/> <input type="text" value="-0.01"/>
センター厚	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="+0.01"/> <input type="text" value="-0.01"/>

形状: 左面  右面

	左面	右面
内径	<input type="text" value="18"/>	<input type="text" value="18"/>
深さ	<input type="text" value="1.0257"/>	<input type="text" value="0.8167"/>

許容誤差1:

許容誤差2:

曲率半径	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="50"/>
面取角度	<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>
面取巾	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

**レンズ情報**

コート径 $\geq$	<input type="text" value="φ"/>	<input type="text" value="φ"/>
コート種類	<input type="text"/>	<input type="text"/>
反射率 $\leq$	<input type="text"/>	<input type="text"/>
有効径 $\geq$	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Newton<	<input type="text"/>	<input type="text"/>
As<	<input type="text"/>	<input type="text"/>
外観	<input type="text"/>	<input type="text"/>
偏芯 $\leq$	<input type="text"/>	<input type="text"/>









**図面情報**

タイトル	<input type="text"/>	パーツ <input type="text"/>
図面No	<input type="text"/>	公差 <input type="text" value="±"/>
設計	<input type="text"/>	作図 <input type="text"/>
承認	<input type="text"/>	承認 <input type="text"/>
履歴	<input type="text"/>	

## 「新規作成」ダイアログ

新規作成

基本となるレンズの形を選んでください。(後で変更することもできます)

凸レンズ	凹レンズ	メニスカス
		
		
		

## 「硝材データ入力」ダイアログ

硝材データ入力

リストから選択

SCHOTT HOYA OHARA HIKARI	検索	<input type="text"/>
		<input type="text"/>

手入力

メーカー	型名	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	データ登録

(精度)

Nd	<input type="text"/>	±0.0005	
νd	<input type="text"/>	±0.5%	キャンセル
比重	<input type="text"/>		決定

## 「改訂履歴」ダイアログ

改訂履歴		
No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成
2	2017/03/15	〇〇を変更

行追加      最終行削除      メイン画面に戻る

## 「PDF出力」ダイアログ

PDF出力

言語       日本語     英語

作図倍率     自動       指定   

キャンセル      出力

## 「設定」ダイアログ

設定

初期値 図面

**レンズ形状初期値**

		許容誤差1	許容誤差2
外径	20	+0.01	-0.01
センター厚	5	+0.01	-0.01
深さ(左)		+0.01	-0.01
深さ(右)		+0.01	-0.01
Nd(精度)	±0.0005		
vd(精度)	±0.5%		

	左面	右面
曲率半径	40	50
面取角度	45	45
面取巾	1	1

**レンズ情報初期値**

コート径	φ	Newton	
コート種類		As	
反射率		外観	
有効径		偏芯	

**図面情報初期値**

公差	±
----	---

保存フォルダ

保存して終了

設定

初期値 図面

**図面の色**

	画面	PDF
レンズ		
寸法線		
引出し線		
軸		
コート指示		
文字(寸法)		
		枠
		文字(項目)
		文字(情報)

**フォント**

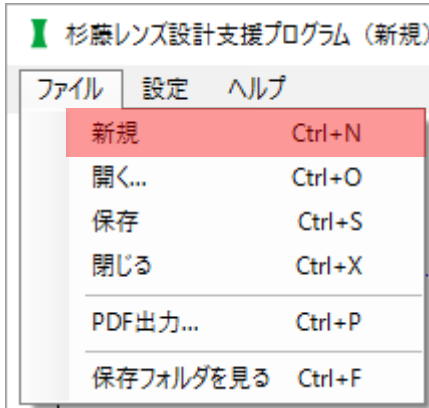
	画面	PDF
文字(寸法)	MSゴシック 12	MSPゴシック 12
文字(項目)		MSPゴシック 12
文字(情報)		MSPゴシック 12

