

せいめいプロジェクト 奮闘記

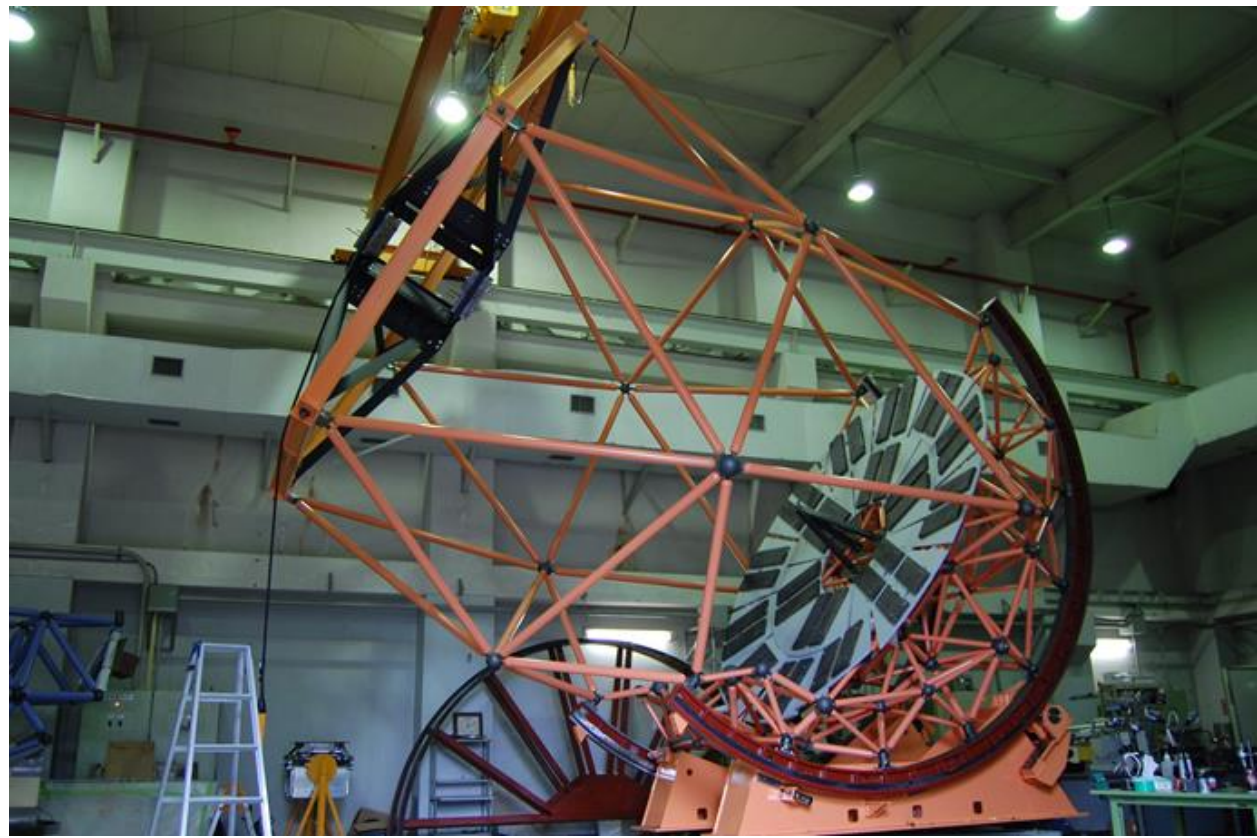
栗田光樹夫

可視赤外観測装置技術WS

20201201@zoom

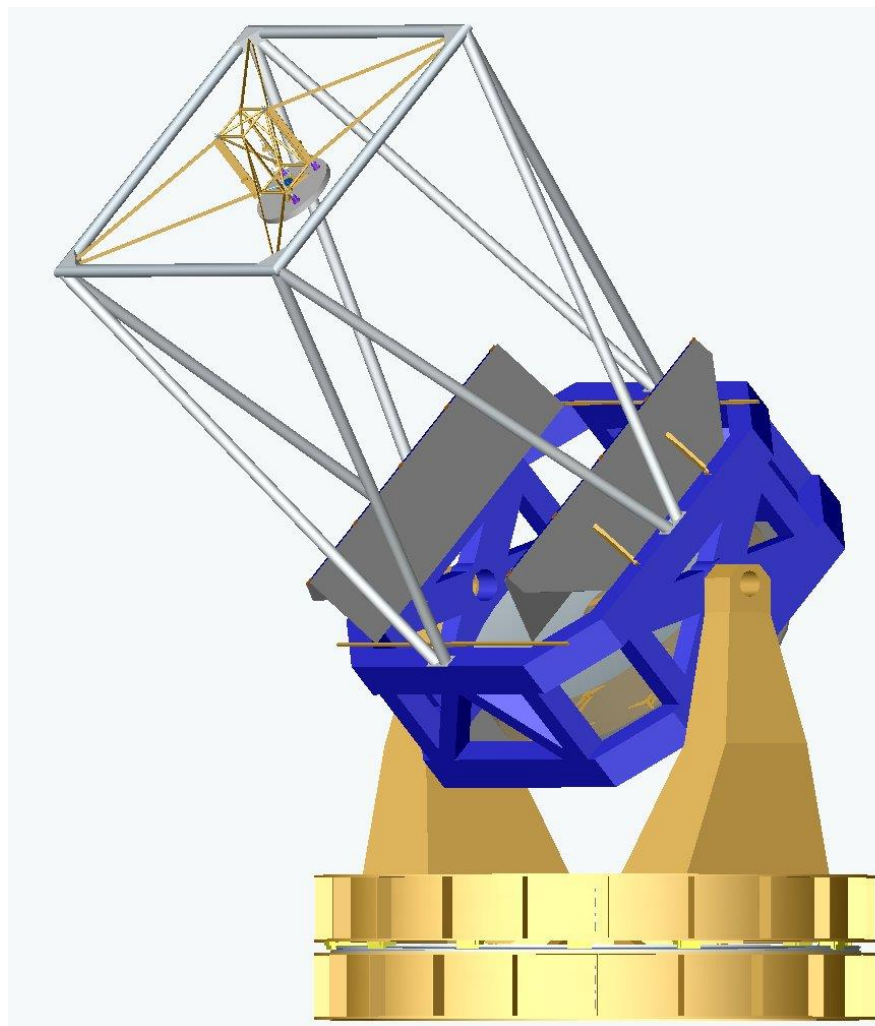


