

▣ ORA特別セミナー2008

熱の影響を考慮したレンズ設計

サイバネットシステム株式会社
オプティカルソリューション部
秋山 健志
メカニカルCAE事業部営業第2部
西森 亨

つくる情熱を、支える情熱。
CYBERNET

発表内容

CYBERNET

- ▣ 背景
- ▣ 本検討の手法
 - 熱の影響
 - 発熱モデル
- ▣ ANSYSとCODE Vとを用いたシミュレーションの流れ
- ▣ モデルを用いた検討
 - 熱解析
 - 熱による収差への影響
 - 熱の影響を補償する設計
 - 効果
- ▣ まとめ

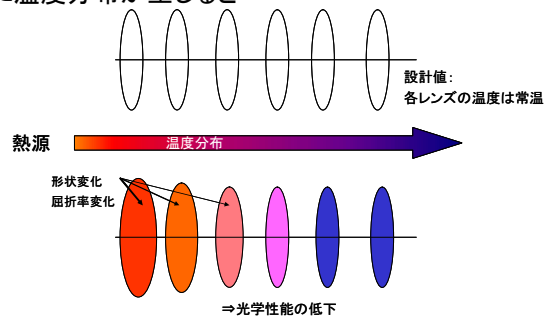
© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

2

背景

CYBERNET

- 一昔前のレンズシステムは、「光学系」だったので、熱の影響は殆ど無かった(例外:映写機用投影レンズ)
- レーザ光源など光源強度の増大や、近年の電気と光の融合?により、光学系に対する熱の影響も無視出来なくなってきた(例:液晶プロジェクター、レーザービームプリンター、CD/DVDピックアップ)
- レンズ系に温度分布が生じると・・・



© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

3

“現状”の「熱を考慮した設計」

CYBERNET

- 影響の大きいプラスチック材質を使用しない→設計自由度の制限やコスト高
- 特性が逆のレンズ(凸レンズと凹レンズ)にプラスチック材を用いる→影響を完全にキャンセルすることが困難
- レンズ系の設計“後”に、熱解析シミュレーションを行い、影響の有無を検討→熱による影響が大きいと判明した場合、レンズ設計へのフィードバック(再設計)が必要
- CODE Vの環境解析機能(ENVオプション)では、詳細な解析が困難

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

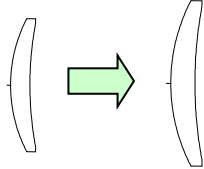
4

熱により影響を受ける光学パラメータ

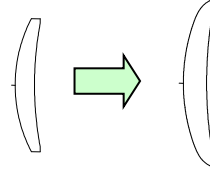
CYBERNET

▣ レンズの形状

一様な温度変化 → 単純スケーリング

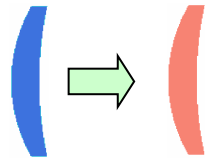


温度分布
鏡筒による影響 → 面の歪み
応力複屈折

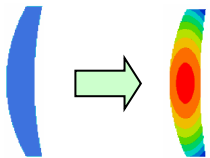


▣ レンズの屈折率(波長依存性有)

一様な温度変化 → 一様な屈折率変化



温度分布 → 屈折率分布



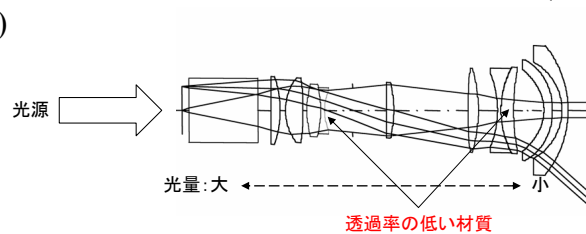
© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

5

レンズの発熱モデル

CYBERNET

- ▣ 光源からの光をレンズが吸収することにより各レンズが温まる
- ▣ CODE Vの透過率解析(TRA)オプション
→各レンズが吸収するエネルギーを見積もる(材質によって異なる)