保存して終了

## 5. 使い方

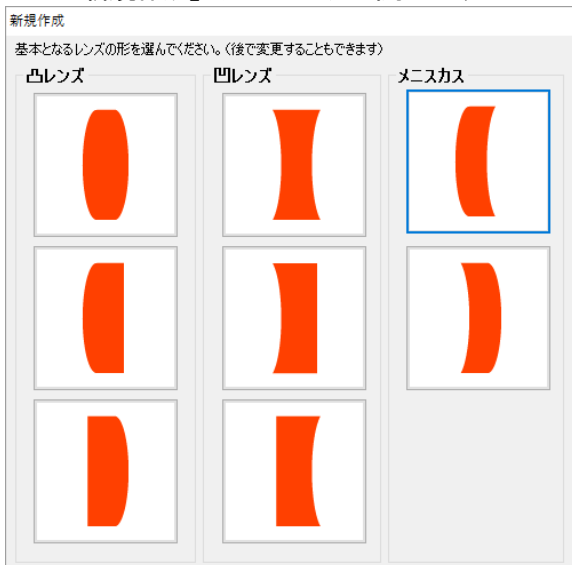
### レンズを設計する

- 👉 「メイン」画面から「メニュー」→「ファイル」→「新規」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+N」を入力します。



- 💡 プログラムを「スタート」から起動した直後はこの操作は不要です。

- ➡ 「新規作成」ダイアログが開きます



- 👉 基本となるレンズの形をクリックします。





選択したレンズの形がメイン画面に反映されます。

杉藤レンズ設計支援プログラム (新規)

ファイル 設定 ヘルプ

焦点距離(mm) 体積(cm<sup>3</sup>) 重さ(g)  
- 1.2273 -

**鏡材**  
メーカ 硝材名  
N<sub>d</sub> 0 ν<sub>d</sub> 0 比重 0

**レンズ形状** 許容誤差1 許容誤差2

外径	20	+0.01	-0.01
センター厚	5	+0.01	-0.01
		<b>左面</b>	<b>右面</b>
形状	凸	凸	凸
内径	18	18	
深さ	1.0257	0.8167	
許容誤差1	+0.01	+0.01	
許容誤差2	-0.01	-0.01	
曲率半径	40	50	
面取角度	45	45	
面取巾	1	1	

**レンズ情報**

コート径 $\geq$	$\phi$	$\phi$
コート種類		
反射率	$\leq$	$\leq$
有効径 $\geq$		
Newton<		
As<		
外観		
偏芯 $\leq$		

**図面情報**

タイトル パーツ  
図面No 公差 土  
設計 作図 承認  
履歴



「レンズ形状」に表示される初期値は設定で変更することができます。



「メイン」画面右側の「レンズ形状」の値を変更していきます。

**レンズ形状** 許容誤差1 許容誤差2

外径	20	+0.01	-0.01
センター厚	5	+0.01	-0.01
		<b>左面</b>	<b>右面</b>
形状	凹	凹	凹
内径	18	18	
深さ	1.0257	0.8167	
許容誤差1	+0.01	+0.01	
許容誤差2	-0.01	-0.01	
曲率半径	40	50	
面取角度	45	45	
面取巾	1	1	



値を変更したあとに「Enter」キーを押すと、図面が再描画されます。

このとき、入力位置は移動しません。

例) 曲率半径(左)に「50 Enter」を入力した時の状態

曲率半径	50	50
面取角度	45	45
面取巾	1	1

💡 値を変更したあとに「Tab」キーを押すと、入力位置が次のボックスに移動し、図面も再描画されます。

例) 曲率半径(左)に「30 Tab」を入力した時の状態

曲率半径	30	50
面取角度	45	45
面取巾	1	1

💡 値を変更した結果、レンズの形状に矛盾が生じたときは、図面の背景色が黄色になり、エラーであることを示します。

なお、エラーの状態ではPDF出力することはできません。

杉蔭レンズ設計支援プログラム (新規)

ファイル 設定 ヘルプ

材質  
メーカ  硝材名   
Nd 0  νd 0  比重 0

レンズ形状  
外径 20  許容誤差1 +0.01  許容誤差2 -0.01   
センター厚 5  許容誤差1 +0.01  許容誤差2 -0.01   
形状 凸  凸   
内径 18  18   
深さ 5.641  0.817   
許容誤差1 +0.01  +0.01   
許容誤差2 -0.01  -0.01   
曲率半径 10  50   
面取角度 45  45   
面取巾 0.5  0.5

レンズ情報  
コート径 ≧  φ   
コート種類   
反射率 ≧   
有効径 ≧   
Newton <   
As <   
外観   
偏芯 ≧

図面情報  
タイトル  パーツ   
図面No  公差 ±   
設計  作図  承認   
履歴

焦点距離(mm)  体積(cm<sup>3</sup>)  重さ(g)

