結像光学系設計
温度補償（アサーマル）レンズ

無断複製

2026年1月16日

チームオプト株式会社
丸山 晃一

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

アサーマルレンズの必要性

- 近年アサーマル設計が広まっている要因　センサの小型化

  フィルムからデジタルカメラになり センササイズが小さくなったため 被写界深度が深くなりました。被写体の距離がレンズの焦点距離比で十分に遠ければ フォーカス機構なしのパンフォーカスで使えます。

  一方、小さいセンサで同じピクセル数を維持するために ピクセルサイズが波長の数倍程まで小さくなっています。このためレンズは回折による解像性能低下を低減する Fno の小さいレンズにシフトして像面の深度は浅くなっています。

  車載カメラのように被写体距離が焦点距離の100倍以上遠く、使用温度範囲が -40℃～100℃超えの、圧倒的に広い温度範囲で使われるフォーカス機構を持たないレンズも増えました。

  像面深度が浅く使用温度幅が広いフォーカス機構のないレンズにはアサーマル設計が必須です。

禁複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

温度変化係数

- 単レンズ焦点距離f の温度変化率とバックフォーカス

$$df/dT = f(\gamma - dn/dT/(n-1))$$

もし焦点距離f のレンズが線膨張率 $\gamma_{枠}$ の金属枠でセンサと固定されていたとすると
レンズの焦点距離 f ＝バックフォーカス f_B は $f(\gamma - dn/dT/(n-1))T$　伸び
枠は $f\gamma_{枠}T$ 伸びます。

この差
$f(\gamma_{glass} - dn/dT/(n-1) - \gamma_{枠})T$
が温度変化によるデフォーカス（ピントずれ）になります。

転載複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

温度変化係数

- 温度変化係数表

次ページ以降にガラスメーカのサイトのガラスカタログから各ガラスの温度変化係数 β を計算した表 等を示します。

$$\beta = \gamma_{glass} - dn/dT / (n-1)$$ 「温度変化係数」

ガラスカタログには波長に対する屈折率値が多数掲載されていますが 今回は
d線に対する屈折率 温度変化係数は20－40℃のもの 線膨張率γ は-30℃～70℃の値で計算ました。
使用波長 温度が大きく違う場合でも、温度変化の傾向はほとんど変わりませんから、最終評価をZEMAXで行う限りは この表だけで他の波長 温度条件にも十分使えます。

