

光学設計・シミュレーション解析ツールによる 設計・解析例の紹介

サイバネットシステム株式会社

目次

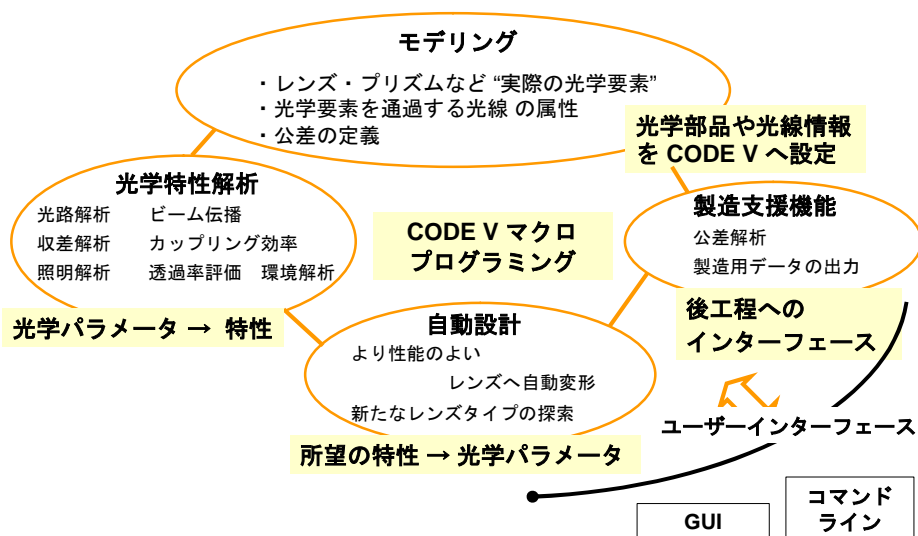
- CODE Vとは
- 天文関連の課題に即したCODE Vのつよみ
 - 最適化
 - 解析
 - 製造支援
- 天文関連の解析例
 - 補償光学
 - 大双眼望遠鏡(開口合成)
- 開発元について
- まとめ

CODE Vとは

- モデリング、解析、設計から製造支援まで行う
”統合的”な光学設計評価ソフトウェアです
- 強力な最適化機能と製造支援(アライメント解析、公差解析)が最大の強みです
- また、非常に高精度な解析を簡単な操作で実現することも可能です

⇒ 機能は多岐に渡りますが、
ここでは天文に関連する機能や事例をご紹介します

CODE Vの機能概要図

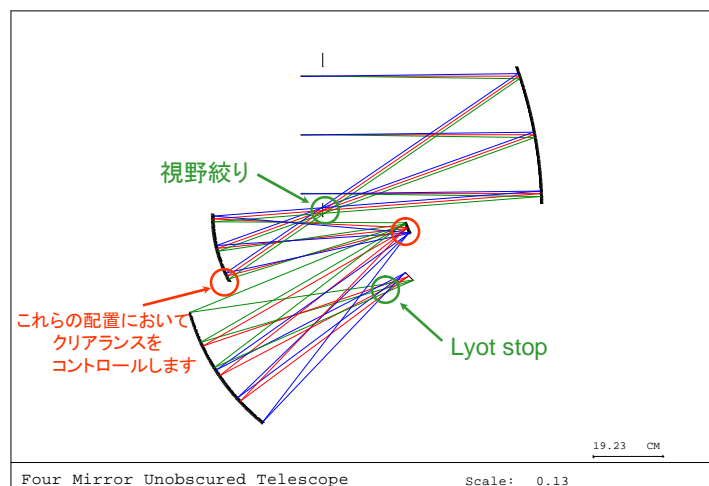


光学系の設計(最適化)における課題

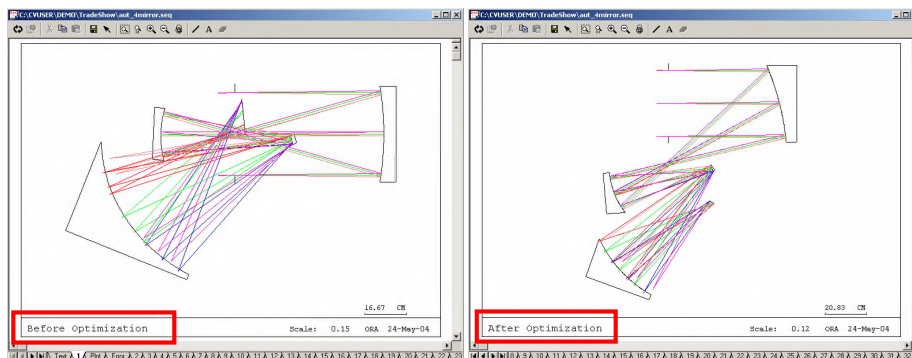
- 天文関連の観測機器は、スペースの制約から折り曲げ光学系する場合があります
- そのため、光学的な仕様に加えて、機構的な仕様も同時に満足しなくてはなりません