💡 「深さ」を変更すると、自動的に「内径」の値が変わります。

💡 「内径」を変更すると、自動的に「深さ」値が変わります。

## 硝材データを入力する（既存の硝材を選択する場合）

☞ メイン画面右上の「硝材」の中の「メーカー」または「硝材名」横のボタンをクリックします


硝材	
メーカー	硝材名
Nd 0	νd 0 比重 0

➡ 「硝材データ入力」ダイアログが開きます。

硝材データ入力	
<input checked="" type="radio"/> リストから選択	
SCHOTT HOYA OHARA HIKARI	検索 <input type="text"/>
<input type="radio"/> 手入力	
メーカー	型名
<input type="text"/>	<input type="text"/>
データ登録	
(精度)	
Nd	<input type="text"/> ±0.0005
νd	<input type="text"/> ±0.5%
比重	<input type="text"/>
キャンセル	
決定	

☞ 「メーカー」と「硝材名」をリストから選択します。


硝材データ入力	
<input checked="" type="radio"/> リストから選択	
SCHOTT HOYA OHARA HIKARI	検索 <input type="text"/>
FC5 FCD1 FCD1B FCD10A FCD100 FCD505 FCD515 FCD705 PCD4 PCD40 PCD51	<input type="text"/>

 硝材名がたくさん表示されて探すのが困難なときは、「検索」欄に硝材名の一部を入力すると、表示行を絞り込むことができます。大文字・小文字は区別されません

硝材データ入力

リストから選択

SCHOTT	検索	fk
HOYA		
OHARA		FK5HTi
HIKARI		N-FK5
		N-FK51A
		N-FK58
		FK3

 「決定」ボタンを押し、ダイアログを閉じます。  
※「決定」ボタンは硝材名を選択しないと、押すことができません。

硝材データ入力

リストから選択

SCHOTT	検索	fk
HOYA		
OHARA		FK5HTi
HIKARI		N-FK5
		N-FK51A
		N-FK58
		FK3

手入力

メーカー	型名	
		データ登録

(精度)

Nd	1.4866	±0.0005	
νd	84.47	±0.5%	キャンセル
比重	3.68		決定

 メイン画面に入力が反映されます。

硝材

メーカ	SCHOTT	硝材名	N-FK51A		
Nd	1.4866	νd	84.47	比重	3.68

## 硝材データを入力する（数値のみ入力する場合）

☞ 「硝材データ入力」ダイアログで「手入力」を選択し、「Nd」「 $n_d$ 」「比重」に値を入力します。  
「メーカー」「型名」は空欄で構いません。

硝材データ入力

リストから選択

SCHOTT HOYA OHARA HIKARI	検索	<input type="text"/>
<input type="text"/>		

手入力

メーカー	型名	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	データ登録

(精度)

Nd	<input type="text"/>	±0.0005
$n_d$	<input type="text"/>	±0.5%
比重	<input type="text"/>	

キャンセル

決定

## 入力した硝材データを登録（保存）する

手入力したデータを保存して次回も使いたいときは登録することができます。保存したデータは設定した保存先フォルダ配下の glassUser.csv に書き込まれます

👉 「硝材データ入力」ダイアログで「手入力」を選択し、「メーカー」「型名」「Nd」「 $\nu$ d」「比重」に値を入力し、「データ登録」ボタンを押します。

● 手入力

メーカー 型名

some typeA

データ登録

(精度)

Nd 1.2 ±0.0005

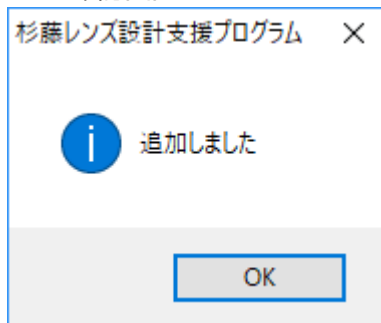
$\nu$ d 2.3 ±0.5%

比重 3.5

キャンセル

決定

➡ 確認画面メッセージができれば登録成功です。



➡ リストに登録されるので、次回はリストから選択できます。

硝材データ入力

● リストから選択

SCHOTT

HOYA

OHARA

HIKARI

some

検索

typeA

## レンズの焦点距離・重さを確認する

👉 「硝材データ」を入力すると自動的に計算され、図面の下部に表示されます。

焦点距離(mm) 44.0792 体積(cm<sup>3</sup>) 4.3822 重さ(g) 15.7322

## 改訂履歴を入力する


 メイン画面右下の「履歴」横のボタンをクリックします

図面情報			
タイトル	<input type="text"/>	パーツ	<input type="text"/>
図面No	<input type="text"/>	公差	<input type="text" value="±"/>
設計	<input type="text"/>	作図	<input type="text"/>
承認	<input type="text"/>		
履歴	<input type="text"/>		


