

共同研究報告書

令和6年4月30日

研究代表者：

氏名 西川 淳

所属・職 国立天文台・助教

研究題目：焦点面位相マスクとアポダイザによるコロナグラフの開発

1. 成果報告

(1) 研究の実施日程

研究項目	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
8k分解能のため 計算能力の向上					○	○	○	○	○	○	○	○
赤外部品調達・ 光学系改修							○	○	○	○	○	○
コントラスト不足 原因の究明			○	○	○	○	○					

(2) 研究成果

1) 目標： TMT主鏡形状+24 分割マスク対応のアポダイザについては、4k分解能での設計・製作と実証実験まで進んでいた。本年度は、8k分解能での設計のため、計算能力の向上を行う。計算機のCPUチップの交換とソフトの更新を行い、並列計算数を増やして、現実的な時間での計算完了を目指す。

成果： CPUチップの交換、ソフトの更新（遅れて獲得した別予算での対応に変更）、およびコード改造により、48並列での計算が可能になり（図1）、GPUには載りきれない8k分解能での計算がGPU並みの速度で進められるようになった。1k解を元にして2k解を求めるなどの倍化ステップにより大フォーマットの解を得ているが、その際に変数を減らせば計算時間を短縮できるが、形状に無理な構造が発生して最適解から離れることが分かった。より最適に近い解を求めるためには、従来の想定より変数が多く長時間の計算が必要となり、現時点では約4倍としているが、安全な倍率の調査には時間が必要である。4倍設定では4k分解能では6日かかり、8k分解能では極力変数を減らせば暫定解を得ることはできるが、アルゴリズムの改良が必要であるとの認識に至っている。

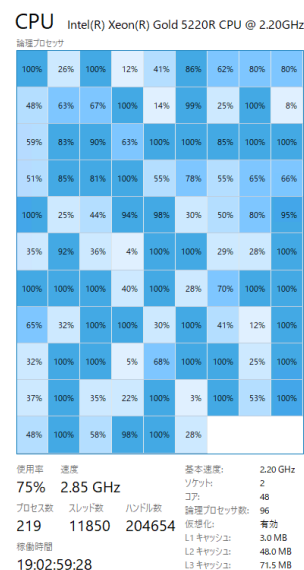


図1：48CPUの使用率

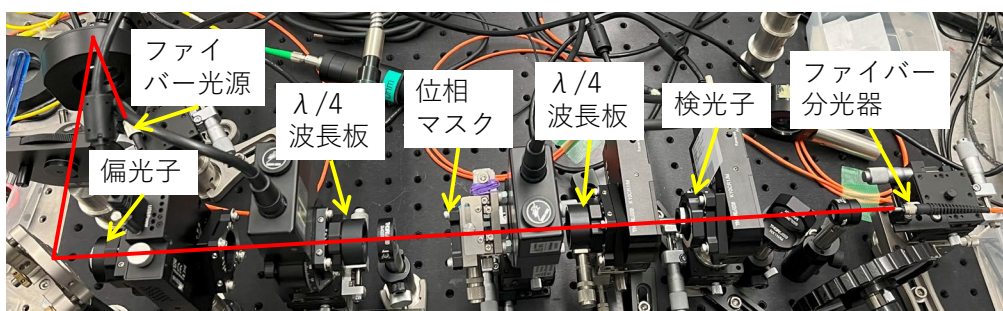


図2：ストークスポラリメーター

2) 目標：赤外位相マスク製作の準備として、赤外用部品の調達を進め、光学系の一部の改修を行う。

成果：赤外用部品の調達とコロナグラフおよび偏光特性評価装置の光学系の一部の改修を行った。偏光特性評価装置は、装置を制御していたPCが故障したため更新した(予定外だが本予算で対応)。また、回転装置とλ/4板を別予算で追加して、Mueller行列エリプソメーター(ストークスポラリメーター)へとアップグレードし、位相マスクのMueller行列の全要素が測定できるようになった(図2)。ただし、波長板の位相差以外の微量成分を測定するには精密な較正が必要である。回転装置の角度誤差、2枚のλ/4板の位相差に加えて、位相差以外の微量成分に対する較正を慎重に考慮する必要がある。

3) 目標：予定する帯域でコントラストが十分に得られていない原因の究明作業として、絶対位相の評価、基板厚みの影響の調査、などを行う。

成果：各層の位相差誤差+層間隔+回折+偏光を取り入れたモデル計算を行って調査した(図3)。その結果、これまでに試作した全ての位相マスクの消光比の不具合の原因が特定され、統合的な理解を得るに至った(図4)。消光比は「層間隔/F値二乗」の関数で、全層厚が小さいほうが良いが、それよりも3層が非等間隔であると顕著に性能が劣化する。これまでの一括成膜接着型では、第1層と2層を密着させて第3層だけ離れていて、その結果ほぼ単層マスクの特性となっており、大きな問題と判明した。直接積層型では、各層の位相差の違いが主因であり、それぞれ対応が分かれることになる。4次8分割位相マスクでは、層間隔/F値二乗が増えるにつれて単調にコントラストは悪化した。6次の位相マスクでは、一度コントラストが悪化したのちに徐々に改善し、0.5mm基板で等間隔接着した場合に、600-950nmの超広帯域の特性が得られることが発見されており(図4、赤破線)、今後この方式で推進することになる。基板厚みの問題がない直接積層は、HWO向けには必須と分かったが、地上望遠鏡向けには必ずしも必要ではなく、直接積層技術の確立を待って導入する。

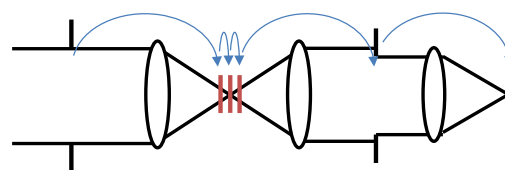


図3：各層の位相差誤差+層間隔+回折+偏光を取り入れたモデル計算の概念図

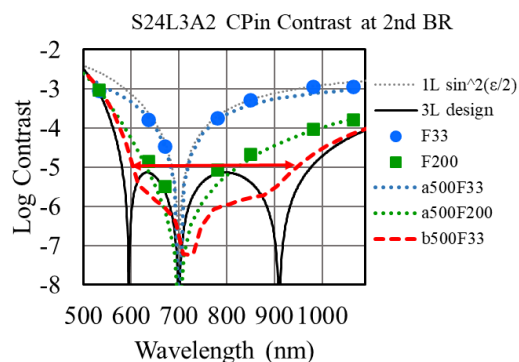


図4：PSI b1 3層 24分割の消光比。
 黒細点線：単層、黒太線：3層設計値、
 非等間隔接着型：●：F/33 実測値、
 ■：F/200 実測値、青と緑の点線：F/33と
 F/200の数値モデル、
 等間隔接着型：赤破線：F/33の数値モデル

2. 使用実績内訳

費目	摘要	数量	金額(円)	備考
設備備品費	計算機のCPUアップグレード	1	739,200	購入依頼番号 100976363
	ノートPC	1	106,480	購入依頼番号 100977377
消耗品費	光学部品	1	688,043	購入依頼番号 100984905 100984918 100989241 100990291
国内旅費	該当なし			
国外旅費	該当なし			
その他の 経費	計算機輸送料	1	2,277	購入依頼番号 100984316
合計			1,536,000	