

成 果 報 告 書

研究テーマ名：

Second-Earth Imager for TMT (SEIT)計画の実現に向けた要素開発

業務の実績

(1)業務の実施日程

業務項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
特殊偏光ビームスプリッタの設計			←————→									
特殊偏光ビームスプリッタの製作・仕様確認							←————→					
方式の構築										←————→		
要素実証光学系の実験												←→

(2)業務の成果の説明

本経費を用いて極限補償光学用の波面センサーの開発を行なった。図1は、極限補償光学用の波面センサーの原理図である。被計測光を偏光ビームスプリッタに結像させ、ピンホール（中心部）で参照光を生成し、その外側の被計測光の偏光を用いて干渉させるものである。今年度は、中心の偏光ビームスプリッタの設計・製作を行なった。しかし、偏光ビームスプリッタの製作の難易度が高く、製造に不備があったため、年度当初に掲げた目標である「Tweeter波面センサーの実験室実証」までは出来なかった。

1. 特殊偏光ビームスプリッタの設計製作/評価

要求仕様に耐えうる特殊偏光ビームスプリッタについて電磁波解析ソフトを用いて、計測波長800nmにおいて偏光分離度を1/100以下を満たす設計を行った。偏光分離度が小さい場合、計測誤差になるため、1/10以上の分離が要求される。図2は、製作可能な最適化された描画パターンでの瞳面（カメラで計測される面）で予想される偏光の強度分布である。また、図3に最終設計の描画領域の外形と、描画パターンを示す。図2に示すように、設計された描画パターンでは、中心およびその外縁での偏光分離度は1/100を満たすため、極限補償光学用のセンサーとして仕様に耐えうる。

パール光学での電子ビーム描画を用いて、10回の条件だしと複数回の試作を通して描画パターンが完成した。図4は、その納品された物の写真と、描画領域の拡大図である。一部については正しく描画できていることが分かる。次に、図5に示す光学実験系を組み、描画領域の偏光特性を調べた。図6と図7は、拡大率2倍と10倍で描画領域をカメラ面で結像したものと描画領域の偏光特性を調べた結果である。以下の点で仕様を満たさないことが分かった。

- ① 描画領域の左下に傷がかかっていること
- ② 描画領域の横方向の長さが設計値は2.8mmに対して実際には2mmであったこと
- ③ 中心部分を除く外側の領域は全く偏光していないこと
- ④ 中心部分のピンホールの偏光が確認されたが、1/2の偏光度しか確認されなかったこと

これらのことから、パール光学に再製作を依頼し、条件だしの工程から行なうことになった。以上から、2013年度の目標であるTweeter波面センサーの実験室実証まで行なえず、ビームスプリッタの設計製作の工程で留まった。