 「改訂履歴」ダイアログが開きます

改訂履歴		
No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成

※初めて改訂履歴を入力する際は、自動的に1行挿入され、「今日」の日付が設定されます。

 必要なら日付/コメントを変更し、「メイン画面に戻る」をクリックします。

改訂履歴		
No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成

 メイン画面に入力が反映されます。

図面情報			
タイトル	<input type="text"/>	パーツ	<input type="text"/>
図面No	<input type="text"/>	公差	<input type="text" value="±"/>
設計	<input type="text"/>	作図	<input type="text"/>
承認	<input type="text"/>		
履歴	No.1 2017/03/15 新規作成		

## 改訂履歴のバージョンを上げる

👉 「改訂履歴」ダイアログで「行追加」ボタンをクリックします

改訂履歴

No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成

行追加 最終行削除 メイン画面に戻る

➡ 新しい行が追加されます。  
※日付には「今日」の日付が自動的に設定されます。

改訂履歴

No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成
2	2017/03/15	

行追加 最終行削除 メイン画面に戻る

👉 コメントを入力し、必要なら日付を修正して、「メイン画面に戻る」をクリックします。

改訂履歴

No	日付	コメント
1	2017/03/15	新規作成
2	2017/03/15	〇〇を変更

行追加 最終行削除 メイン画面に戻る

➡ メイン画面に入力が反映されます。

図面情報

タイトル		パーツ	
図面No		公差	±
設計		作図	
承認			
履歴	No.2 2017/03/15 〇〇を変更		



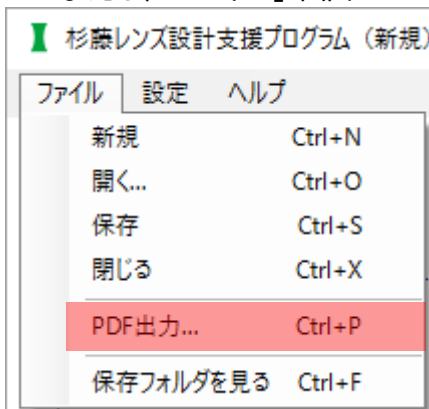
## 図面を出力する

👉 「メイン」画面で、「タイトル」「パーツ」「図面No」「改訂履歴」を入力します。

図面情報			
タイトル	<input type="text"/>	パーツ	<input type="text"/>
図面No	<input type="text"/>	公差	<input type="text" value="±"/>
設計	<input type="text"/>	作図	<input type="text"/>
承認	<input type="text"/>	履歴	<input type="text"/>

ここ以外の項目は空欄のままでも出力できますが、ここが空欄だと出力できません。

👉 「メイン」画面から「メニュー」→「ファイル」→「PDF 出力...」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+P」を入力します。



➡ 「PDF 出力」ダイアログが開きます。

PDF出力	
言語	<input checked="" type="radio"/> 日本語 <input type="radio"/> 英語
作図倍率	<input checked="" type="radio"/> 自動 <input type="radio"/> 指定 <input type="text" value="5"/>
<input type="button" value="キャンセル"/> <input type="button" value="出力"/>	

👉 言語、倍率を選んで「出力」ボタンを押します。

💡 倍率を「自動」にした場合、出力予定の倍率が表示されます。

💡 倍率を「指定」にする場合、「0.01」「0.5」「1」「10」など、正の実数を入力してください。



図面のPDFが生成され、ビューソフトが起動し図面を表示します。

The screenshot shows a PDF viewer window titled "1\_test\_a\_1.pdf - Adobe Acrobat". The main content is a technical drawing of a lens with various dimensions and tolerances. Below the drawing is a table with specifications for the left and right sides of the lens, and a revision history table.