軽量架台

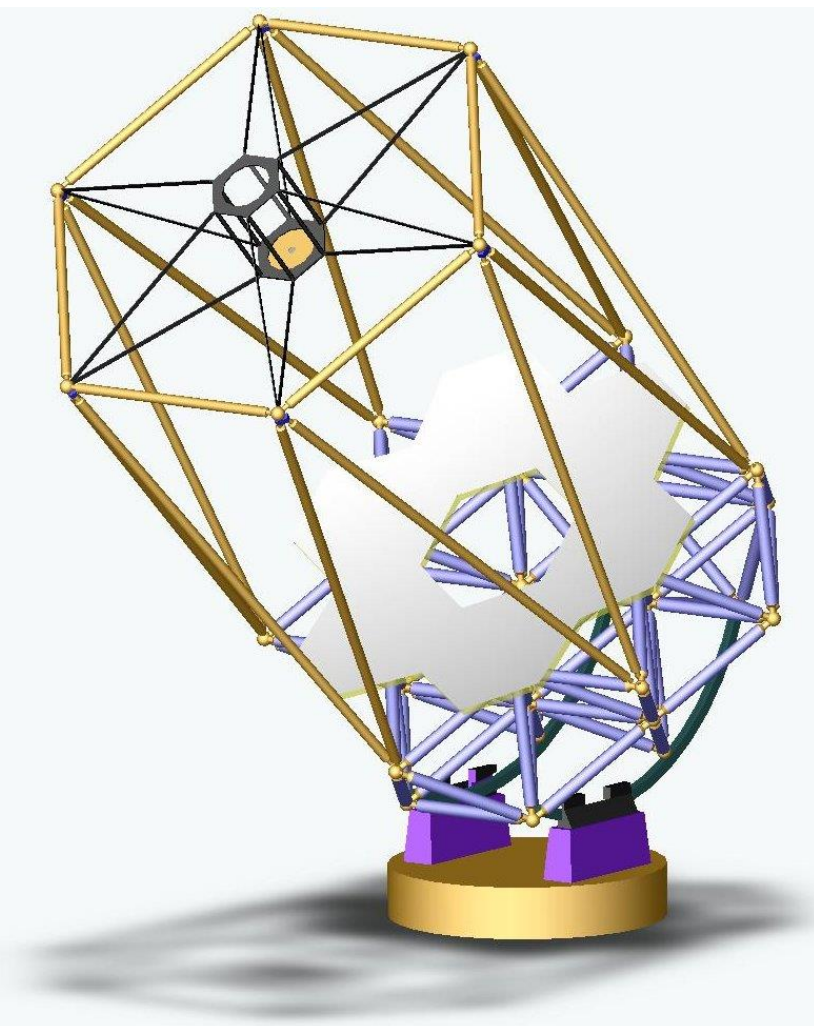


- 従来の望遠鏡の1/5程度の重量
 - 主鏡を真下から支える高度軸軸受
 - 軽量なトラス構造
 - 遺伝的アルゴリズムによる最適化
- 高速駆動
- 低コスト(評価は今後)