ほぼ同じ意味の係数を他のソフトなどでは以下の表現をしています。

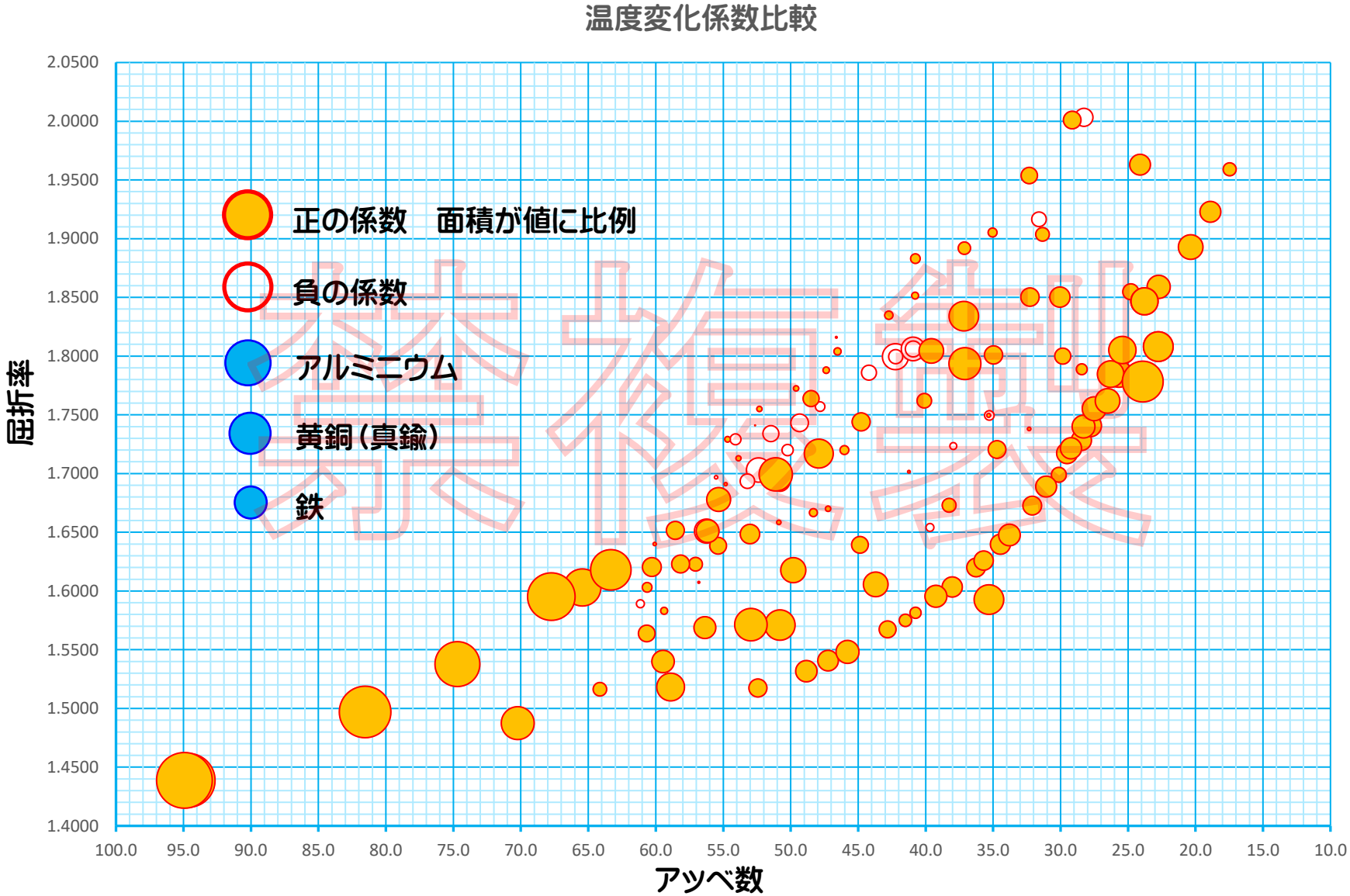
熱光学係数	β β_T	Edmund
熱指数、熱出力	ψ (= - β)	ZEMAX
熱分散力	ψ (= - β)	Optalix

https://www.edmundoptics.jp/knowledge-center/application-notes/optics/an-introduction-to-passive-athermalization/

禁複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

温度変化係数マップ



Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

ガラス3枚温度補償レンズ

- ZEMAXサンプルファイル温度補償 Cooke 40 degree field をアサーマル化

基本仕様

焦点距離　50mm±5%　Fno　4.0±5%　画角±20度
白色　480nm 重み0.8　550nm 重み1.0　650nm 重み0.8
-40～+100℃の温度変化を押さえること

レンズ枚数 3枚　球面のみ
レンズ枠は全てアルミニウムで線膨張率 $23.6*10^{-6}$/K とする。

設計性能目標

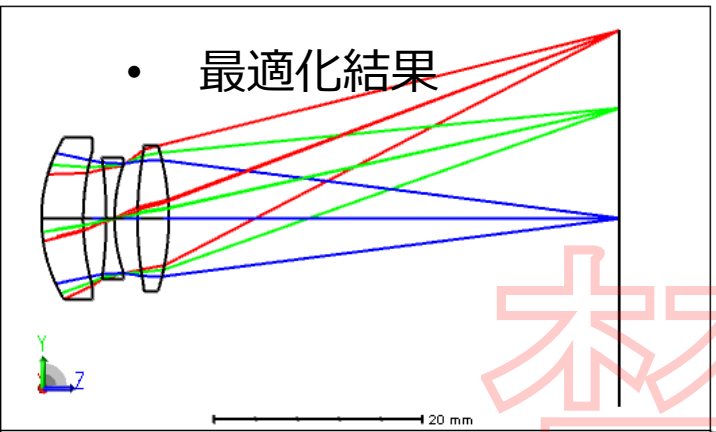
MTF 10本　全域メリジオナル サジタルともに80%以上
歪曲収差 全域 ±1.0%以下