- ▣ ANSYSにてモデルを構築し、定常状態に達した際の各レンズの温度を計算

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

6

ANSYSの簡単な紹介



CYBERNET

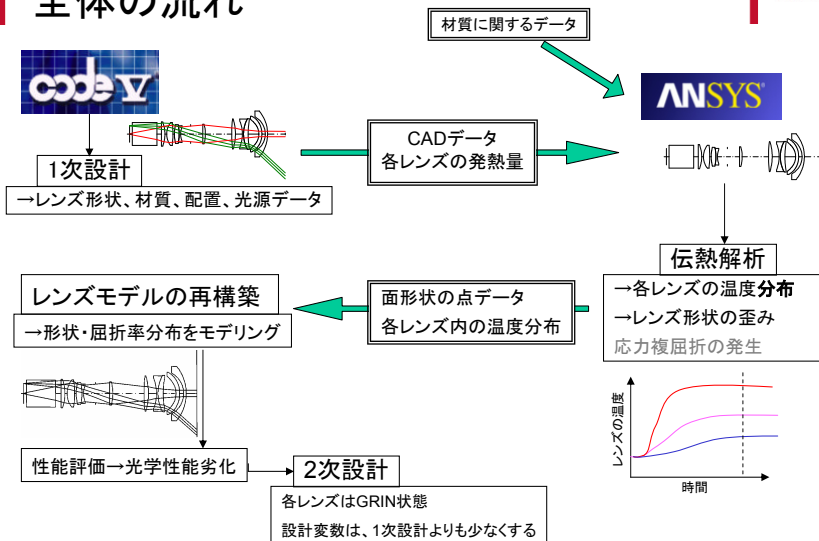
- 自動車、エレクトロニクス分野から航空宇宙、化学、医学分野に至るまで、あらゆる工学分野に対応した有限要素法解析プログラム
- 解析機能は線形・非線形構造解析、定常・非定常伝熱解析、熱流体解析、電磁場解析、圧電解析、音響解析、衝撃／落下問題など

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.LTD. All Rights Reserved.

7

全体の流れ

CYBERNET



© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.LTD. All Rights Reserved.

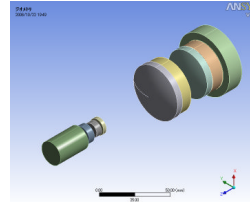
8

CODEV→ANSYS

CYBERNET

- ▣ レンズの設計(1次)・・・透過率データや熱的特性データが必要なので、材質も決定する
→各レンズの形状データ(CADデータ)
- ▣ 光源のスペクトルデータと透過率解析により
→「各レンズの発熱データ」

element	delta[W]
1	1.58e-002
2	4.57e-003
3	6.13e-002
4	1.17e-002
5	1.14e-002
6	2.37e-003
7	1.80e-002
8	9.20e-003
9	2.56e-002



別途用意する特性データ

element	銘柄名	ヤング率	ポアソン比	熱伝導率	線膨張係数
1	S-LAM2	935	0.295	0.698	74
2	S-BSM18	885	0.268	0.815	70
3	S-TIH4	919	0.254	1.01	85
4	S-LAM51	1007	0.278	0.867	71
5	S-BAL35	832	0.25	0.915	57
6	L-PHL1	939	0.28	0.827	105
7	S-TIM25	841	0.236	1.046	79
8	L-LAL13	1087	0.285	0.887	76
9	S-BSL7	800	0.205	1.13	72

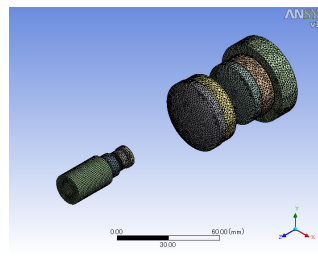
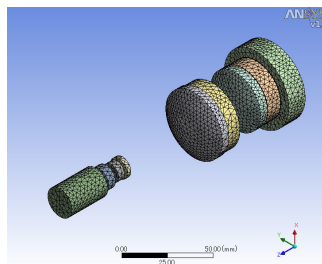
© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

9

ANSYSによる熱解析

CYBERNET

- ▣ ANSYSの中では曲面を表現できる要素(2次要素)を用いているため、各要素の変形状態も曲面になっている
- ▣ ただし、有限要素法という手法から要素ごとの曲面(曲率)は不連続となる可能性がある
- ▣ そのため、メッシュが粗いと、CODE Vに戻した際のフィッティング精度に影響が出る