⇒ CODE Vの強力な”最適化機能”が威力を発揮します

4枚のミラーからなる反射型望遠鏡の例



最適化実行前後の光学系の様子



設計前には、ミラーが光線をブロックしていますが、設計後はクリアランスが確保されている様子を確認できます。この最適化は10秒以内に終了します(Core i5 2540M のPC)

光学系の解析における課題

- 光学系中に複雑な形状のアパチャーが複数含まれている場合、回折の影響まで考慮した高精度な解析を行うには、回折伝播計算を利用する必要があります
- しかし、回折伝播計算は、一般に計算パラメーターの変更とともに解析結果が大きく変化します
- そのため、本質的ではない、適切なパラメータの検索に多くの時間を割かれます

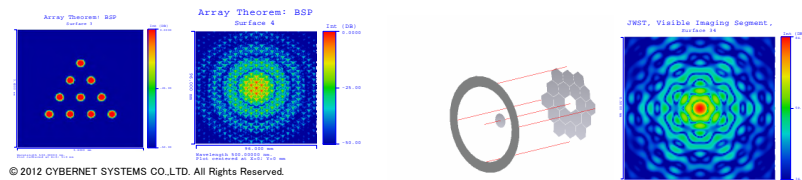
⇒ CODE Vの“BSP”機能が威力を
発揮します

- Beam Synthesis Propagation (**BSP**)

- **BSP** は、ビームレットをベースにした高精度な回折伝播アルゴリズムです

- **BSP** には、評価する光学系に対する適切な入力値の決定を補助する“**事前分析**”機能があります

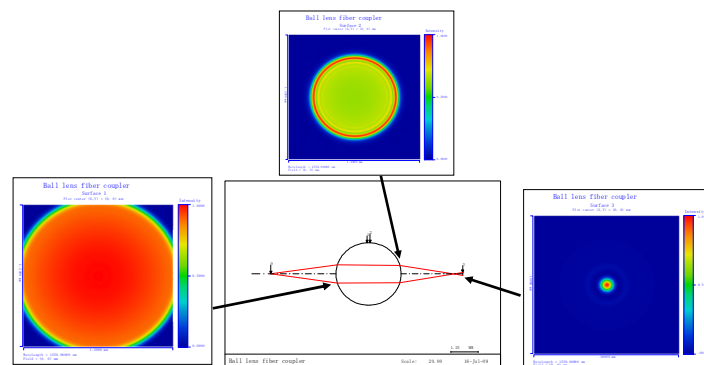
- この機能により、他のビーム伝播解析よりも簡単に正確な結果を得ることができます



9

BSPで出力できる情報

- 回折の影響を考慮して、光学系中の任意の面上の、光の**強度**、**位相**、**振幅** etc..を出力できます
- その際、ベクトル解析を行うことができます



(各面の強度を表示した例)

BSP の強み

- 他の伝播アルゴリズムと比較して、以下の強みがあります:

－ 高精度

- ベクトル場の伝播を扱え、偏光を考慮した解析が可能です。NASAのプロジェクト(恒星近傍の地球型惑星の直接観測)で高精度な解析を行う目的で開発されたため、非常に高精度です

－ 簡易性

- 解析対象となる光学系を自動分析して、伝播パラメータの推奨設定を計算する事前分析機能があります

－ 汎用性

- 複雑な形状や配置、GRIN材質、複屈折材質を持つモデルなども解析対象です。また、入力ビームとして任意の複素振幅データを指定できます

－ 効率性

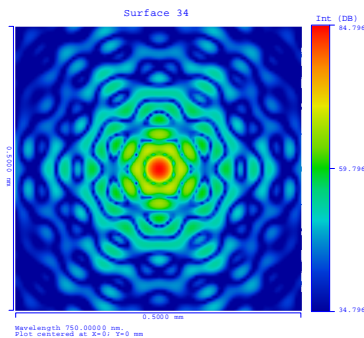
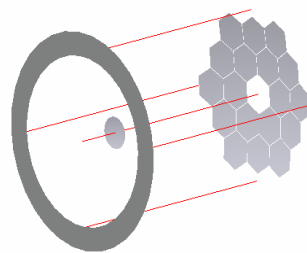
- ビームレット伝播の改良およびアルゴリズムとマルチコア計算のサポートにより、BSPによる解析計算は効率よく行います