禁複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

ガラス3枚温度補償レンズ

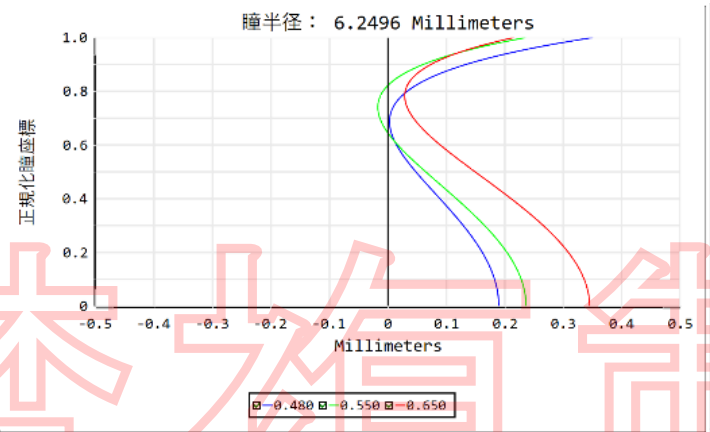
- 最適化結果



3D レイアウト

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01

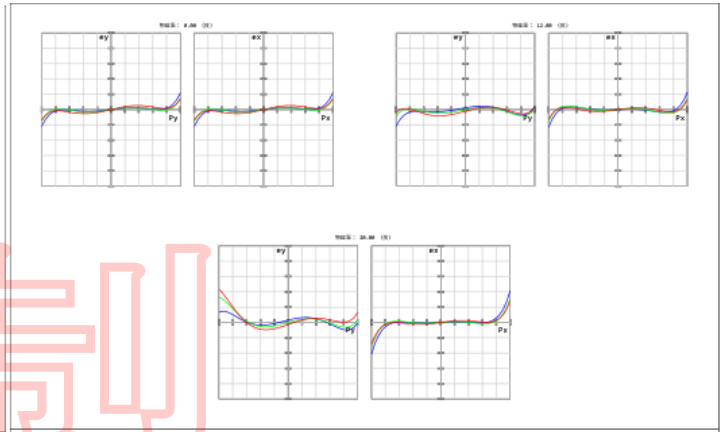
Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5



縦収差

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01
波長： 0.480 から 0.650 μm まで
凡例アイテムは視野位置を参照

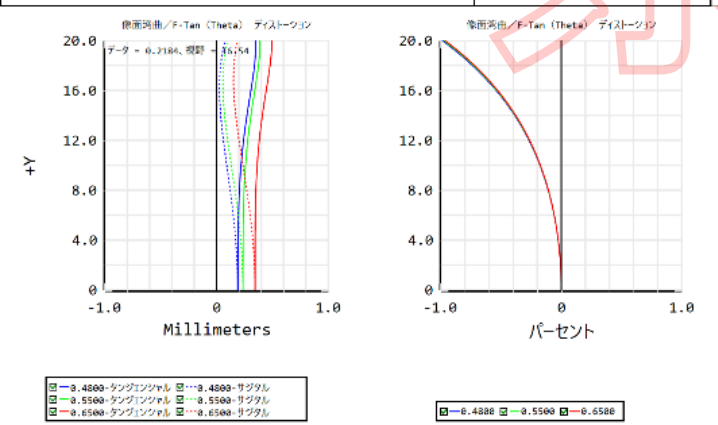
Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5



横収差図

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01
最大スケール： 200.000 μm
0.480 0.550 0.650
面 ： 像面

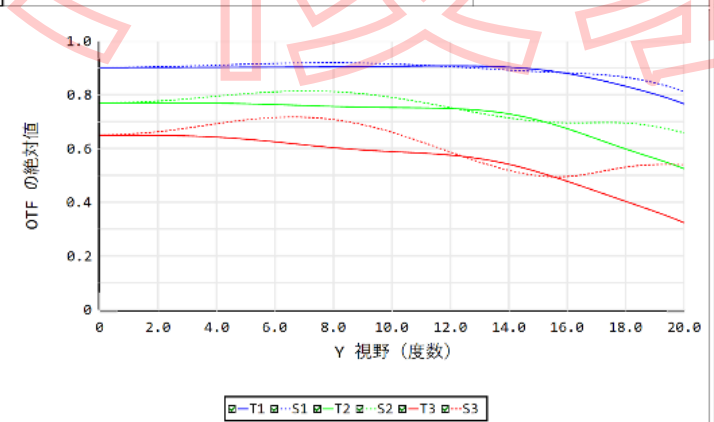
Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5
コンフィグレーション 1 / 4



像面湾曲／F-Tan（Theta） ディストーション

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01
最大視野は 20.000 度。
凡例アイテムは視野位置を参照

