**接眼鏡の性能評価について－対物レンズ、接眼鏡合成系の作り方**

　POPS、Ver.0.2.5では、添付している接眼鏡の光学データを新しくしました。接眼鏡の性能評価は、入射瞳から平行光線を入射させ、接眼鏡の絞り環の位置にある焦点での結像状態を、収差曲線やスポットダイヤグラムなどで評価します。望遠鏡に取り付けて目で見る状態とは、光線の進行方向が逆になるので、「逆追跡」と呼ばれます。

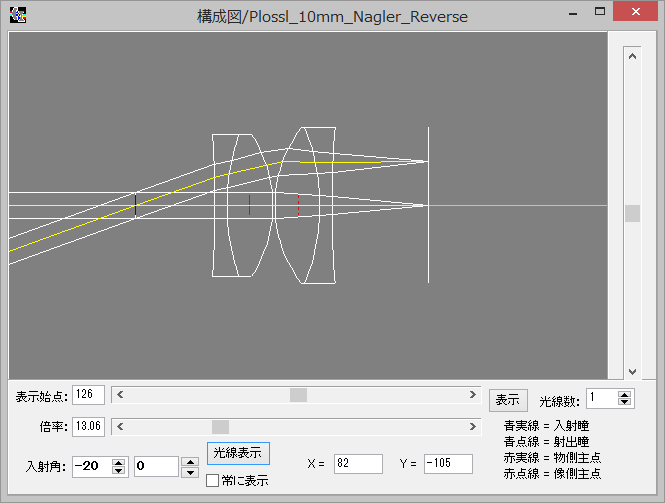
　望遠鏡に取り付けた状態でシミュレーションする場合は、望遠鏡の持つ収差が入ってきてしまいますし、また接眼鏡から射出する平行光線をどう測るかが問題となります。

　収差のない仮想の無収差レンズを使えば接眼鏡のみの性能評価ができますが、POPSでは上手く実装できませんでした。比較的収差が良く補正された光学系を用いて、射出する平行光線も大きな収差を加えることなく収束させる方法があると知り試してみました。以下実際のデータを読み込んで評価する手順を説明します。

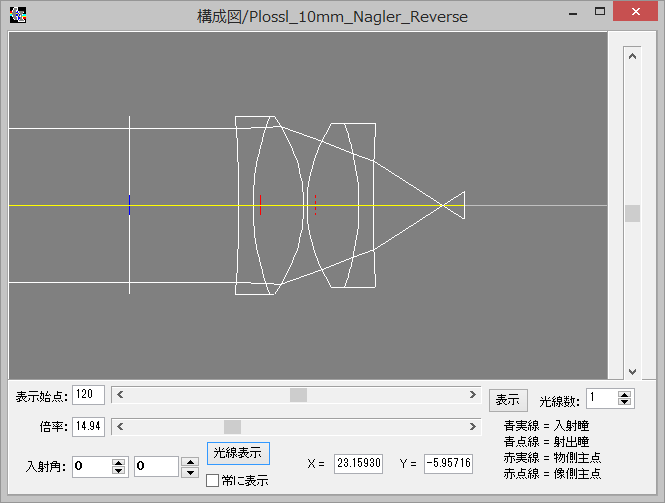
　POPSを起動します。メニューの「ファイル」の中の「開く」を選択します。POPSを解凍してできた「pops」フォルダの中の「光学系データ」、「接眼鏡」、「プロ―セル」を開きます。「Plossl\_10ｍｍ\_Nagler\_Reverse」ファイルを読み込みます。データ表の「近軸追跡」ボタンで近軸追跡を行います。