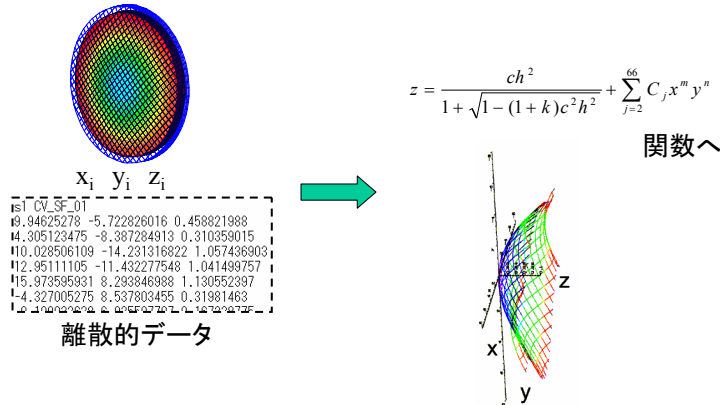


© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

10

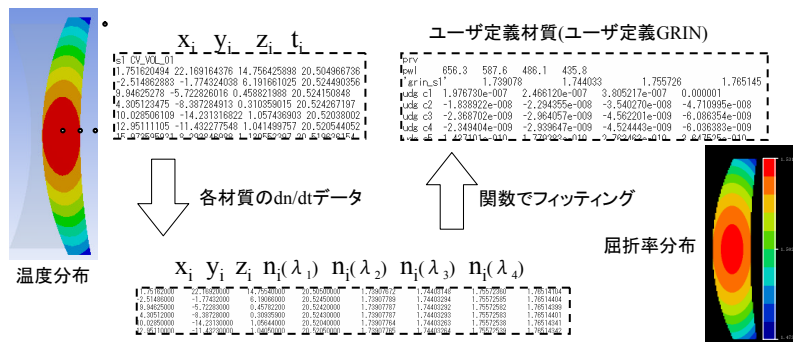
ANSYS→CODE V (形状)

- 面上の3次元座標データ(離散的)
 - sagfitマクロを使用して関数化
 - (奇数次)非球面、XY多項式非球面、ユーザ定義面など



ANSYS→CODE V (屈折率)

- レンズ材質内の温度分布データ(離散的)
 - dndtcalcマクロを使用して、温度ごとの屈折率を計算
 - 各位置での屈折率分布データ(λ)
 - 屈折率分布関数化(λ)(ユーザ定義GRIN)
 - (各波長の基準屈折率と係数)



離散的屈折率分布→屈折率分布関数

CYBERNET

- ▣ フィッティングにはCODE Vの最適化アルゴリズム (ユーザ定義評価関数)を使用
 - 任意の量を評価関数に設定可能
- ▣ 屈折率分布に対して
 - 各データ (x_i, y_i, z_i, n_i) と、屈折率分布の式 $n=g(x, y, z)$ を使用して、
評価関数 $=\sum(n_i-g(x_i, y_i, z_i))^2$ と定義し、
この値が最小になるように、屈折率分布の係数を最適化

$$g(x, y, z) = \sum_{i,j,k}^{i+j+k \leq 6} n_{ijk} x^i y^j z^k \quad (i, j, k \text{は偶数次のみ})$$

$$= n_{000}$$

$$+ n_{001}z$$

$$+ n_{200}x^2 + n_{020}y^2 + n_{002}z^2$$

$$+ n_{201}x^2z + n_{021}y^2z + n_{003}z^3$$

$$+ n_{400}x^4 + n_{040}y^4 + n_{004}z^4 + n_{220}x^2y^2 + n_{022}y^2z^2 + n_{202}x^2z^2$$

$$+ \dots$$

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.LTD. All Rights Reserved.

13

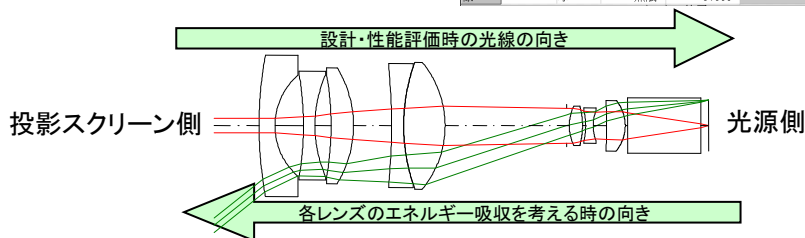
実際のモデルを用いた検討

CYBERNET

- ・プロジェクター用レンズ仕様
- 焦点距離: 12.2mm
- Fno: 2.2
- 最大画角: 38.2度
- イメージサークル: $\phi 19.2$

レンズデータ(1次設計値)