－ 統合性

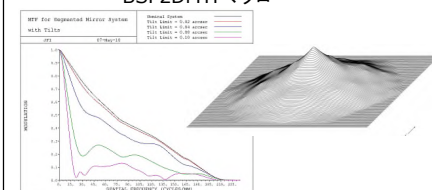
- 計算結果は数値データとして外部に出力できます。このデータと他の機能と組み合わせることで、相乗効果を発揮します

カセグレン望遠鏡の解析例

- セグメント化されたカセグレン望遠鏡の解析例です。セグメントミラーの形状とミラー間の隙間によって単純な像を形成しないことが判ります

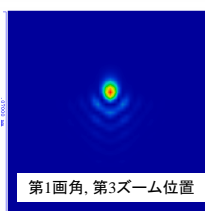
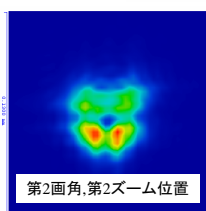
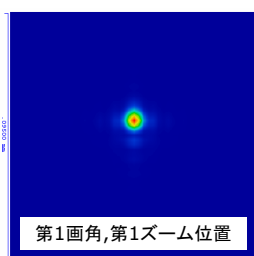
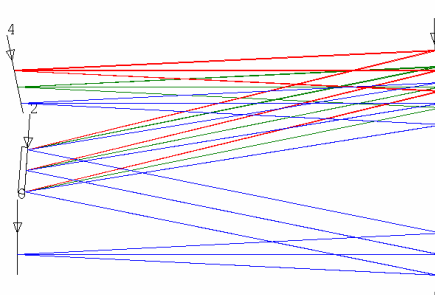


(参考) BSPを用いたMTF計算
"BSP2DMTFマクロ"



スペクトロメーター(分光計)の解析例

- 分光器の解析例です。
下図のズーム位置は波長に対応しています



製造時における課題(アライメント解析)

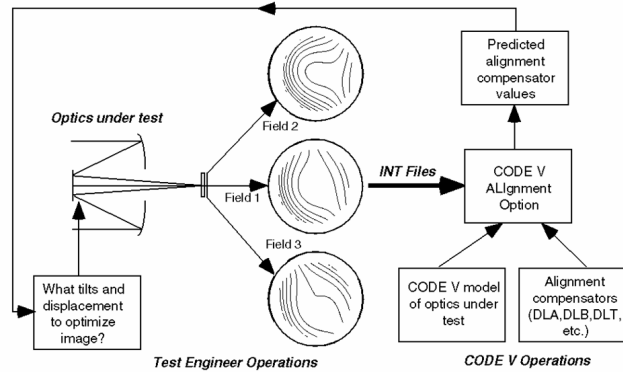
- 設計が終了し製造を行ったが、誤差感度が厳しく、所望の性能を満たすように製造することができない・・・
- 複数の調整機能を組み込んではあるが、どの調整機構をどれだけ動かせば性能を補償することができるのか、機構の数が多過ぎて決定することができない・・・