メインメニューの「構成図」、「平面図」を表示してみます。

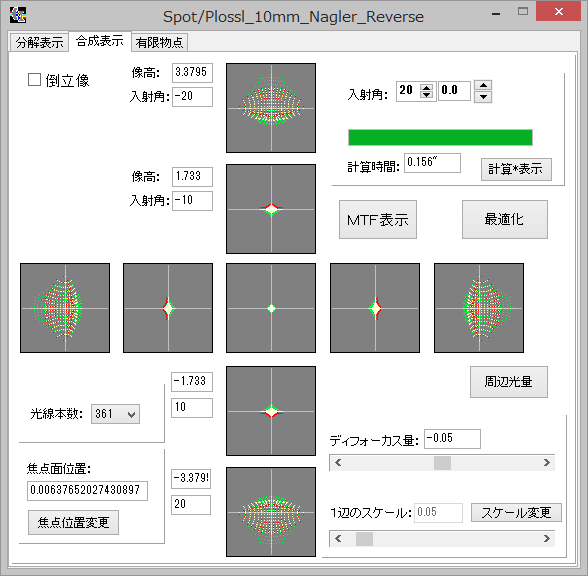


　入射角0度と－20度の光線を表示した状態です。入射瞳として設定した径2ｍｍの第一面に光線が入射して焦点面に設定した第８面に焦点を結んでいます。この焦点面に仮想した面は、後程説明する、望遠鏡に組み込んで順方向の光線追跡の時の配置設定の目安になります。ちなみに下図は「正方向」のデータを読み込んだ構成図です。



Reveseデータを読み込んだ状態で、縦収差やスポットダイヤグラムなどの光学系評価を行います。

スポットダイヤグラムを計算した状態です。

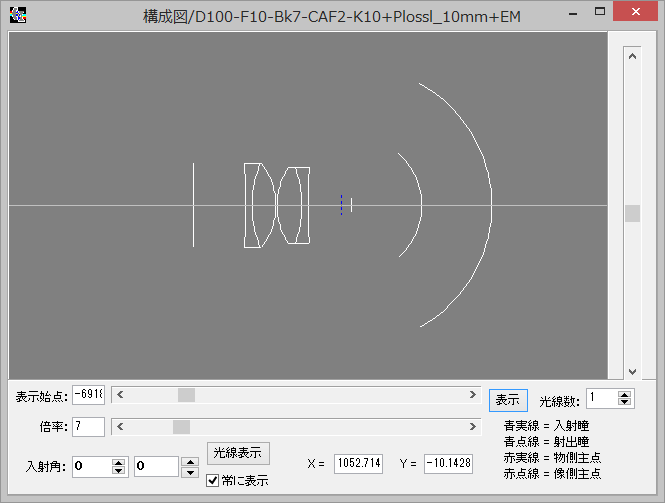


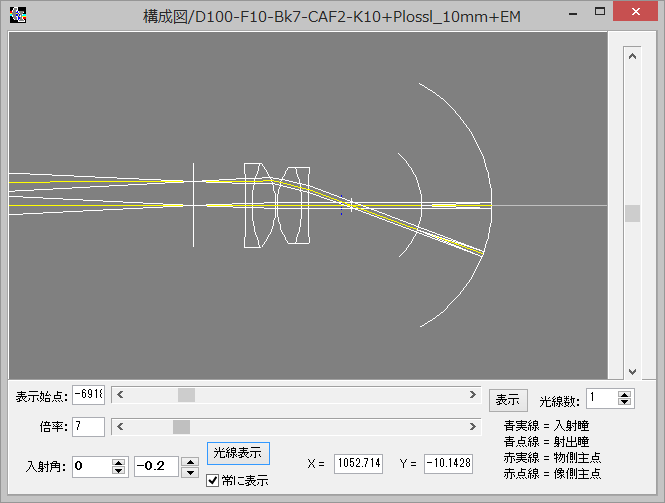
　それでは、望遠鏡に付けた時の収差を見てみます。同じ「プローセル」フォルダにある「D100\_F10\_Bk7\_CAF2\_K10+Plossel\_10ｍｍ+EM」というファイルを読み込んでください。表示倍率7倍、表示始点-6900くらいで接眼鏡部分の拡大画像が見られます。

　ファイル名の通り口径100ｍｍF10のアポクロマートに接眼鏡をセットし、平行光線となった射出光線を、射出瞳を曲率中心にする曲率半径－20ｍｍの球面鏡で収束させています。

