

ハレアカラ PLANETS1.8m 望遠鏡主鏡の研磨プロセスにおける

鏡面機上計測法の検討(II)

2019年3月30日

名古屋大学環境学研究科 地球環境科学

平原靖大

研究目的

東北大学がハワイ大学他と共同でハレアカラ山頂サイトに建設を進めている、PLANETS 1.8m 望遠鏡の単一軸外し放物面主鏡(曲率半径 10 m)の最終精密研磨の方法について、最終鏡面形状の仕様と、それを満たすための研磨台机上計測法、および鏡面支持方法について検討する。

研究内容

2018年6月まで、前年度に引き続き、マウイ島内の HNU Optics 社での鏡面フィゾー干渉計の構築に必要な検査塔の上部平面鏡の支持機構の詳細設計と自重変形シミュレーションを行った(図1)。タワー上部に設置する平面鏡(口径900mm, 厚さ165mm, 重量260kg)は、tip-tiltの微調整機構を備えた上で、鏡の歪みを抑えた支持方法を採用する必要がある。ハワイ大学や東北大学を加えた検討により、上面3箇所から逆ウィッフルツリー(均等荷重)の支持構造により全体の90%の荷重を支持する。平面鏡支持機構のベアリングや支持部品は名古屋大学で調達を完了し、ターンテーブルは東北大学で製作を完了した。