面番号	面名	面タイプ	V曲率半径	面間隔	材質
物体		球	無限	2.000e+003	
1	element1	球	145.828	6.000	SLAW2_OHARA
2		球	24.882	10.784	
3	element2	球	-118.362	4.400	SESMT8_OHARA
4		球	48.250	6.038	
5	element3	球	-114.410	8.500	STIH4_OHARA
6		球	-41.388	14.400	
7	element4	球	-212.877	4.800	SLAWS1_OHARA
8		球	69.789	15.800	SGAL35_OHARA
9		球	-37.182	48.000	
絞り面		球	無限	1.000	
11	element8	球	17.088	5.000	LPHL1_OHARA
12		非球面	-23.282	1.200	
13	element7	球	-22.388	2.800	STIM25_OHARA
14		球	15.518	5.100	
15	element8	球	-100.136	7.000	LLAL13_OHARA
16		非球面	-14.208	1.000	
17	element9	球	無限	27.800	SESL7_OHARA
18		球	無限	2.884	
像		球	無限	0.000	

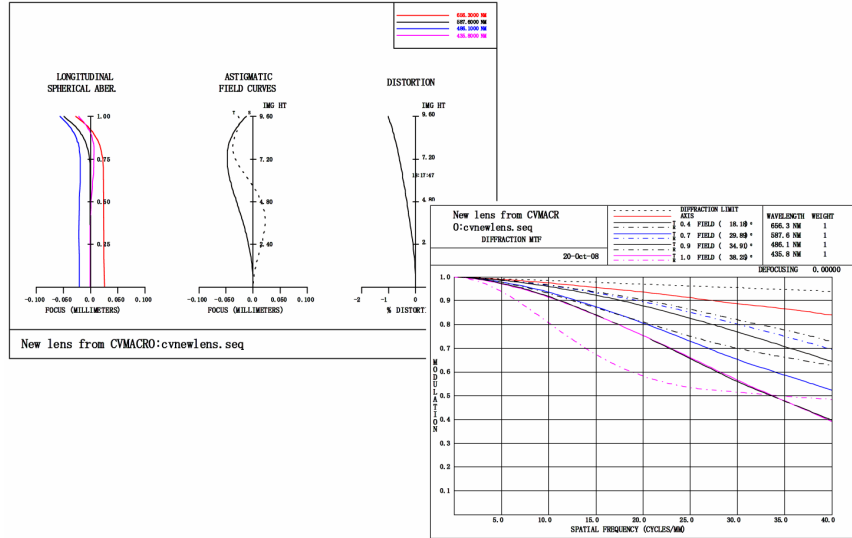


© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.LTD. All Rights Reserved.

14

1次設計値の光学性能(収差図、MTF)