　先ほどの接眼鏡のみの逆追跡のときとはレンズ構成が反転していて、逆追跡時の焦点面に設定した仮想面が左側にきていて、そこが対物レンズの焦点位置になっています。

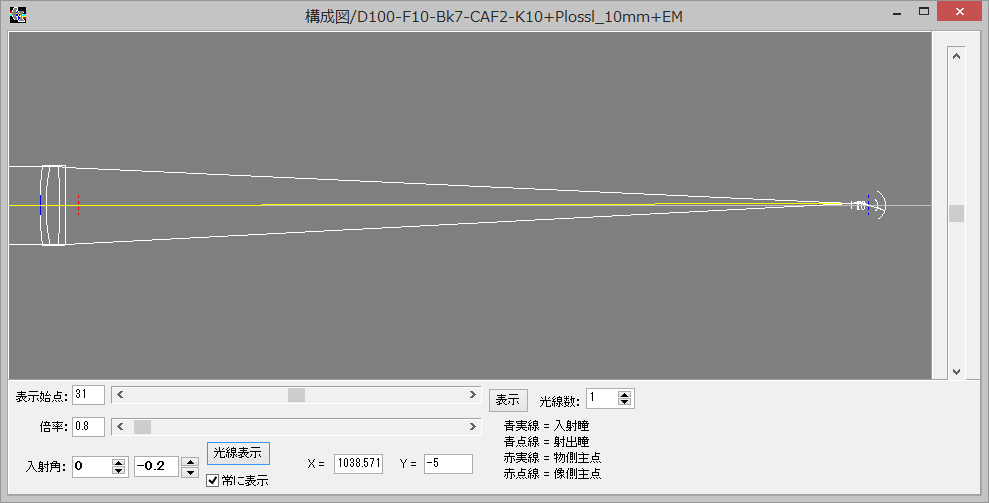
　光路図を描かせるとよくわかります。左側の対物レンズからの光束がいったん収束し、接眼レンズに入って平行光線となり、射出瞳を通って出ていきます。この射出瞳の位置に目を持ってきて観察するわけです。





　入射光の角度は『0.2度』となっています。対物レンズの焦点距離1000ｍｍで接眼レンズの焦点距離が10ｍｍ、１００倍の倍率となっているので、0.2度の入射光線が100倍の20度の角度となって射出しています。見かけ半視野角20度（全視野40度）、100倍で実半視野角0.2度（全視野角0.4度）ということです。