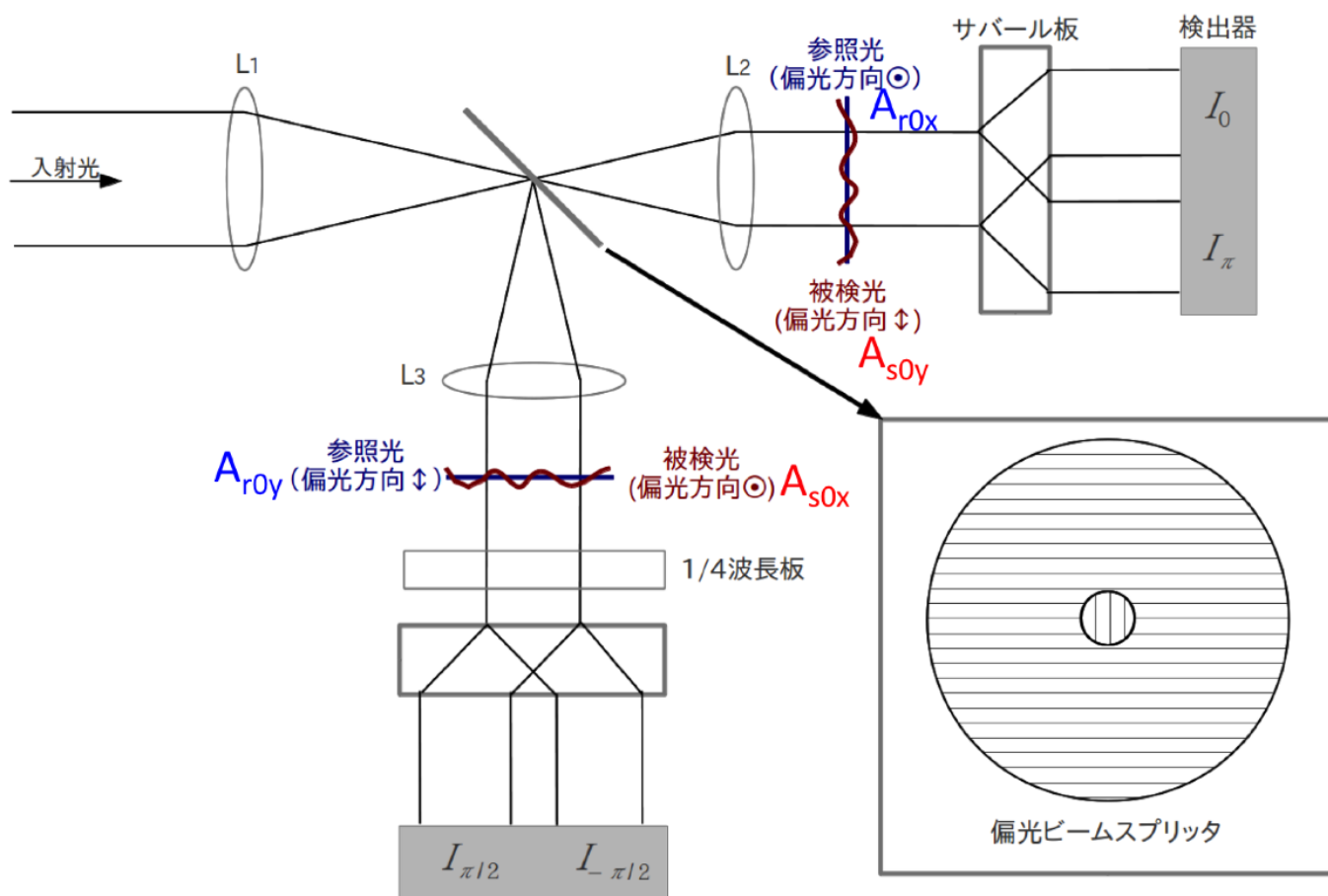
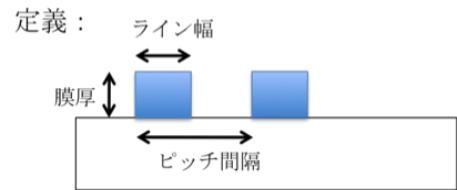
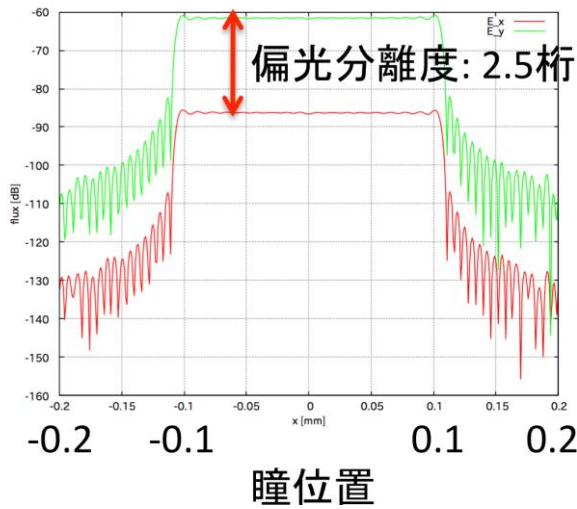
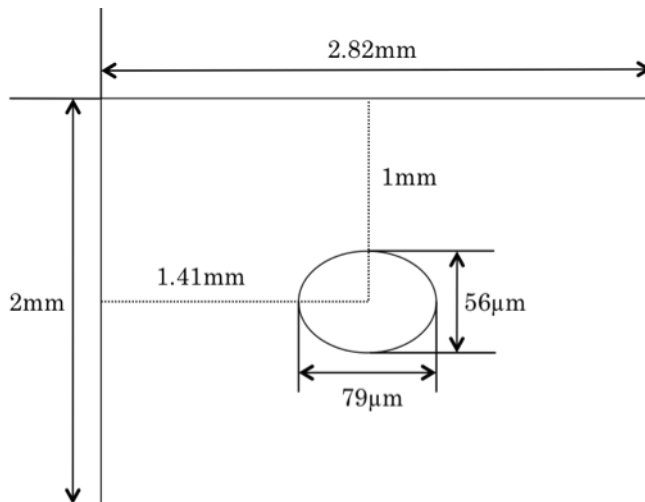