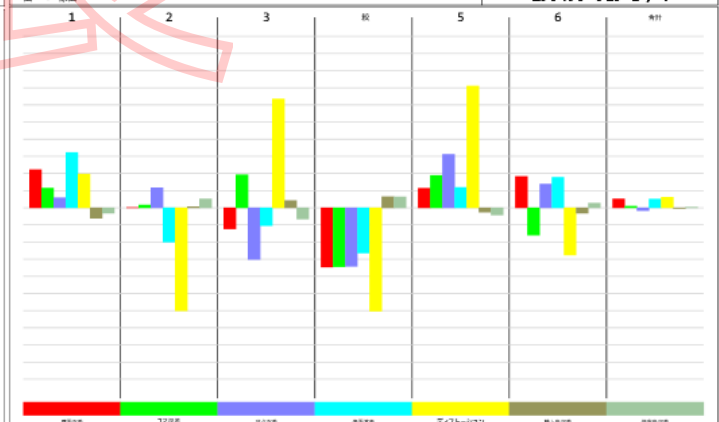
Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5



視野に対するMTF

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01
0.4800 から 0.6500 μm までのデータです。
周波数 1： 10.00 cycles/mm
周波数 2： 20.00 cycles/mm
周波数 3： 30.00 cycles/mm
凡例アイテムはタンジェンシャル (T)/サジタル (S) 周波数を参照

Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5



ザイデル ダイアグラム

A SIMPLE COOKE TRIPLET.
2025/11/01
波長： 0.5500 μm
最大収差スケールは 0.50000 Millimeters です。
グリッド線は 0.05000 Millimeters 間隔です。

Zemax
Zemax OpticStudio 16.5 SP5

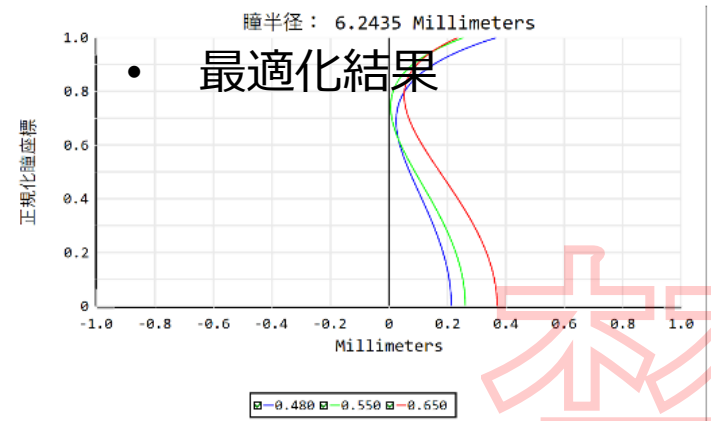
禁複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.