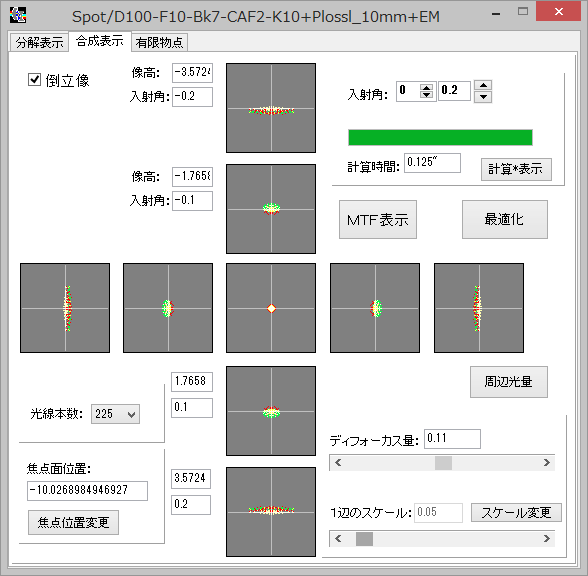
下図は全体図です。



　曲率半径－20ｍｍの球面で収束させているので、通常の収差曲線やスポットダイヤグラムで性能評価が行えます。

　像高を見ると負となっています。これは倒立像ということで、こういう場合は「倒立像」

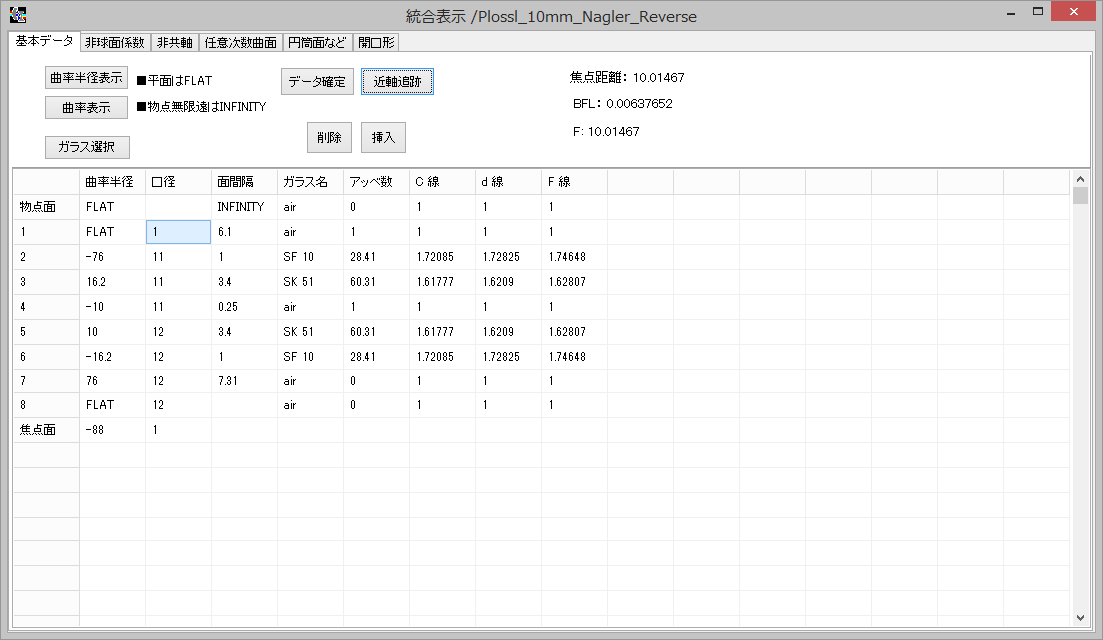
チェックボックスにチェックを入れて再計算してください。スポット像の表示位置を倒立に合わせて入れ替えをするようにしています。

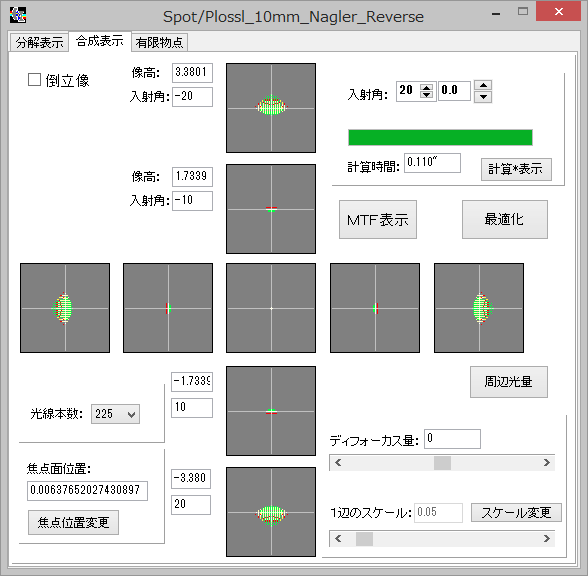


望遠鏡と組み合わせでの近軸追跡値を見ると、全系でF9.99となっています。接眼鏡のみではF5でしたが口径100ｍｍ焦点距離1000ｍｍのF10の対物レンズと組み合わせて100倍となっているので、射出瞳径は1ｍｍとなっています。

したがって同じ条件で比較してみるにはReverseデータの方の第一面の口径（入射瞳径）を「1」に変更して近軸追跡をして、F10としたのちスポットダイヤグラムなどを見る必要があります。

もう一つ別のPOPSを起動し、Reverseデータを読み込んで比べてみてください。



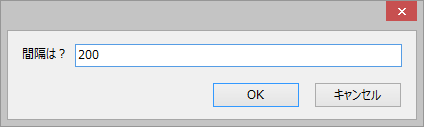


　上図は入射瞳径1ｍｍのReverseデータのスポットです。

　望遠鏡の対物レンズの収差の影響を受けないようにするためには、もっと収差の補正された対物レンズが必要となります。また接眼鏡設計時本来のF5の性能を見るためにはF5より明るい対物レンズでなくてはなりません。Fが明るく、収差が少ない対物レンズとしてクーダー鏡を用いた対物レンズでの接眼鏡合成系の作り方を説明します。