図1. 極限補償光学用波面センサーの概念図.



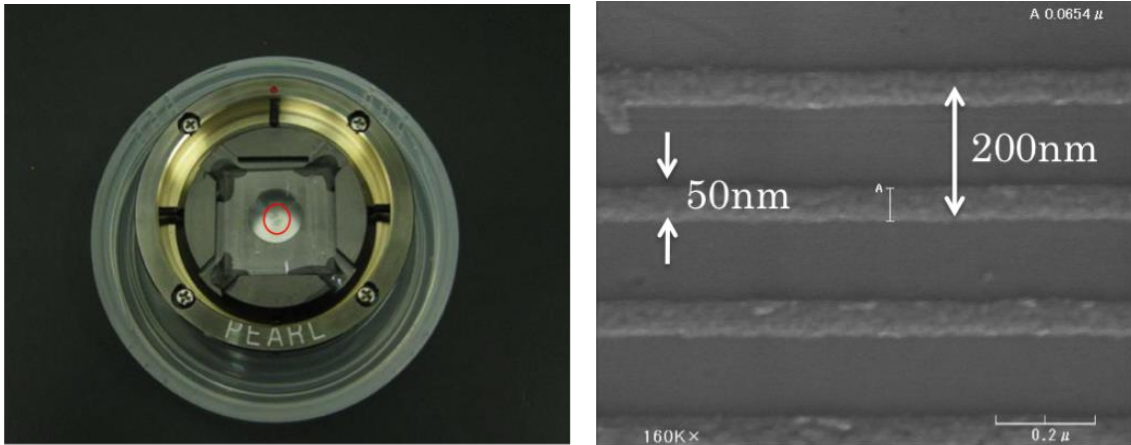
ワイヤーの太さ [nm]	25	50	70	50	50
ワイヤーの間隔 [nm]	150	150	150	110	200
偏光分離度(log)	3	2.5	1	1.5	2.5

図2. 偏光ビームスプリッタ後の通過光の瞳面での強度分布（左上）と様々なパターンでの偏光分離度の計算。ワイヤーの太さ（ライン幅）とピッチ間隔は、右上で定義される。



- 膜厚：50nm
 膜の材質：アルミ
- パターン1
- 内側：
- ライン幅：50 μm
 - ピッチ間隔：340 μm
- 外側：
- ライン幅：70 μm
 - ピッチ間隔：240 μm

図3. 偏光ビームスプリッタの描画領域のイメージ図。45度に傾けて使用する場合、中心は直径56 μm の円形開口、外側は2mm四方のパターンとなる。



偏光ビームスプリッタの完成品 電子顕微鏡による拡大図

図4. 製作されたワイヤーグリッド型偏光ビームスプリッタ (左) とその一部の拡大図 (右). 中心部の赤丸の2mm四方の領域に描画された。右図に示すように、ビーム描画のパターンが精度よく製作された。