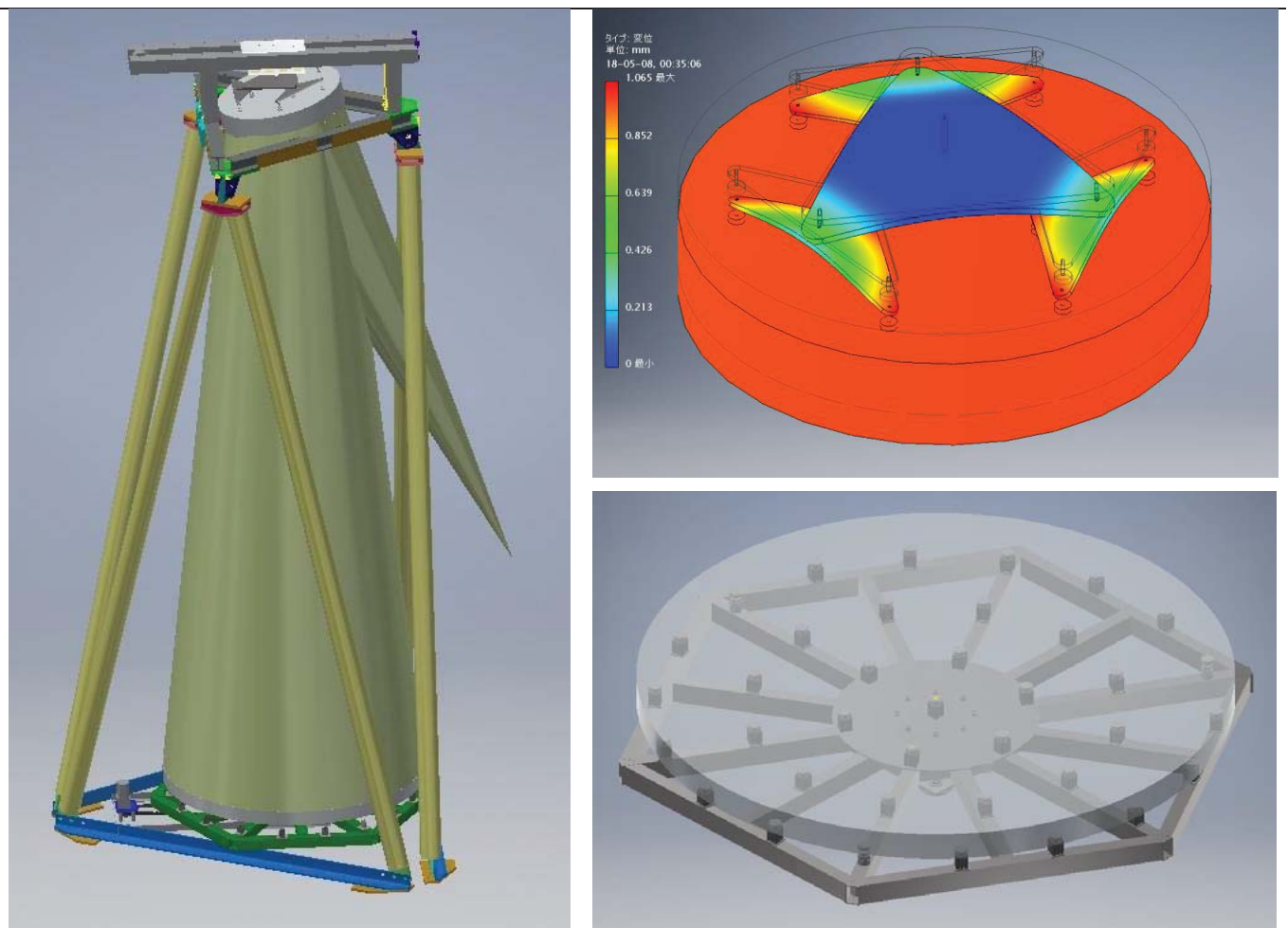


図 1: 設計した研磨台と検査塔の構造図 (左: 全体図、右上: フィゾー干渉計導入用 90cm ϕ 平面鏡と Whiffle Tree 支持機構の変形シミュレーション結果、右下: 研磨ターンテーブル、主鏡およびその支持機構)

しかし設計完了後、HNU Optics 社は倒産し、当初のマウイ島での最終研磨工程は遂行不可能となったため、直ちに新たな手段の検討に着手し、(1)名古屋大学東山キャンパス内の実験棟での研磨と、CGH(Computer Generated Hologram)干渉計による机上計測、(2)ナノオプトニクス研究所アストロエアロスペース社(岐阜県関市)のロボットアーム研磨機と3点接触式による机上計測、の2つが有力であると判断した。双方ともに、軸外し非球面の最終形状を忠実に測定することが不可欠であり、複数のメーカーとの議論により両案を詳細に検討した。

検討内容

(1) CGH 干渉計 (図2)

Computer Generated Hologram を設計・製作のうえ、被検鏡面と参照鏡面に He-Ne レーザー光を照射し、反射光の干渉パターンを、ビームスプリッターを介してイメージセンシングする方法である。PLANETS 望遠鏡の主鏡(焦点距離 10m)の形状計測に適用する場合の最大の長所は、2つの光路がほぼコモンパスであるために、力学的な振動の影響や CGH 描画基板の変形の影響が相殺されることであり、建屋や検査塔の高い耐震性を必要としない点である。