軽量架台

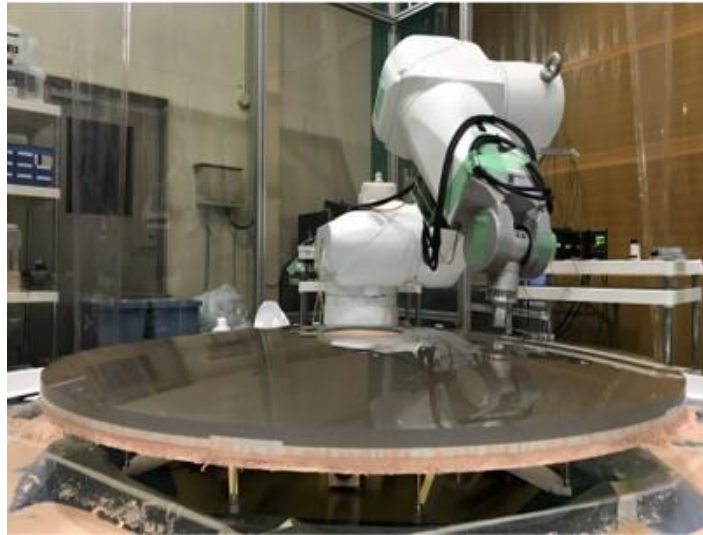


従来の架台



軽量架台

鏡計測

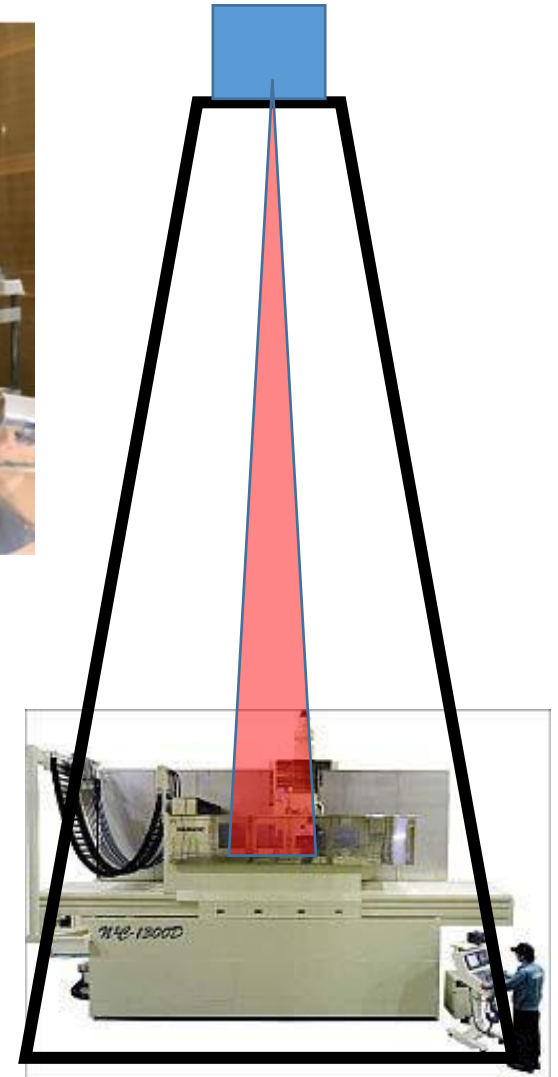


- CGH干渉計
 - 軸外し非球面
- ひきずり3点法
 - 凸面を含む自由曲面

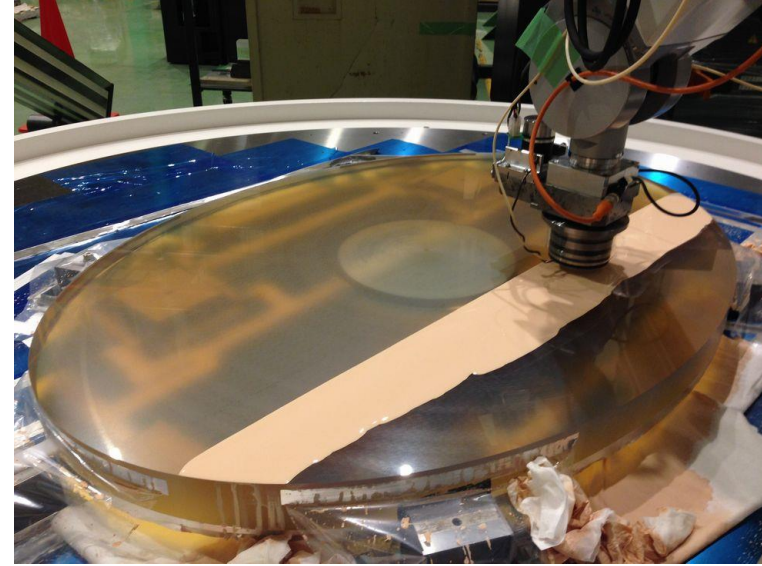
机上計測