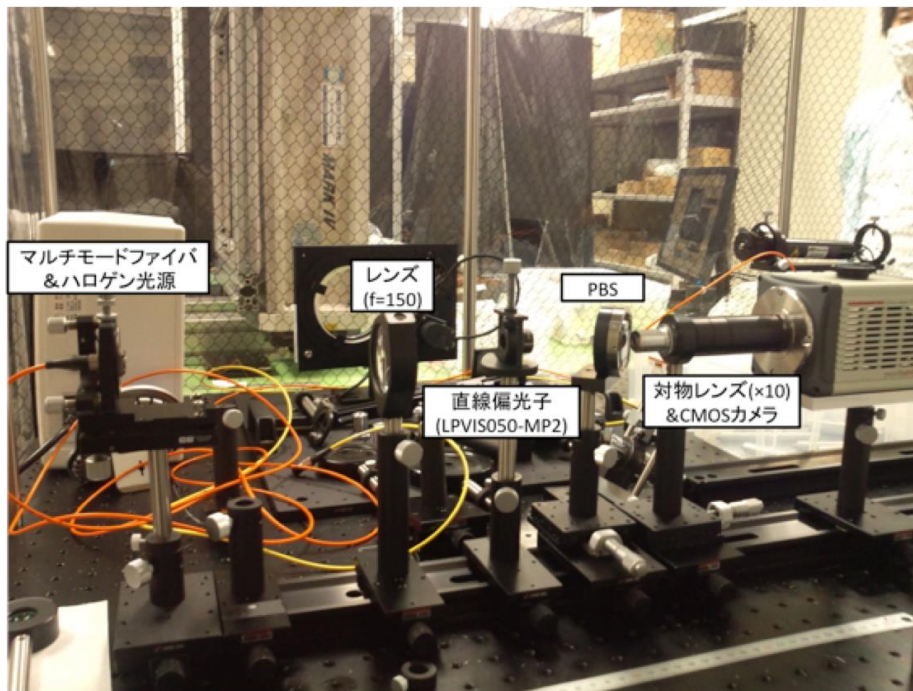


図5. 光学実験図.

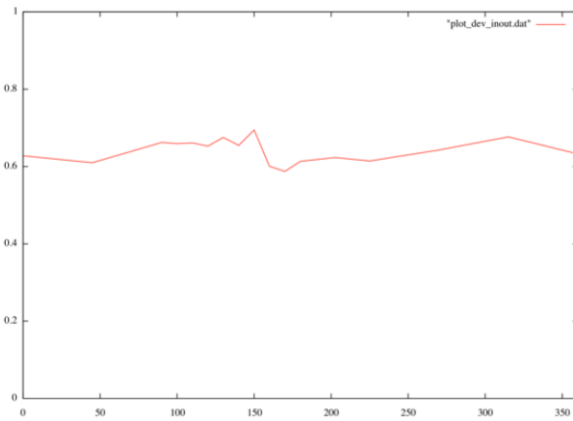
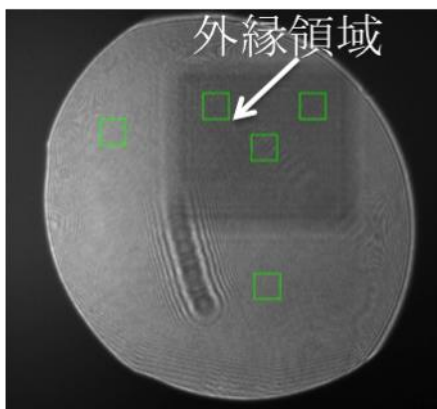


図6. 2倍拡大率の偏光強度パターン (左) と偏光特性 (右) . 緑の□で示した描画領域の強度について偏光板を0から360度まで回転させて、その偏光特性を調べた。外側は全く偏光していないことが分かる。