⇒ CODE Vの“アライメント解析”
機能が威力を発揮します

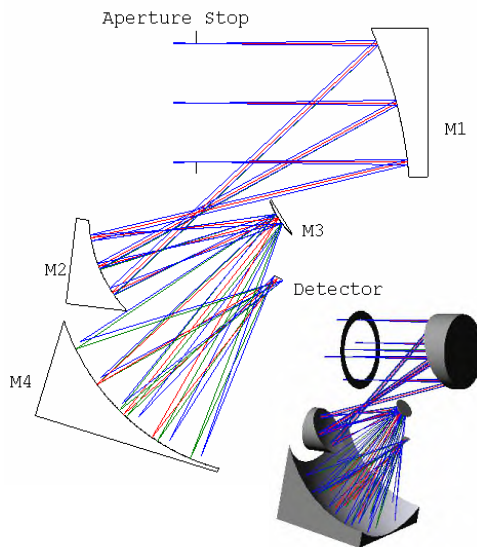
アライメント解析とは？

- CODE Vのアライメント解析を使用すると、干渉計による実測データを元に、調整機構をどのように動かせば、設計性能により近づけることができるか確認ができます

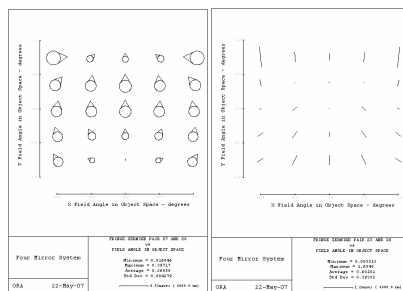
* RMS
波面収差で
評価します



アライメントの調整の例



この例では、複合4枚ミラー構成の光学系に対してアライメント解析を行います

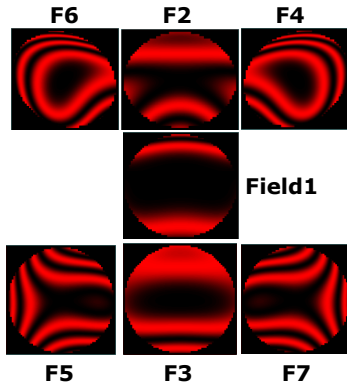


フルフィールド
コマ収差
(ZFR 7 & 8)

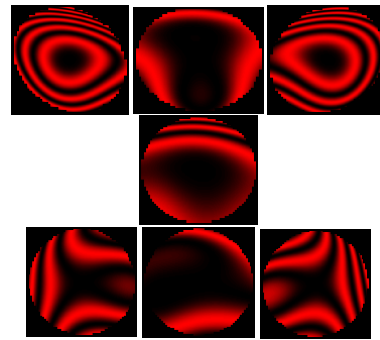
フルフィールド
非点収差
(ZFR 5 & 6)

干渉縞の変化

- ノミナル(設計通りの)光学系で測定される各画角の干渉縞:



- 微小な誤差変動が与えられた光学系で測定される各画角の干渉縞:



調整機構の設定

- ミラー M2, M3, M4 とディテクタのディセンターの位置と傾き(計17個)を調整機構として、アライメント解析を実行します

コンペンセータ							
	タイプ	開始面	値	コンペンセータ使用のコントロール	Xオフセット	Yオフセット	Zオフセット
1	DLX - 面の X-平行移動 (レンズ単位)	3 - M2	0.5000	状況に応じて使用			
2	DLY - 面の Y-平行移動 (レンズ単位)	3 - M2	0.5000	状況に応じて使用			
3	DLA - 面の アルファ ティルト (ラジアン単位)	3 - M2	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	-18.9062	4.8748
4	DLB - 面の ベータ ティルト (ラジアン単位)	3 - M2	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	-18.9062	4.8748
5	DLX - 面の X-平行移動 (レンズ単位)	4 - M3	0.5000	状況に応じて使用			
6	DLY - 面の Y-平行移動 (レンズ単位)	4 - M3	0.5000	状況に応じて使用			
7	DLA - 面の アルファ ティルト (ラジアン単位)	4 - M3	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	-0.0755	8.0000e-005
8	DLB - 面の ベータ ティルト (ラジアン単位)	4 - M3	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	-0.0755	8.0000e-005
9	DLX - 面の X-平行移動 (レンズ単位)	5 - M4	0.5000	状況に応じて使用			
10	DLY - 面の Y-平行移動 (レンズ単位)	5 - M4	0.5000	状況に応じて使用			
11	DLA - 面の アルファ ティルト (ラジアン単位)	5 - M4	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	27.9235	6.5789
12	DLB - 面の ベータ ティルト (ラジアン単位)	5 - M4	0.2000	状況に応じて使用	0.0000	27.9235	6.5789
13	DLA - 面の アルファ ティルト (ラジアン単位)	像 - Detector	0.0200	状況に応じて使用	0.0000	0.0000	0.0000
14	DLB - 面の ベータ ティルト (ラジアン単位)	像 - Detector	0.0200	状況に応じて使用	0.0000	0.0000	0.0000
15	DLX - 面の X-平行移動 (レンズ単位)	像 - Detector	0.5000	状況に応じて使用			
16	DLY - 面の Y-平行移動 (レンズ単位)	像 - Detector	0.5000	状況に応じて使用			
17	DLZ - 面の Z-平行移動 (レンズ単位)	像 - Detector	0.5000	状況に応じて使用			