多様な鏡の計測が可能となった

分割鏡は曲率を一致させるために曲率の保証ができない3点法では不可能

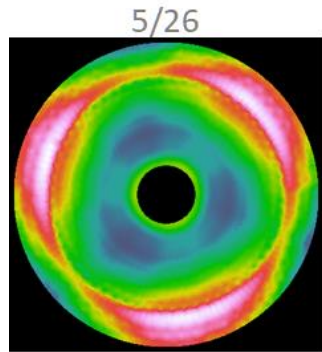


鏡加工

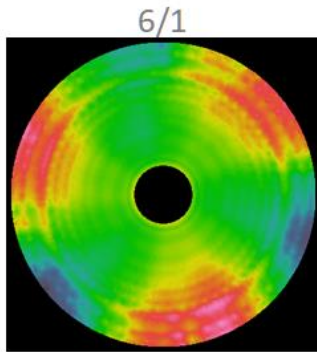


- 主鏡は超精密研削盤で研削と研磨
 - M2とM3は研削後にロボットで研磨
- 1um程度の研削と修正研磨で1枚/月が可能に

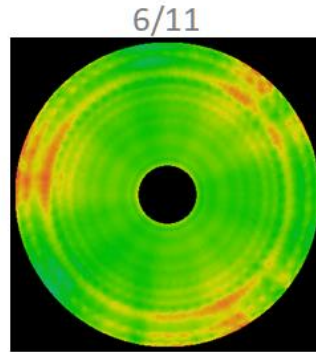
鏡加工



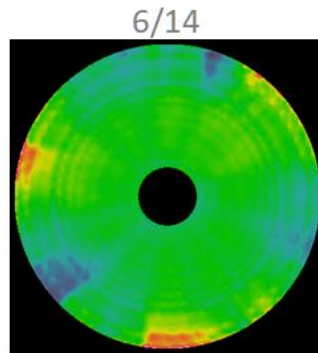
P-V = 2,400 nm
RMS = 550 nm



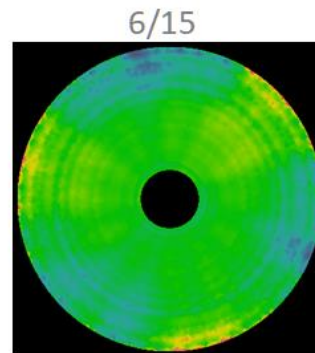
RMS = 350 nm