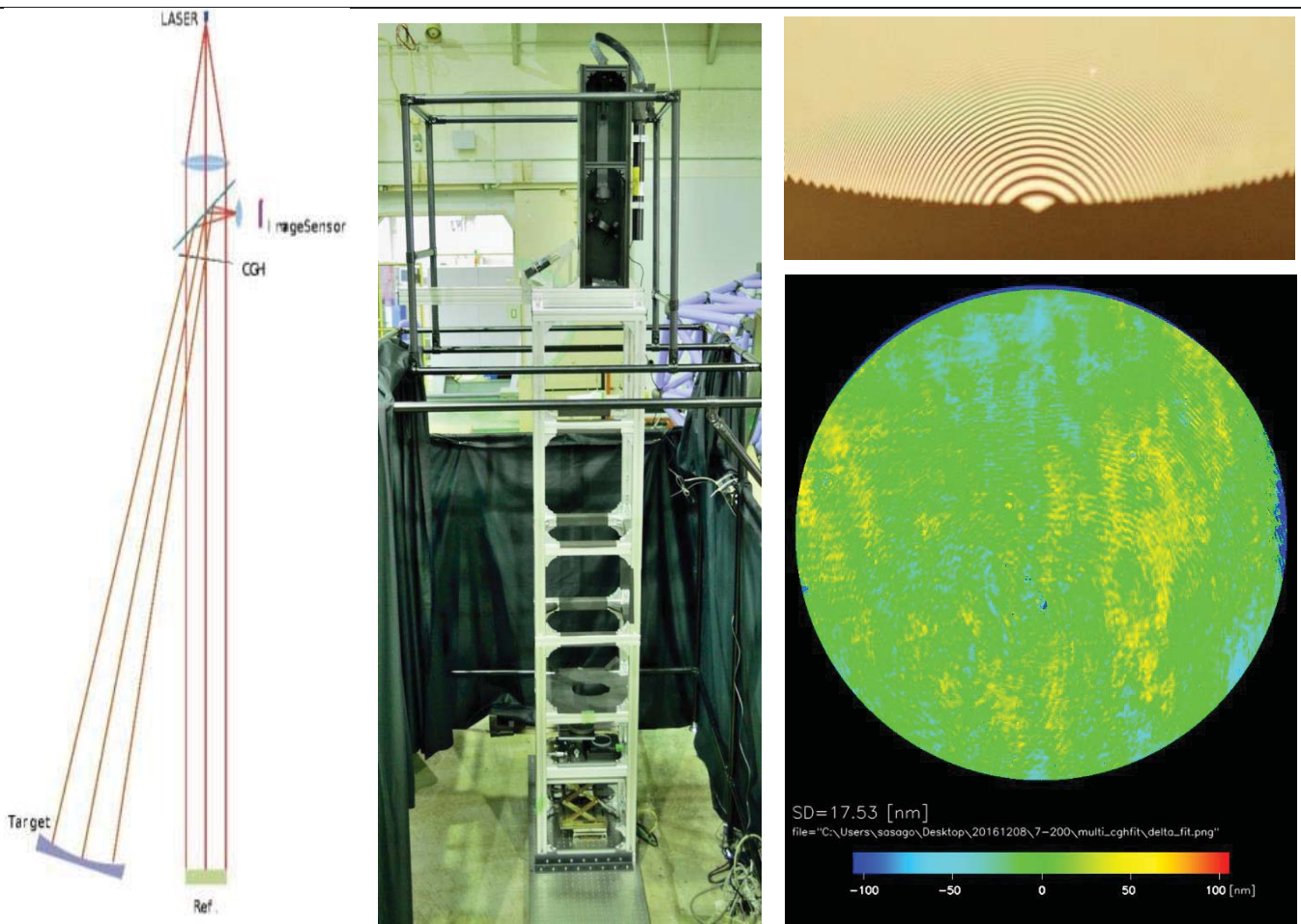


図2: CGH 干渉計 左:原理図、中:名古屋大学レーザー実験棟に構築された CGH 干渉計の例[(株)ささご提供]、右上:用いられた CGH 素子($\phi 46\text{mm}$)のリソグラフィパターン(ギャップ $\sim 6\mu\text{m}$)、右下:球面協($f=1143\text{mm}$, $\phi = 108\text{mm}$)の CGH 干渉測定結果:形状誤差(標準偏差) $\sim 17\text{nm}$ が測定できている。

(2) ロボットアーム研磨機による3点接触式形状計測

アストロエアロスペース社は、近年、京都大学 3.8m ϕ せいめい望遠鏡の分割主鏡の製作を行った実績がある。また、せいめい望遠鏡の副鏡(双曲面)、および第三鏡(平面)は、最終研磨工程で用いる目的で、2年前にロボットアーム研磨機を開発した(図3)。凹面以外の大型鏡面の精密な形状計測を干渉計で行うのは困難であるが、この新しい研磨機(ターンテーブル 2m ϕ)では、ロボットアーム(Stäubli RX-160)のワークヘッドに研磨パッドと3点接触センサーモジュールを取り付け可能で、3点の位置を高精度で“ひきずり計測”することで、局所的な曲率を求め、数値積分操作によって被研磨面全体の形状を計測可能である。