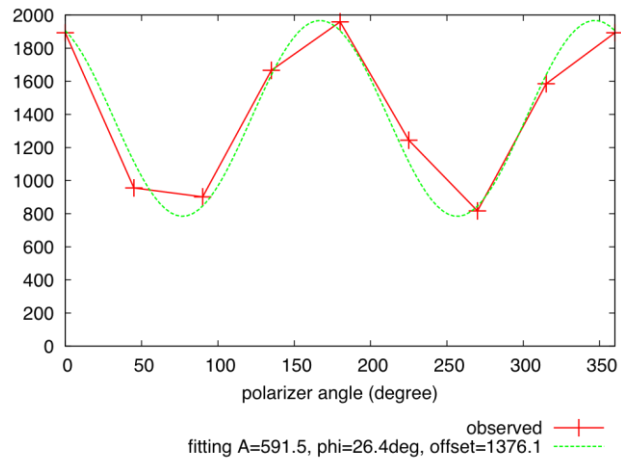
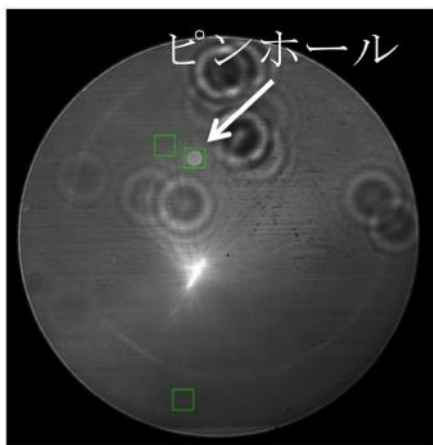


図7. 10倍拡大率の偏光強度パターンの観測. 視野は対物レンズで決定される。局所的な丸いパターンや真ん中の散乱光は、10倍の対物レンズの傷とほこりによって形成されたと考えられる。中心のピンホール部分は偏光が50%程度起こっていると考えられる。

2. 新方式の構築と他方式との比較

補償光学に用いられる従来の位相型波面センサーは、位相のみが計測される。例えば、Pyramid型位相センサーや、本研究で応用する点回折干渉計である。ここで、点回折干渉計は透過・反射の2光路で位相のsin成分とcos成分を同時に計測することに着目すれば、位相誤差が小さい領域ではsin成分から位相を回復することが可能である。そこで、cos成分を取得する代わりに参照光と被検光の強度を同時に取得することによって、**偏光ビームスプリッターへ入射する前の位相と振幅の同時計測が可能**となった。従来の点回折干渉計から大きく光学系が変更されるわけではなく、図1に示す透過光のサバル板の偏光軸を45度傾けるだけである。従来の極限補償光学系は、大気を通過する際に発生する振幅誤差によってコントラストが制限されたが、本方式を応用することによって、コントラストが主星近傍で1桁改善することが分かった。

また、将来TMT/PFIなどの極限補償光学で採用可能性のあるPyramid型位相センサーと本方式の比較を行なった。表1にその比較の結果を示す。詳細は省略するが、**本方式の利点として、Pyramid型位相センサーに比べて計測できる物理量の数が多いこと、また波面誤差の大きい(低ストレーラ比)領域**