- 正しく位置合わせされていない光学系は、ノミナル光学系の約2倍のRMS波面収差がありました

- アライメントした後はRMS波面収差が0.066 λ だけ残りました。つまりALIは製造誤差とアライメントミスによる性能劣化を82%リカバーしました

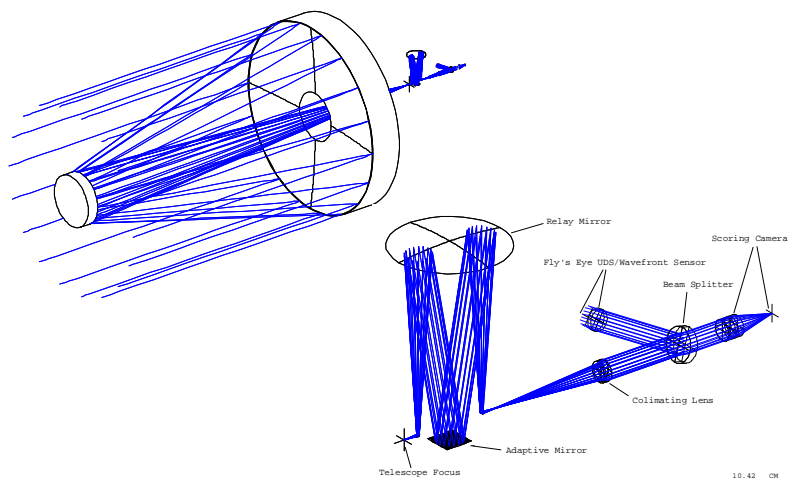
ALIGNMENT SOLUTION

Wavelength = 8000.0 nm.

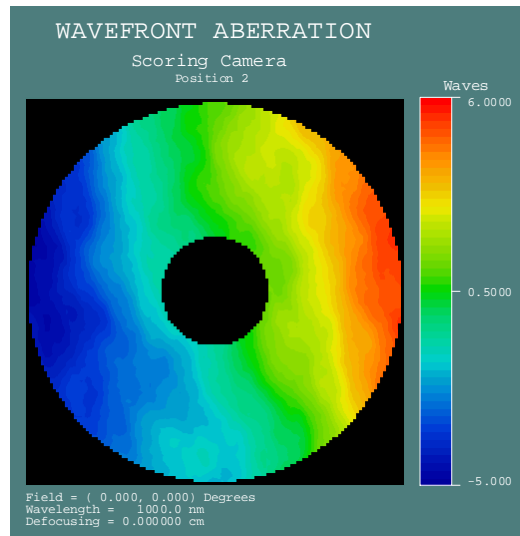
Zoom	Field	Field weight	Number of rays	RMS wavefront difference	
				pre-align	post-align
1	1	1.000	160	0.3175	0.0509
1	2	1.000	116	0.3853	0.0835
1	3	1.000	202	0.3015	0.0667
1	4	1.000	105	0.3538	0.0877
1	5	1.000	179	0.3281	0.0486
1	6	1.000	105	0.5119	0.0900
1	7	1.000	179	0.3961	0.0465
TOTAL				0.3655	0.0663