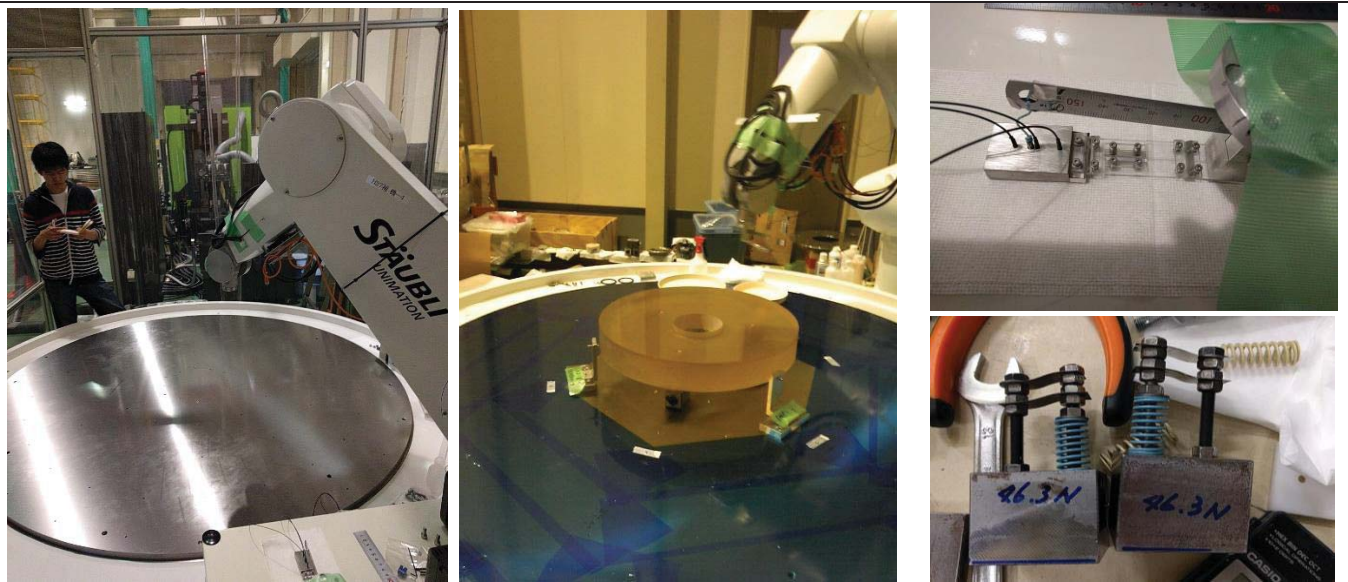


図3 アストロエアロスペース社のロボットアーム研磨機 左: 全体図、中: 60cm ϕ カセグレン鏡の加工中の様子[(株)ささご 提供], 鏡面形状計測には3点接触引きずり式とCGH干渉計測を併用し相互評価を行った。右上: 3点接触センサーモジュール, 右下: 定圧ばね支持機構(46.3N)、被加工鏡をテーブル上に固定するために用いられる

検討結果

(株)ささご、およびアストロエアロスペース社との詳細な検討、議論の結果、

(1)CGH干渉計測+東北大学自作研磨台(鍵谷将人博士が製作済み)によって最終研磨を行う場合には、主要な開発要素はCGH光学素子の設計・製作と、光学系の構築のみで、He-Neレーザー光源、CCDカメラ、ビームスプリッタなどは名大・国立天文台などで現有のものを借用して行うことが可能である。反面、高さ~10mの建屋内にタワーを構築する必要があり(強度は必要ないが)、最有力候補である名大レーザー実験棟の長期使用が必要となる。この実験棟は2020年度以降、他の目的に使用されるため、この場所での加工は不可能であり、(東北大を含む、名大キャンパス以外の)他のスペースの探索が必要である。

(2)ロボットアーム研磨機によって最終研磨を行う場合には、現在のアストロエアロスペースの工場内にCGH干渉計測光学系を構築することは不可能であり、形状計測は研磨工程ごとの3点接触計測に依るのみで、計測結果の信頼性の評価が重要である。上記(1)のCGH干渉計測との併用例(60cm ϕ 放物面鏡)からは、PLANTES望遠鏡の最終研磨の要求精度を満足する(図4)が、1.8m ϕ 非軸放物面の形状計測については半径方向のほかに動径方向に変化する曲率(半径8666mm, 最大10%変化)を連続的に計測し積分する必要があるため、下記の新規開発要素が発生する:

- (i)最終研磨後の構造関数に見合う研磨パッドのサイズ検討
パッドを小さくすると加工時間(加工コスト)が増える
- (ii)軸はずし放物面鏡に適した3点接触計測アルゴリズムの新規構築