CYBERNET

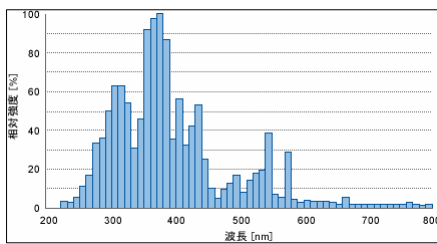


© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

15

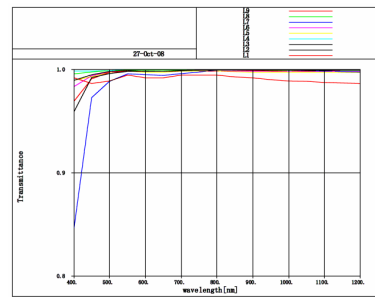
光源データとレンズ系の透過率

CYBERNET



光源の分光強度データ
<http://www.orc.co.jp/lineup/lamp/04.html>
 より拝借

→この面積が100Wとなるように規格化



光学系中の各レンズの分光透過率

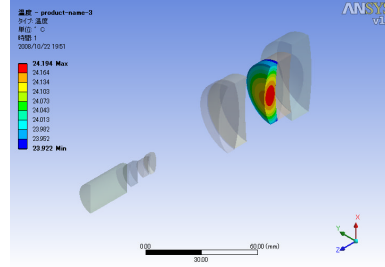
各レンズに吸収されるエネルギーを計算

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

16

ANSYSによる熱解析

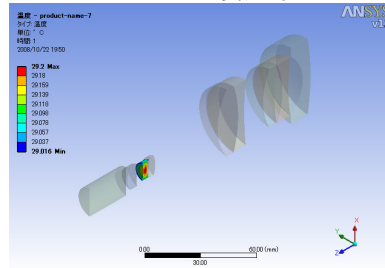
CYBERNET



レンズ内の温度分布

全体の温度分布
最高温度:29.2°C
最低温度:20.3°C

⇒レンズごとに温度が異なっており、
レンズ内部でも温度分布が生じている

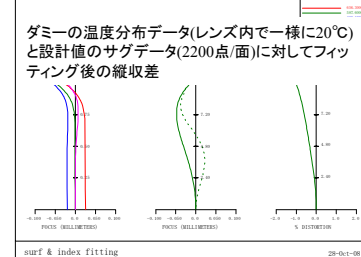
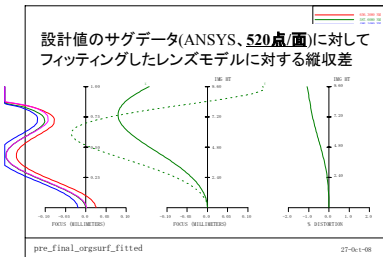
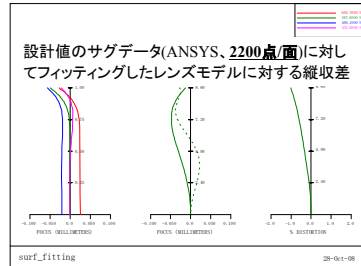
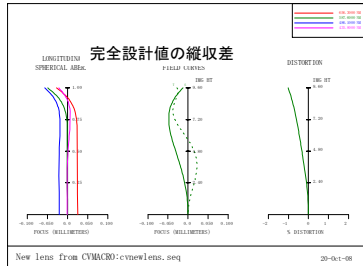


© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

17

フィッティングの精度に関して

CYBERNET



メッシュサイズを小さくすることが重要

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

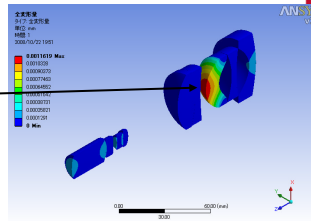
18

CODE Vでのレンズモデル再構築

CYBERNET

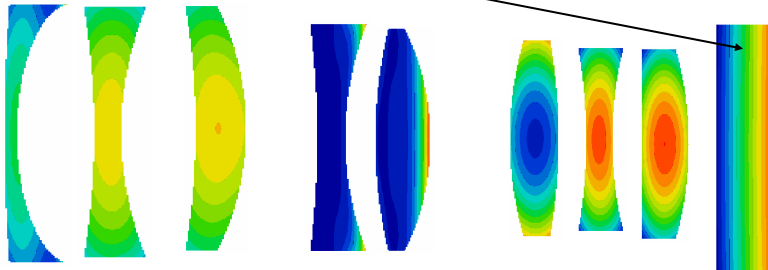
ANSYSでの解析結果

- 面の最大変位量: 0.0012mm



各レンズの屈折率分布

- 最大屈折率差: 0.0015



© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

19

フィッティングによる誤差

CYBERNET

面形状に関して

面番号	残差のRMS [μm]
1	0.004
2	0.036
3	0.003
4	0.007
5	0.003
6	0.010
7	0.002
8	0.006
9	0.023
11	0.062
12	0.019
13	0.062
14	0.114
15	0.009
16	0.086
17	0.000
18	0.000

屈折率分布に関して

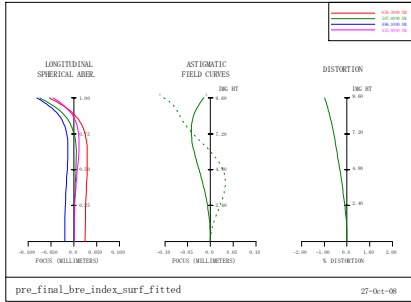
レンズ番号	残差のRMS
1	3.6E-13
2	2.3E-14
3	7.4E-14
4	4.9E-10
5	6.9E-10
6	2.1E-14
7	6.0E-14
8	2.3E-14
9	7.0E-09