項目	左	右
硝材	SCHOTT FK5HTi nd: 1.487±0.0005	$\nu_d$ : 70.47±0.5%
コート径	$\geq \phi$	$\geq \phi$
コート種類	マルチ	マルチ
反射率	$\leq$	$\leq$
有効径	$\geq$	$\geq$
精度	Newton < As <	Newton < As <
外観		
偏芯	$\leq$	
計算	焦点距離: 46.431mm 体積: 1.23cm <sup>3</sup> 重さ: 3.01g	

改訂履歴	公差	±	タイトル	test
No.1 新規作成	縮尺	x 5	パーツ	a
	承認	作図	設計	図面No
				1
			作成日	2017/07/16

株式会社 杉藤 (SUGITOH Co.,Ltd)



PDFビューソフトがインストールされているときは、インストール済みのソフトが起動します。インストールされていないときは、「SumatraPDF」という非常に軽いPDFビューアが起動します。



ファイル名は「図面No」\_「タイトル」\_「パーツ」\_「改訂履歴番号」.pdf となります。

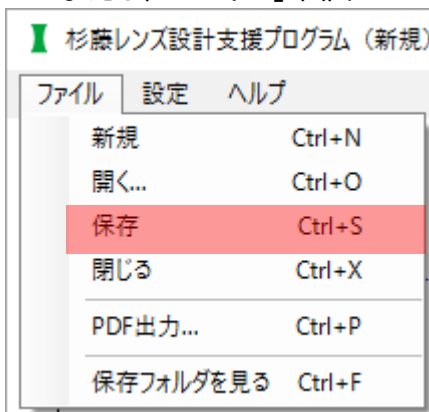
## 入力データを保存する

☞ 「メイン」画面で、「タイトル」「パーツ」「改訂履歴」を入力します。

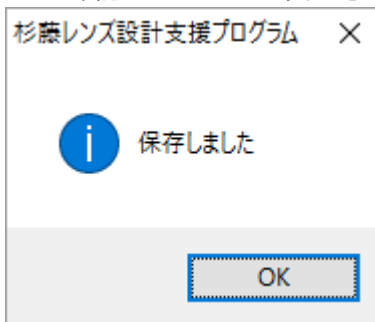
図面情報			
タイトル	<input type="text"/>	パーツ	<input type="text"/>
図面No	<input type="text"/>	公差	<input type="text" value="±"/>
設計	<input type="text"/>	作図	<input type="text"/>
承認	<input type="text"/>	承認	<input type="text"/>
履歴	<input type="text"/>		

ここ以外の項目は空欄のままでも保存できますが、ここが空欄だと保存できません。

☞ 「メイン」画面から「メニュー」→「ファイル」→「保存」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+S」を入力します。