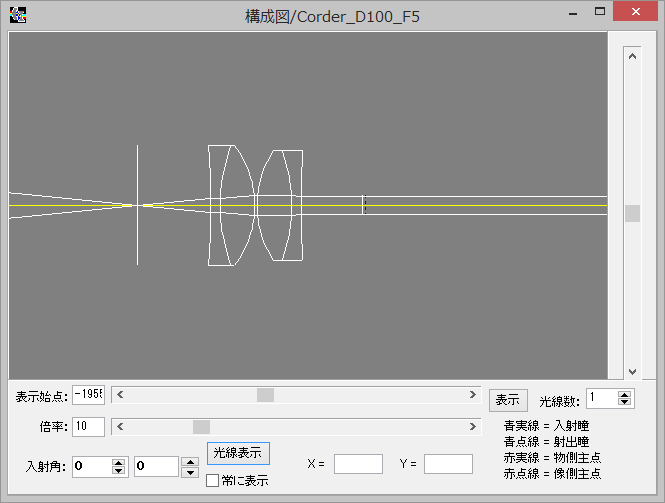
まず「光学系データ」「接眼鏡」フォルダの中の「接眼鏡評価用光学系」フォルダを開き、「Corder\_D100\_F5」データを読み込みます。近軸追跡をしてBFL＝200ｍｍを確認します。これは接眼鏡を合成するのに必要です。

次にメインメニューの「ファイル」から「合成」を選びます。「光学系データ」「接眼鏡」「プローセル」フォルダの中の「Ploosel\_10mm＿Nagler」データを選択します。すると二つの光学系を合成するときの間隔を設定するダイヤローグが出ますので、先ほどのバックフォーカス（BFL）200を入力します。接眼鏡の焦点位置に仮想面（絞り環）を設定してあるので、そこに対物レンズの焦点が置かれます。

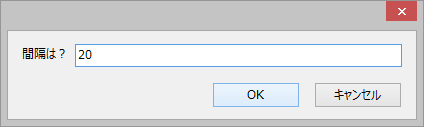


近軸追跡後に平面図を開きます。

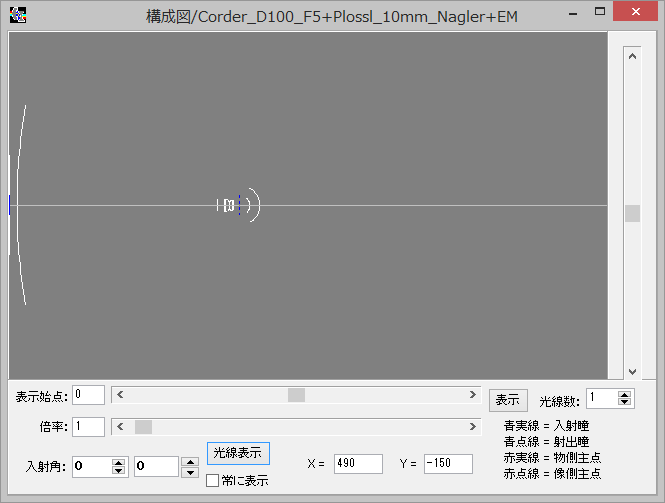




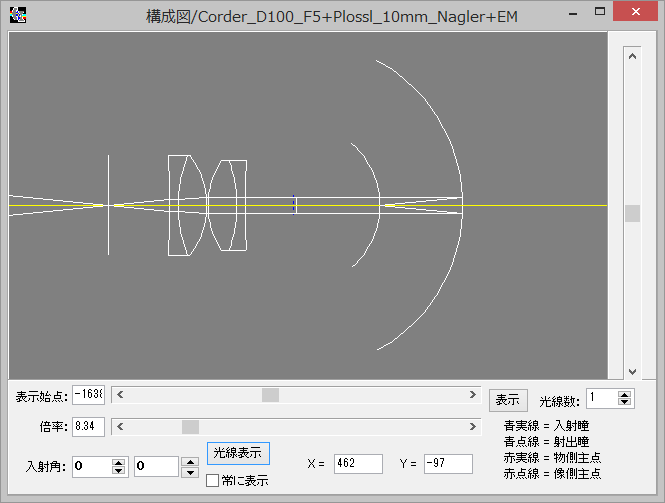
拡大表示して光路図を描くと、射出瞳から平行光線が出ています。もう一度メインメニューから「合成」を選択します。「接眼鏡評価用光学系」から「EyeMirror」データを選択します。先ほどと同じに間隔を問うダイヤローグに20と入力します。