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

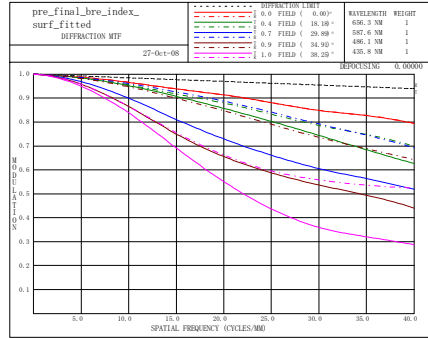
20

熱による光学性能への影響

レンズ内の屈折率分布と面の変形を設定したモデルの評価



- 像面湾曲(T)が悪化している
- 球面収差も若干悪くなっている



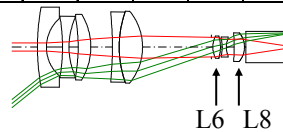
→ 左記収差の影響が現れている

熱の影響を補償する設計(2次設計)

- 収差補正に効果の高い面の探索
 - 面変形と屈折率分布を与えたレンズデータに対して、二つの面(曲率半径、非球面係数)を設計変数に採り、性能向上を図る
 - 各組み合わせによる最適化後の評価関数

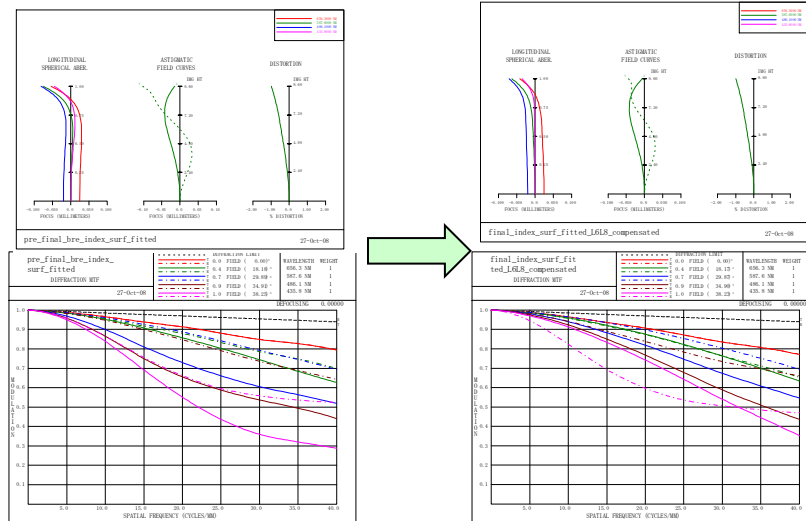
		s2													
		2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16
s1	1	438.88	102.71	49.25	60.11	63.01	49.14	52.64	51.20	44.41	48.23	49.03	45.06	46.31	44.06
	2		148.41	90.58	77.87	108.25	53.31	272.81	250.65	44.38	48.19	49.20	44.17	46.14	44.30
	3			216.60	51.93	50.07	50.14	924.59	524.36	44.56	48.42	48.89	44.72	46.20	43.68
	4				84.97	139.65	49.52	68.81	61.44	44.42	48.32	49.21	45.10	46.27	44.32
	5					59.09	149.41	161.85	115.36	44.38	49.26	48.56	44.45	46.42	44.29
	6						51.12	617.72	269.81	44.34	48.49	48.74	44.68	46.39	44.03
	7							193.98	60.39	44.74	49.61	48.82	45.05	46.30	44.31
	8								77.15	44.43	48.43	49.24	45.14	46.40	44.25
	9									44.42	48.36	49.20	45.17	46.29	44.30
	11										42.87	43.95	44.30	43.37	43.29
	12											45.95	42.98	45.54	42.41
	13												44.96	46.65	43.53
	14													44.75	42.75
	15														43.15

第16面、第12面を有する2枚のレンズ



第6レンズと第8レンズを最適化した結果

CYBERNET



形状の変化量は微小(サグ量変化の最大:6 μ m)なため、温度分布には影響を与えない

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

23

まとめ

CYBERNET

- 各レンズが温度上昇するモデルを考え、透過率解析により、発熱量を見積もった
- 上記のデータと光学系のデータを基にして、ANSYSにより各レンズの温度分布、面形状の変形を計算した
- 上記の光学特性の変化を考慮して光学性能の劣化を確認した
- 熱による光学性能劣化を予め見越したレンズ設計の可能性を示した
- 今回は全てガラス材料を使用したけど、プラスチック材質でも、その特性が分かれば、同様の検討は可能

© 2008 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

24