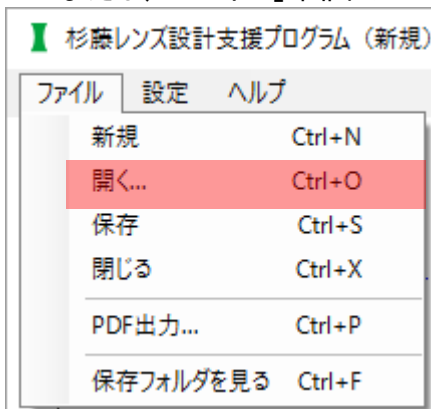
➡ 確認メッセージが表示されます。



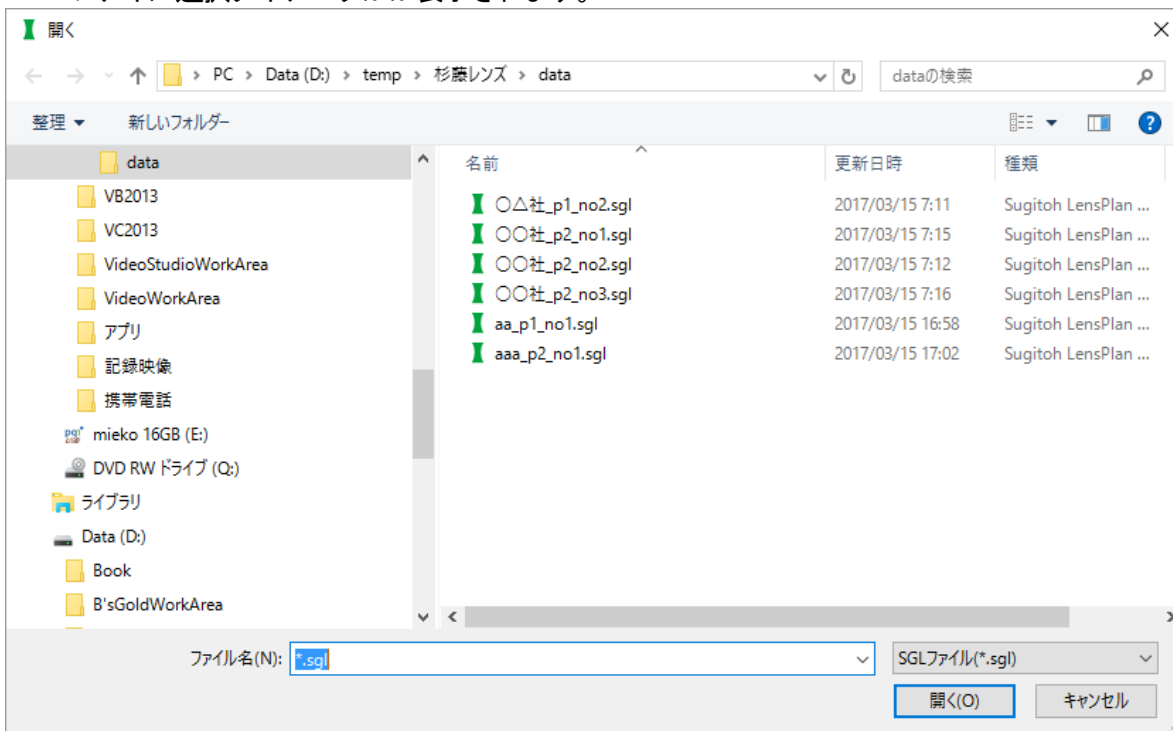
💡 ファイル名は「図面No」\_「タイトル」\_「パーツ」\_「改訂履歴番号」.sgl となります。

## 以前保存したデータを読み込む

👉 「メイン」画面から「メニュー」→「ファイル」→「開く...」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+O」を入力します。



➡ ファイル選択ダイアログが表示されます。



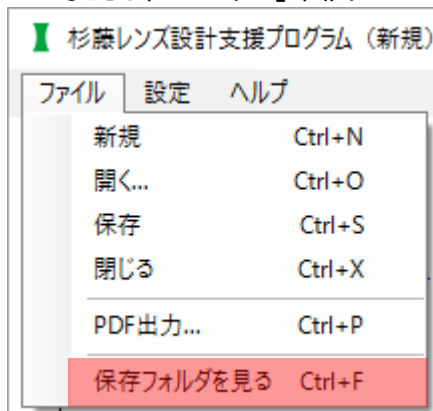
👉 開きたいファイルを選択し、「開く」ボタンを押します。

💡 ファイル名は「図面No」\_「タイトル」\_「パーツ」\_「改訂履歴番号」.sgl となります。

💡 本プログラムを終了している場合、エクスプローラで保存したファイルをダブルクリックして起動することもできます。

## データ保存先フォルダをエクスプローラで表示

- ☞ 「メイン」画面から「メニュー」→「ファイル」→「保存フォルダを見る」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+F」を入力します。

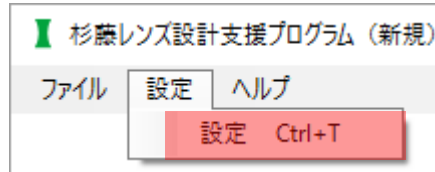


- ➡ エクスプローラが起動します。

- 💡 保存先フォルダ内にファイルがいっぱいになって見づらくなった場合は、たとえば「会社別」「年度別」などの子フォルダを作り、分類するとよいでしょう。ファイルの移動はエクスプローラで行ってください。

## 設定を変更する

👉 「メイン」画面から「メニュー」→「設定」→「設定」を選択します。  
または、「メイン」画面で「Ctrl+T」を入力します。



➡ 「設定」ダイアログが起動します。

設定

初期値 図面

初期値 図面

初期値 図面

レンズ形状初期値		許容誤差1	許容誤差2
外径	20	+0.01	-0.01
センター厚	5	+0.01	-0.01
深さ(左)		+0.01	-0.01
深さ(右)		+0.01	-0.01
Nd(精度)		±0.0005	
nd(精度)		±0.5%	