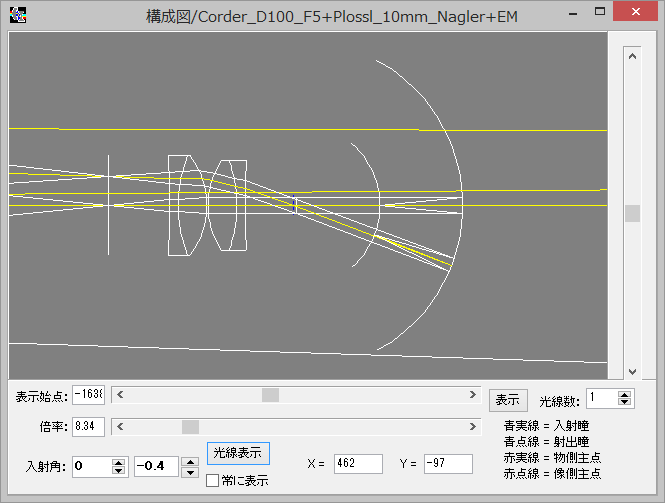


これで平行光線を収束させる目の代用ともいえる曲率半径-20ｍｍの反射鏡が付け加えられます。

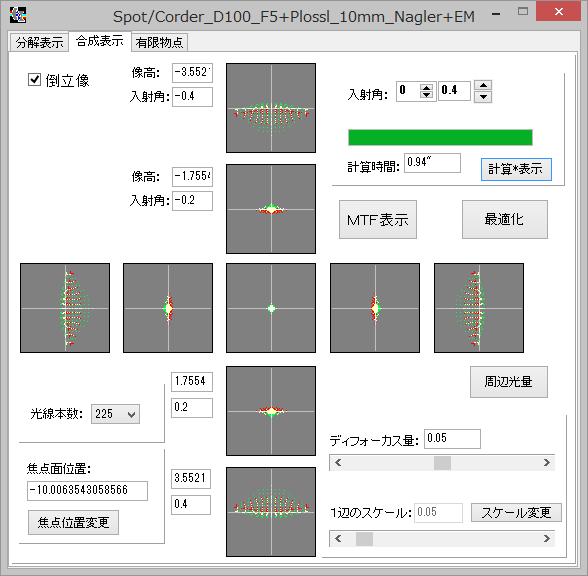


全体の構成図です。





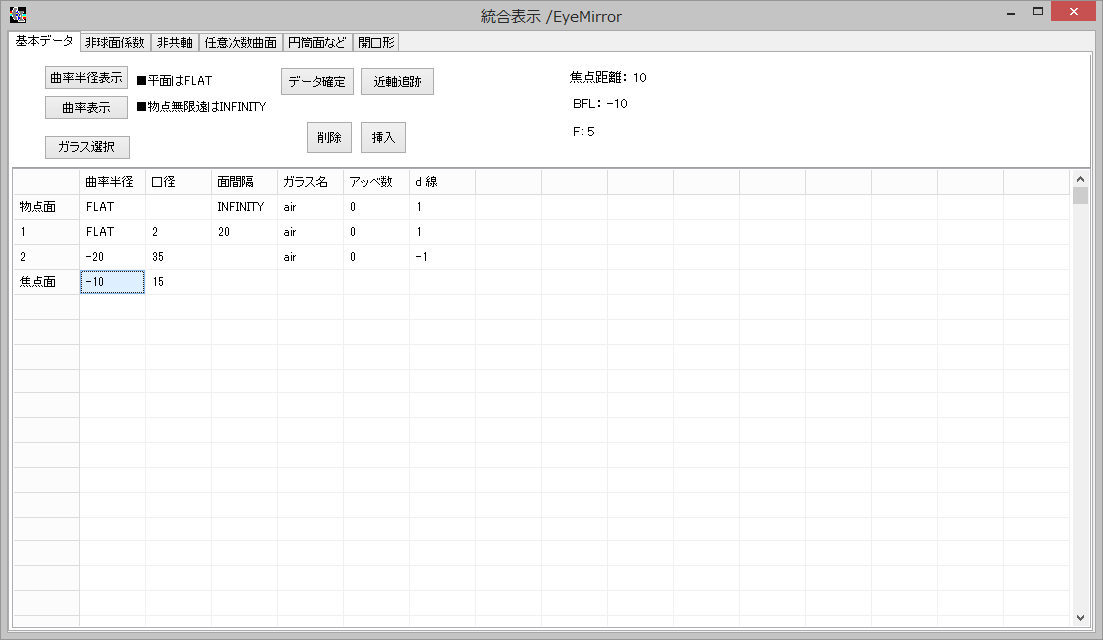
クーダー鏡は２枚反射系なので光路図が少し煩わしくなります。対物レンズが口径100ｍｍ、紫焦点距離が500ｍｍでF5、接眼レンズが10ｍｍなので50倍、射出瞳径2ｍｍで、本来の接眼鏡設計時の性能がわかります。