でも有効に働くことが分かった。

表1. ピラミッド波面センサー(PWFS)、点回折干渉計 (PDI)、PDIを応用した位相/振幅同時測定PDI

	PFWS	PDI	位相/振幅同時測定 PDI
直接測定量	ピラミッド後の右手側/左手側瞳面強度分布 (P_R, P_L)	位相差 $0, \pi, \pi/2, -\pi/2$ の干渉光強度分布 ($I_0, I_\pi, I_{\pi/2}, I_{-\pi/2}$)	参照光 0 度成分強度分布 ($ A_{r0x} ^2$)、被検光 90 度成分強度分布 ($ A_{s0y} ^2$)、位相差 $\pi/2, -\pi/2$ の干渉強度分布 ($I_{\pi/2}, I_{-\pi/2}$)
取得可能な物理量	振幅エラー、PSF の精度とカップルした波面位相エラー量 (式 12-13)	位相 $\phi [-\pi : \pi]$	位相 $\phi [-\pi/2 : \pi/2]$, 振幅 $ A_{s0x} , A_{s0y} , A_{r0x} , A_{r0y} $
キャリブレーションが必要な項目	振幅エラーが位相エラーに比べて無視できるほど小さい。PSF コアの Strehl 比が十分高い。	観測天体/大気による偏光がない。	被検/参照光の偏光成分の比率は入射光の偏光成分の比率と等しい。
ダイナミックレンジ	位相 $\phi [-\pi/2 : \pi/2]$	位相 $\phi [-\pi : \pi]$	位相 $\phi [-\pi/2 : \pi/2]$
問題となるエラー	波面誤差がないときの像の位置/形状誤差。Strehl 比。波面エラーの振幅成分。	参照光の強度分布のフラット性。入射光の偏光度の大きさ。	参照光の強度分布のフラット性。

使用実績報告書

1. 総括表

区分	費目	予算額 (円)	決算額 (円)	委託費の 充当額 (円)	備考
支出	設備備品費	5,900,000	5,238,765	5,238,765	
	消耗品費	500,000	1,184,346	1,161,235	
	人件費	0	0	0	
	その他の経費	0	0	0	
	合計	6,400,000	6,423,111	6,400,000	
収入	委託費の額	6,400,000	6,400,000		
	自己調達額	0	23,111		
	その他	0	0		
	合計	6,400,000	6,423,111		

2. 決算費目別内訳

(A) 支出

a 設備備品費

種別	仕様	数量	単価 (円)	金額 (円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
クロスローラ オステージ	B59-60	1		141,015	2014/1/7	2014/1/14	2014/2/25	
特殊偏光 ビームスプリ ッタ	KYO-U-PTN-1	1		735,000	2013/10/28	2014/2/20	2014/3/13	
デジタルカメラ	ORCA-Flash4.0	2		3,690,750	2014/1/24	2014/2/28	2014/3/25	
Hバンド用フ ィルタ		1		388,500	2013/12/19	2014/2/25	2014/3/31	
Jバンド用フ ィルタ		1		283,500	2013/12/19	2014/2/25	2014/3/31	
計				5,238,765				

b 消耗品費

種別	仕様	数量	金額(円)	支払年月日	備考
平行平面基板		1	34,912	2013/11/25	
固定治具 2個外 1件		1	165,900	2014/3/20	
アダプタ		1	87,150	2014/3/20	
球形乾電池1個外1件		1	8,950	2014/3/25	

アロマティックレンズ 2個外5件		1	277,305	2014/3/25	
Ts Cマウント延長バレル15mm2個外8件		1	77,385	2014/3/31	
アルミ平面ミラーTFAN-50S08-1 1個 外1点		1	25,147	2014/4/11	
USB		1	4,280	2014/4/11	
カウンターバランス		1	77,700	2014/4/11	
マウントフィルター/偏光子ホルダー		1	15,015	2014/4/11	
TS 25/25.4mm用光学セル		1	4,935	2014/4/11	
コネクター用アダプタF16-2 1個外8件		1	366,345	2014/4/11	
ビームスプリッターマウント 外1件		1	22,942	2014/4/11	
オプティカルセル		1	16,380	2014/4/11	
計			1,184,346		

c 人件費

種別	摘要	金額(円)	支払年月日	備考
該当なし				
計				

d その他の経費

種別	摘要	数量	単価(円)	金額(円)	発注年月日	引取年月日	支払年月日	備考
該当なし								
計								

(B)収入

種別	摘要	金額(円)	備考
委託費の額		6,400,000	
自己調達額		23,111	
その他		0	
計		6,423,111	

(注) 委託業務の実施に際し、収入を得た場合や取引相手先からの納入遅延金が発生した場合には、収入の欄におけるその他に計上すること。