上記の2つの手法の長所・短所を踏まえ、共同研究者と議論した結果、現状では(2)を採用することが適当と判断した。今後、アストロエアロスペース社・名大・東北大・および京大の研究者・大学院生が積極的に参加した要素技術開発型の最終研磨体制の構築や、開発資金獲得に向けた諸活動の開始を提案した。

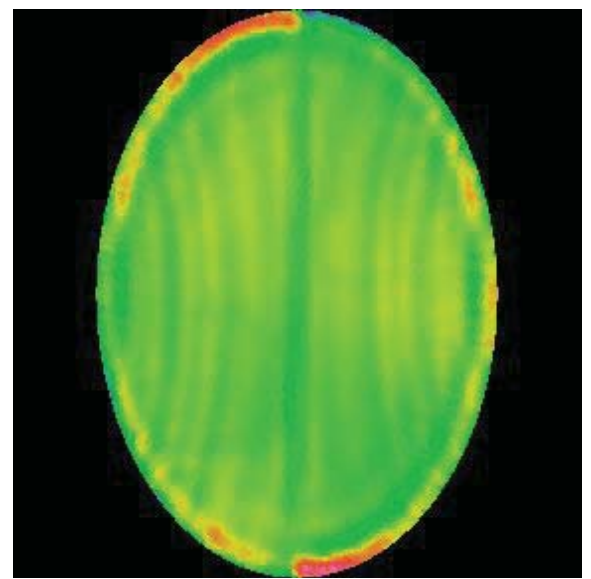


図4 せいめい望遠鏡第三平面鏡(長径1m)の最終研磨後の3点接触計測によるプロフィール rms: 27nm, 縞模様は研磨パッドの動きを反映している(京都大学 栗田博士提供)。

その他：近赤外線エシエル分光器(ESPRIT)InSb 256x256 FPA 検出器駆動電子回路の開発(概略)

2016年度、2017年度および本年度のPPARC共同研究経費を一部使用して、ESPRITに搭載予定のRaytheon社製InSb FPA検出器(ROIC:CRC 463)の駆動電子回路の開発に取り組んできた。名古屋大学に現有の、同一チップ2種を貸与し、東北大学でこれまで用いてきたTACS system(天文学科 市川名誉教授による設計・製作)での動作試験を目指している。具体的には(1)低温(~90K)冷却差動ソースフォロワの開発、(2)クライオスタット内の配線材の交換(従来はハーメチックコネクタ配線からの熱流入により、最適動作温度30Kまで到達せず)、(3)CRC463の診断出力信号線LASTC, LASTR、チップキャリア直近の温度計測可能な温度センサー信号の引き出しが可能なファンアウトボードの新規設計と製作などを、坂野井健博士・鍵谷将人博士と共同で行った。また、2014年に、東北大学のCRC463サイエンスグレードチップが動作不良状態となっていたが、2019年3月に詳細な状況を調査し、具体的な故障の症状とその原因、今後の対処方法の検討を行った。その結果を下記にまとめる：

- (1) 故障の原因：TACSシステムのFPA検出器へのクロック・バイアス電圧供給スタートアップシーケンスの不定性、もしくは帯電した人体からの過電圧印加
- (2) 故障の内容：CRC463内部のslow scanner用シフトレジスタ偶数段入力部のP-MOSFETのゲート=チャンネル間の(部分的な)静電破壊
- (3) 故障を回避した正常動作への復帰方法：下記の対策を新規に施すことにより、(2)の不具合を回避して正常に読み出せる可能性があると考えられる：

2019年度以降に施すべき対策：

- (i) クロック・バイアス信号線の電流計測回路の増設(最小分解能 $\pm 0.1 \mu A$ 、図5):絶縁型微小電流測定専用ADコンバータモジュールにより、ゲート破壊後の(等価的な) R_{GS} を測定する
- (ii) リークが起きたクロック信号の供給元にスリーステートバッファ回路を挿入し、障害が起きたクロックステージにおいて、リーク電流を抑止し、ゲートのON状態を実現させる
- (iii) クロック・バイアス信号のスタートアップシーケンスを制御可能な、最終出力段アナログスイッチの追加
- (iv) 過剰な電流を抑止するための、バイアス信号出力へのボルテージフォロワ回路、および、クロック信号へのロジックゲートの追加