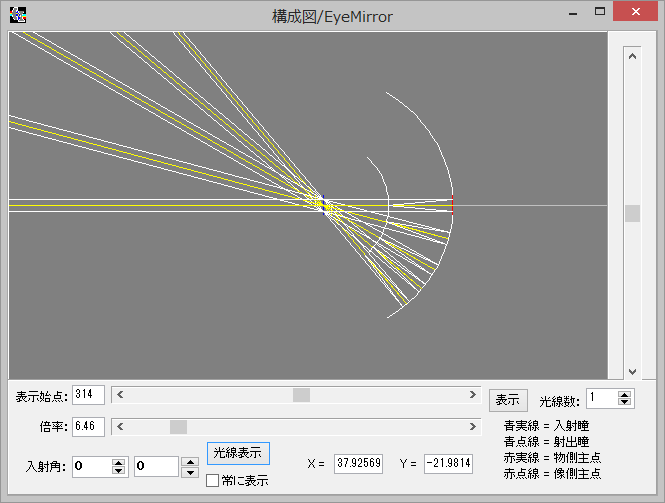


５０倍なので実半視野角0.4度で見かけ半視野角20度です。

対物レンズとして使ったクーダー鏡のみで読み込めば、どんな収差があるのかわかります。残存収差はとても少ないです。主鏡や副鏡径などは実用とは関係なく設定しています。また再結像に用いた曲率半径－20ｍｍのミラー（EyeMirrorと名付けました）はそのままでは単独で光線追跡ができないので、球心位置に2ｍｍの絞りを置けば光線追跡ができるようになります。