ガラス3枚温度補償レンズ

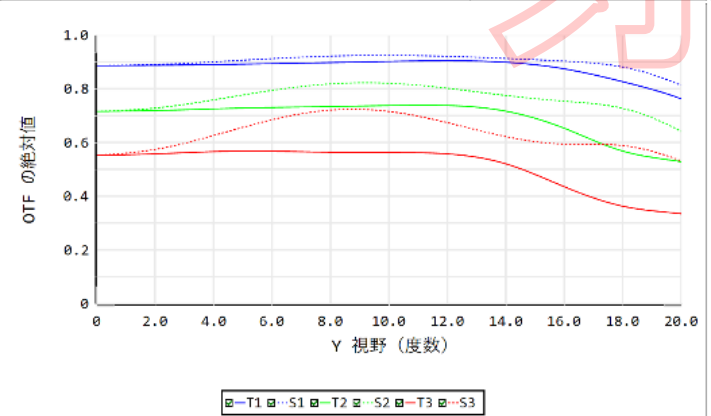
- 最適化結果

-40℃

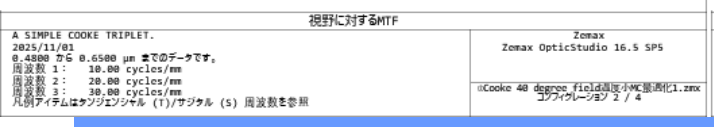


縦収差

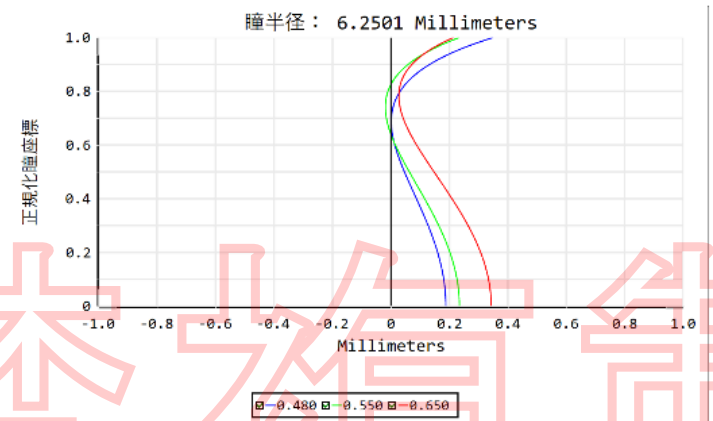




視野に対するMTF

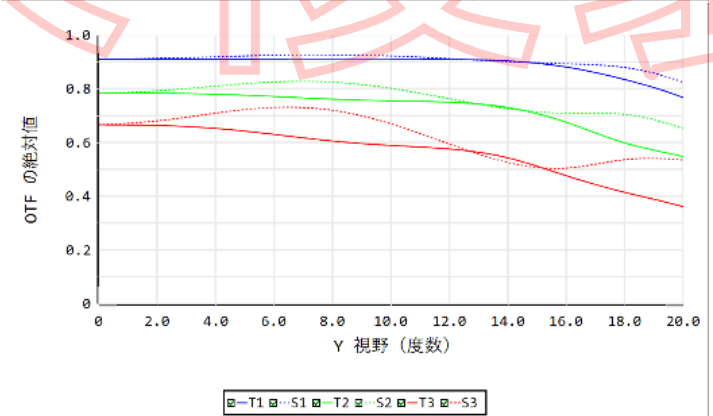


30℃

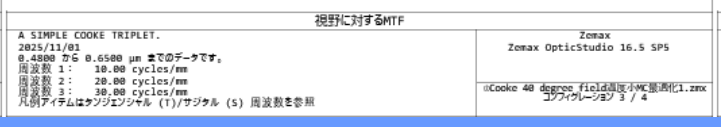


縦収差

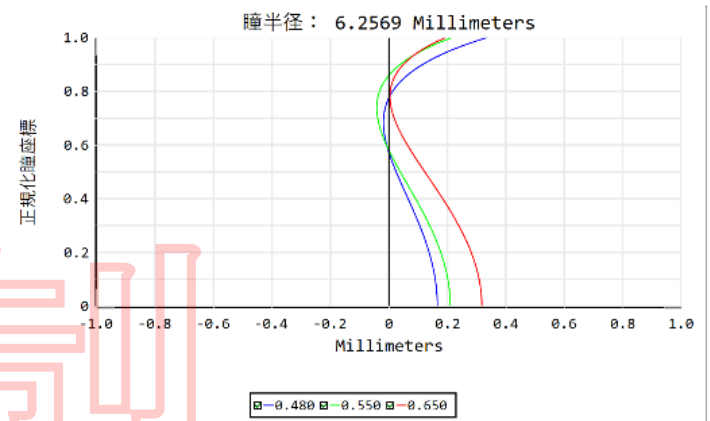




視野に対するMTF

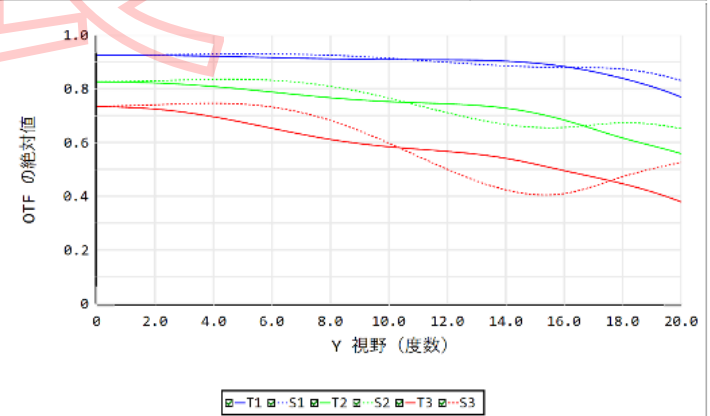


100℃



縦収差





視野に対するMTF



禁複製

Copyright ©2026 Team-Opt Corp. All rights reserved.