	左面	右面
曲率半径	40	50
面取角度	45	45
面取巾	1	1

レンズ情報初期値

コート径	φ	Newton	
コート種類		As	
反射率		外觀	
有効径		偏芯	

図面情報初期値

公差	±
----	---

保存フォルダ

保存して終了

図面の色

	画面	PDF
レンズ	■	■
寸法線	■	■
引出し線	■	■
軸	■	■
コート指示	■	■
文字(寸法)	■	■
枠		■
文字(項目)		■
文字(情報)		■

フォント

	画面	PDF
文字(寸法)	MSゴシック 12	MSPゴシック 12
文字(項目)		MSPゴシック 12
文字(情報)		MSPゴシック 12

保存して終了

### レンズ形状初期値：

図面を新規作成したときに、最初に表示されるデフォルト値を設定します。  
許容誤差以外の欄は空欄にしないでください。

### レンズ情報初期値および図面情報初期値：

図面を新規作成したときに、最初に表示されるデフォルト値を設定します。  
空欄のままでもかまいません。

### 保存フォルダ：

プログラムインストール後に必ず設定してください。設定しないとファイル保存/PDF 出力が行えません。

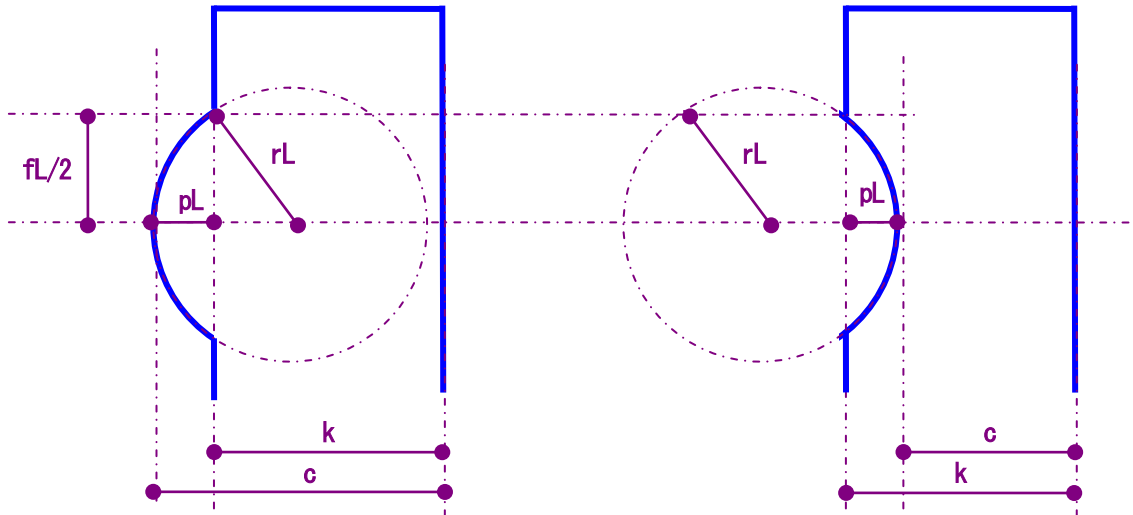
### 図面の色およびフォント：

図面の表示を変更したい場合に設定します。  
フォントはサイズのみ変更可能です。

## 6. 計算式

「メイン」画面の「レンズ形状」に入力された数値から、レンズの設計図を描画するためにプログラムが内部的に行っている計算の内容です。

### 深さ



※図は左側のみ表示している。右側 (fR/pR/rR) は省略。

$$(rL - pL)^2 + \left(\frac{fL}{2}\right)^2 = rL^2 \text{ より、 } pL = \sqrt{rL^2 - \left(\frac{fL}{2}\right)^2} - rL$$

$$(rR - pR)^2 + \left(\frac{fR}{2}\right)^2 = rR^2 \text{ より、 } pR = \sqrt{rR^2 - \left(\frac{fR}{2}\right)^2} - rR$$

$rL$  : 曲率半径(左)  $rR$  : 曲率半径(右)  $pL$  : 深さ(左)  $pR$  : 深さ(右)  
 $fL$  : 内径(左)  $fR$  : 内径(右)