曲率半径－20ｍｍのミラーの光路図。

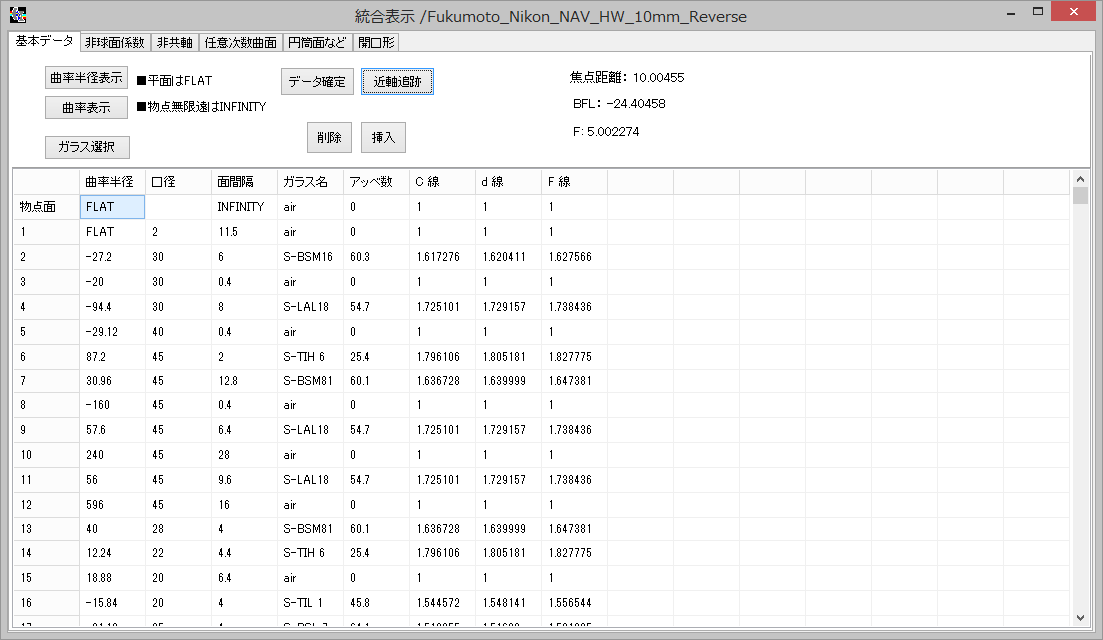


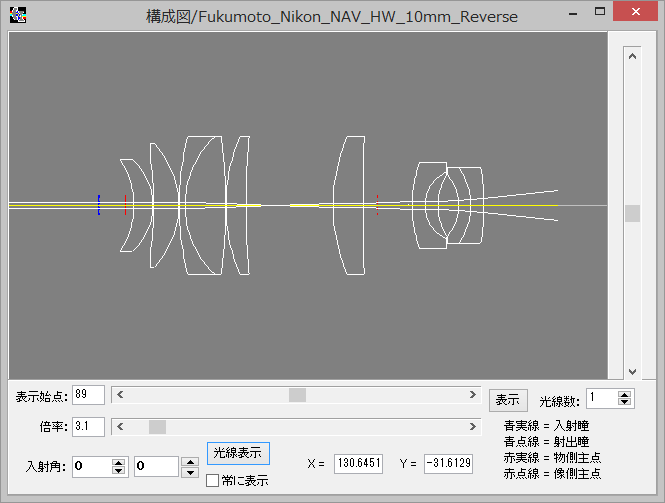


スポットダイヤグラムなどを見れば、どのくらい収差があるか判断できます。ほとんど収差を加えないで光線を収束させます。

　プローセルタイプのような、レンズ群の外に焦点面（絞り環）があるタイプは、いま述べた方法で合成系を作れますが、スマイスレンズを使った、レンズ群の中に焦点面が来る接眼鏡は少し工夫が必要です。

　「光学系データ」「接眼鏡」「フクモト」ファルダにある「Fukumoto\_Nikon\_NAV\_HW\_10mm\_Reverse」データを読み込んでください。近軸追跡をすると、BFL＝－24.40458と出てきます。





平面図右側の最終面から左に焦点面があるということです。対物レンズと合成するときは、この値を引いた数値を、「合成」メニューで出てくるダイヤローグに入力します。

　クーダー鏡の場合BFLが200でしたから、175.595を入れてやれば接眼鏡の焦点位置と対物レンズの焦点位置が一致し、平行光線が射出瞳から出てきます。

　この面に仮想面を入れても良いのですが、光路図が煩雑になるので入れませんでした。

各接眼鏡のファルダには、正方向のデータ、反転データ、クーダー鏡との組み合わせ、３枚玉アポとの組み合わせ、F5パラボラ鏡との組み合わせた５つのデータファイルが入っています。

スマイス・レンズを組み込んだ広角接眼鏡の場合、入射角によりアイポイントが変動します。アイポイントの数値が異なるデータファイルを参考につけてあります。

接眼鏡データはディルワースを除いて焦点距離10ｍｍ、射出瞳径2ｍｍ、F5で統一してあります。ただしハイゲンスとラムスデンは収差が大きいため射出瞳径1ｍｍのF10としています。