この値を最小化するのがALIの目的です

例1: 補償光学(AO)の解析例

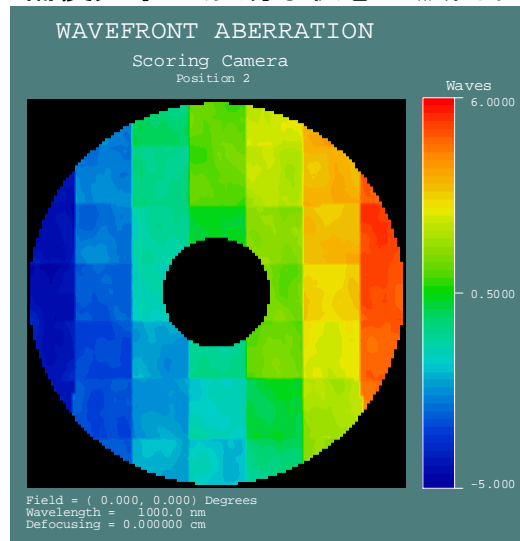


大気変動を受けた波面収差



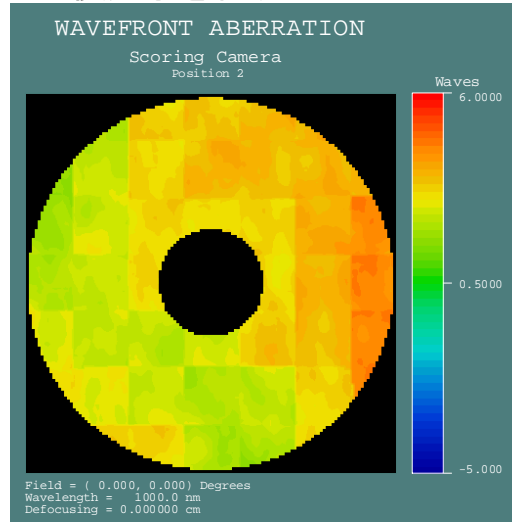
© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

補償光学が無効な状態の波面収差



© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

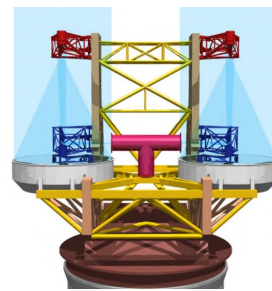
補償光学を有効化した波面収差



© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

例 2: 大双眼望遠鏡

- 2例目として、アリゾナ州Mt. Grahamに設置されているLBT(大双眼望遠鏡)をモデリングしました
- この望遠鏡は、直径8.4mの鏡面(1枚もの)を持つグレゴリー式反射望遠鏡2基で構成され、両者は14.4mの間隔においてマウントされています
- 2基の望遠鏡で得られる波面(ビーム)は、(通常は)結合され1つの像を形成します



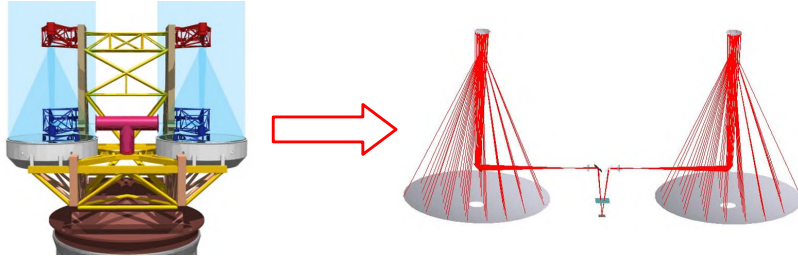
<http://lbtwww.arcetri.astro.it/images>

- (このような系では)入射瞳と射出瞳間で線形にマッピングできないため、CODE VのPMA、PSF、MTFなどの解析オプションは適切に機能しません

BSP ではこのような光学系に対して正確なPSFを計算でき、
正確なMTFが計算されます

© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

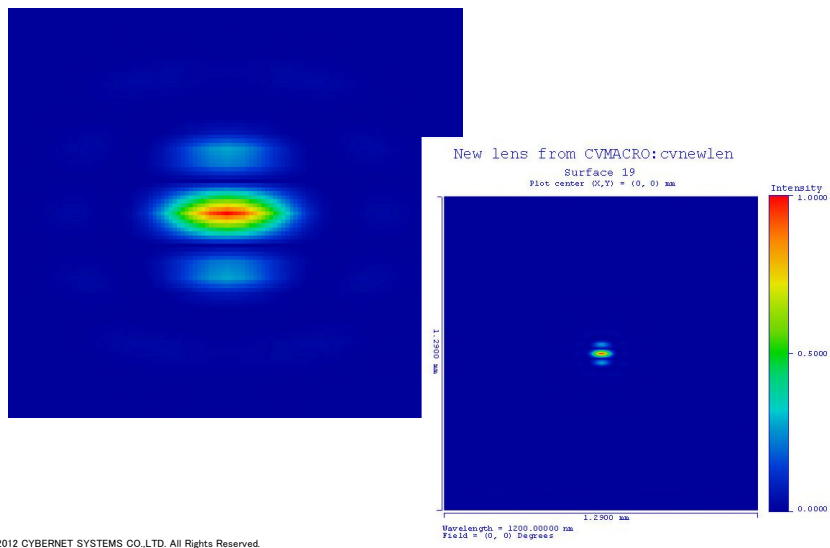
CODE V における LBT のモデリング



- この望遠鏡の持つビームコンバイナに関する情報を持ち合わせていないため、この事例ではシンプルに非球面レンズを使用しました
 - 使用画角は軸上画角、波長は1波長としました
 - 設計上の性能は、2本の望遠鏡とも殆ど完璧に近い状態です
 - ビームコンバイナは、半角6度の主光線を持つビームを結合します

© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

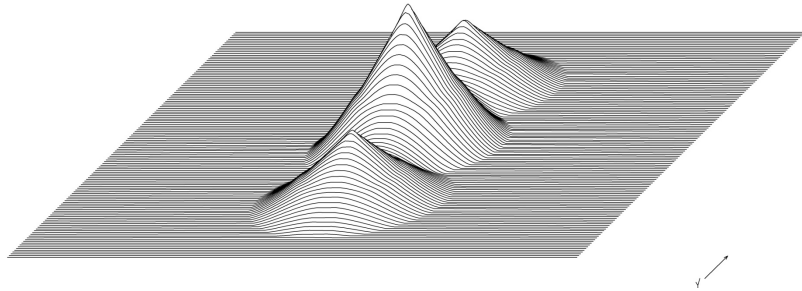
BSP を用いた LBT の点像強度



© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

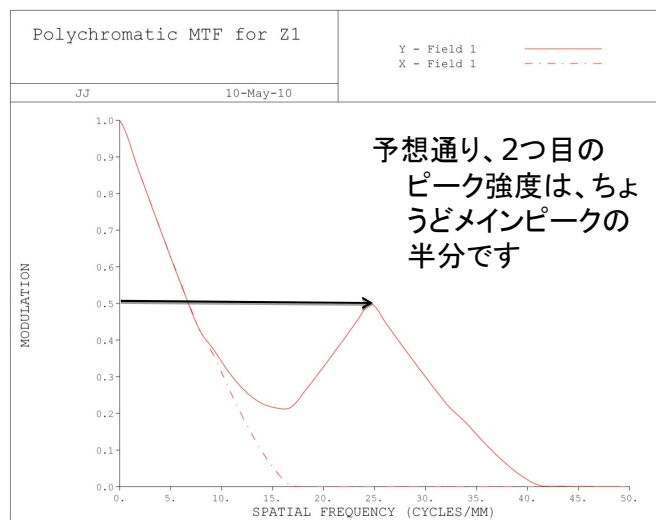
LBT の 2D MTF

- 2D MTF プロットでは、同一サイズの円形サブ開口 2つからなる射出瞳の自己相関から予測した結果が、正確に再現されていることがわかります



© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

LBT の 1D MTF チャート



© 2012 CYBERNET SYSTEMS CO.,LTD. All Rights Reserved.

CODE V の開発元

- CODE Vは Synopsys, Inc.が開発・保有し、サイバネットシステム株式会社が販売と技術サポートを行っている光学設計・シミュレーション解析ソフトウェアです

URL : www.opticalres.com

- 50年以上の光学設計のノウハウを詰め込んだソフトウェアで、天文に代表されるアカデミックな分野から産業界まで数多くの実績があります。開発元は、光学設計のコンサルティング、受託解析、ソフトウェアの開発を中心に、教育、技術サポートを含めて幅広いサービスを提供しています



CODE V の開発元

- 開発元が執筆している天文分野に関連した論文の一例
 - Misalignment-induced nodal aberration fields in two-mirror astronomical telescopes(1 June 2010 / Vol. 49, No. 16 / APPLIED OPTICS)
 - FISICA: The Florida image slicer for infrared cosmology and astrophysics(New Astronomy Reviews 50 (2006) 365–369)
 - LSST Telescope Alignment Plan Based on Nodal Aberration Theory(PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL SOCIETY OF THE PACIFIC, 124:380–390, 2012 April)
 - Extending Nodal Aberration Theory to include mount-induced aberrations with application to freeform surfaces(27 August 2012 / Vol. 20, No. 18 / OPTICS EXPRESS 20139)
 - An analytic expression for the field dependence of Zernike polynomials in rotationally symmetric optical systems(16 July 2012 / Vol. 20, No. 15 / OPTICS EXPRESS 16436)

まとめ

- 天文関連の課題に即して、CODE Vの有用な機能や事例をご紹介しました
- CODE Vの開発元Synopsys社では、天文関連への貢献も多く行っています
- 学術関連への貢献のため、アカデミックライセンスは非常に安価です。是非、CODE Vをご利用ください