### コバ厚

$$k = c - pL - pR \quad (\text{凸のとき})$$

$$k = c + pL + pR \quad (\text{凹のとき})$$

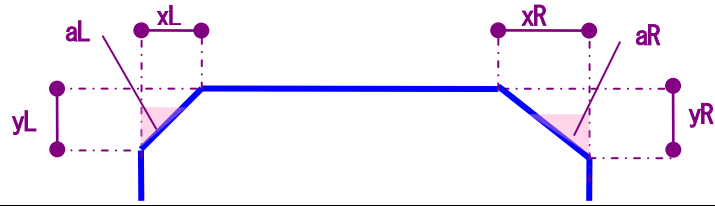
$k$  : コバ厚  $c$  : センター圧  $pL$  : 深さ(左)  $pR$  : 深さ(右)

### 焦点距離

$$f = \frac{1}{(Nd - 1) \times \left(\frac{1}{rL} + \frac{1}{rR}\right) + \frac{(Nd - 1)^2 c}{Nd \times rL \times rR}}$$

$Nd$  : 屈折率  $rL$  : 曲率半径(左)  $rR$  : 曲率半径(右)  $c$  : センター圧

## 面取巾



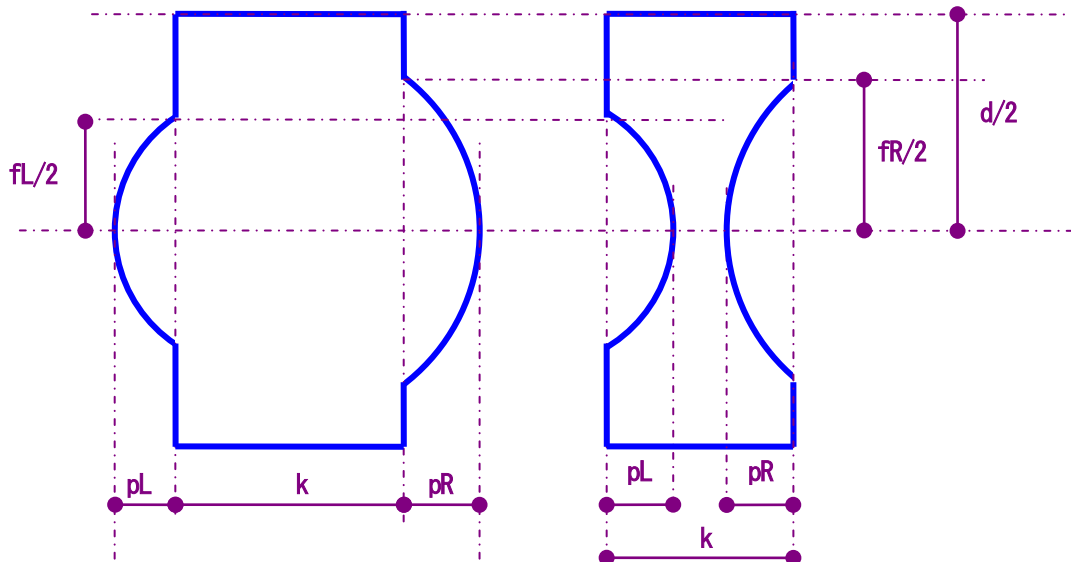
$$xL = \frac{yL}{\tan(aL)}$$

$$xR = \frac{yR}{\tan(aR)}$$

$xL$  : 面取巾(厚み方向/左)     $xR$  : 面取巾(厚み方向/右)  
 $yL$  : 面取巾(外径方向/左)     $yR$  : 面取巾(外径方向/右)  
 $aL$  : 面取角(左)     $aR$  : 面取角(右)

## 体積

左欠球の体積、中央円柱の体積、右欠球の体積に分けて算出する。



体積 = 中央円柱の体積 + 左欠球の体積 + 右欠球の体積 (凸レンズ)

体積 = 中央円柱の体積 - 左欠球の体積 - 右欠球の体積 (凹レンズ)

$$\text{左欠球の体積} = \frac{1}{6} \pi \times pL \left[ 3 \left( \frac{fL}{2} \right)^2 + pL^2 \right]$$

$$\text{右欠球の体積} = \frac{1}{6} \pi \times pR \left[ 3 \left( \frac{fR}{2} \right)^2 + pR^2 \right]$$

$$\text{中央円柱の体積} = \pi \times \left( \frac{d}{2} \right)^2 \times k$$

$k$  : コバ厚     $pL$  : 深さ(左)     $pR$  : 深さ(右)     $fL$  : 内径(左)     $fR$  : 内径(右)

## 重さ

重さ = 体積 × 比重

※比重 : 硝材データより取得