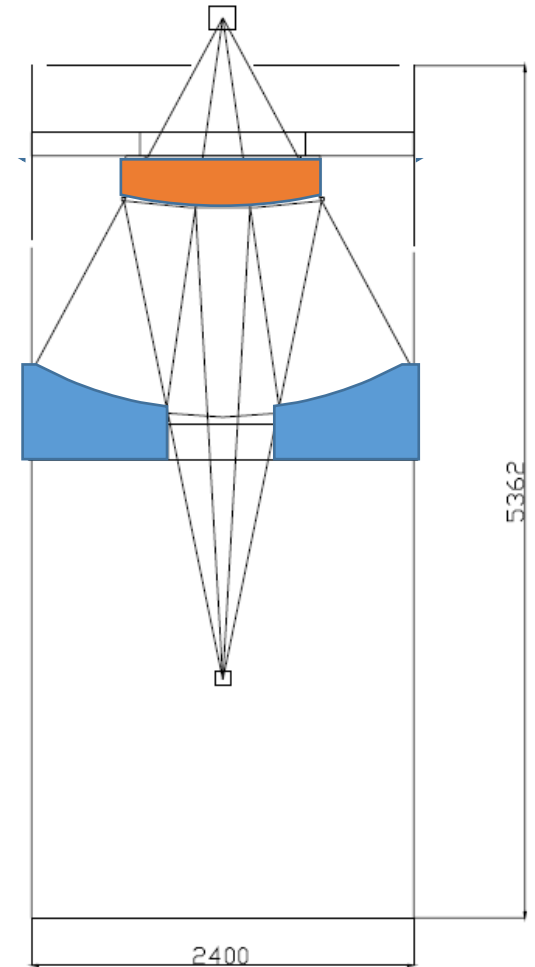
RMS = 150 nm



RMS = 130 nm



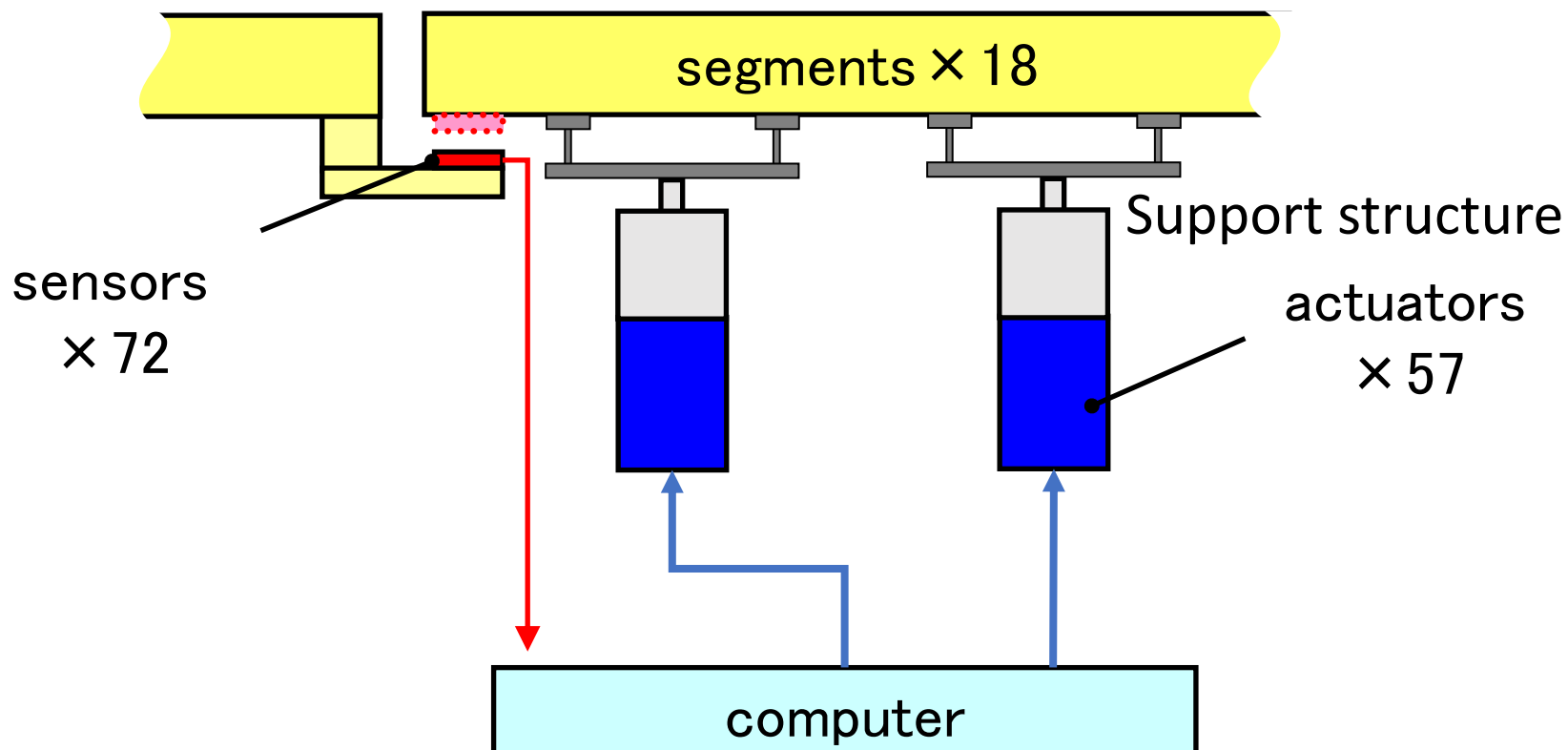
RMS = 35 nm



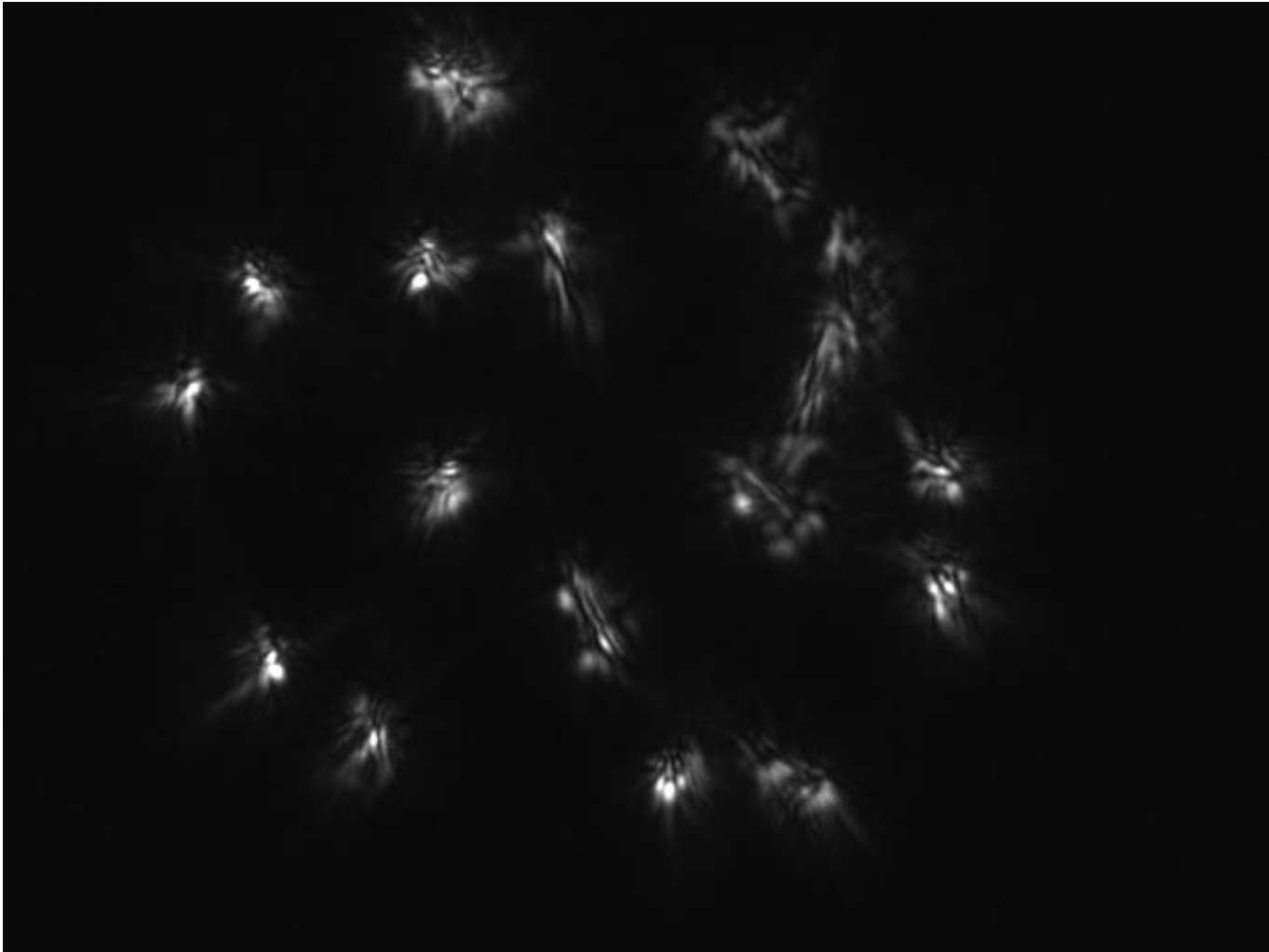
ヒンドル球
VISTA 4m望遠鏡の例

大掛かりな凸面の加工もあったという間に

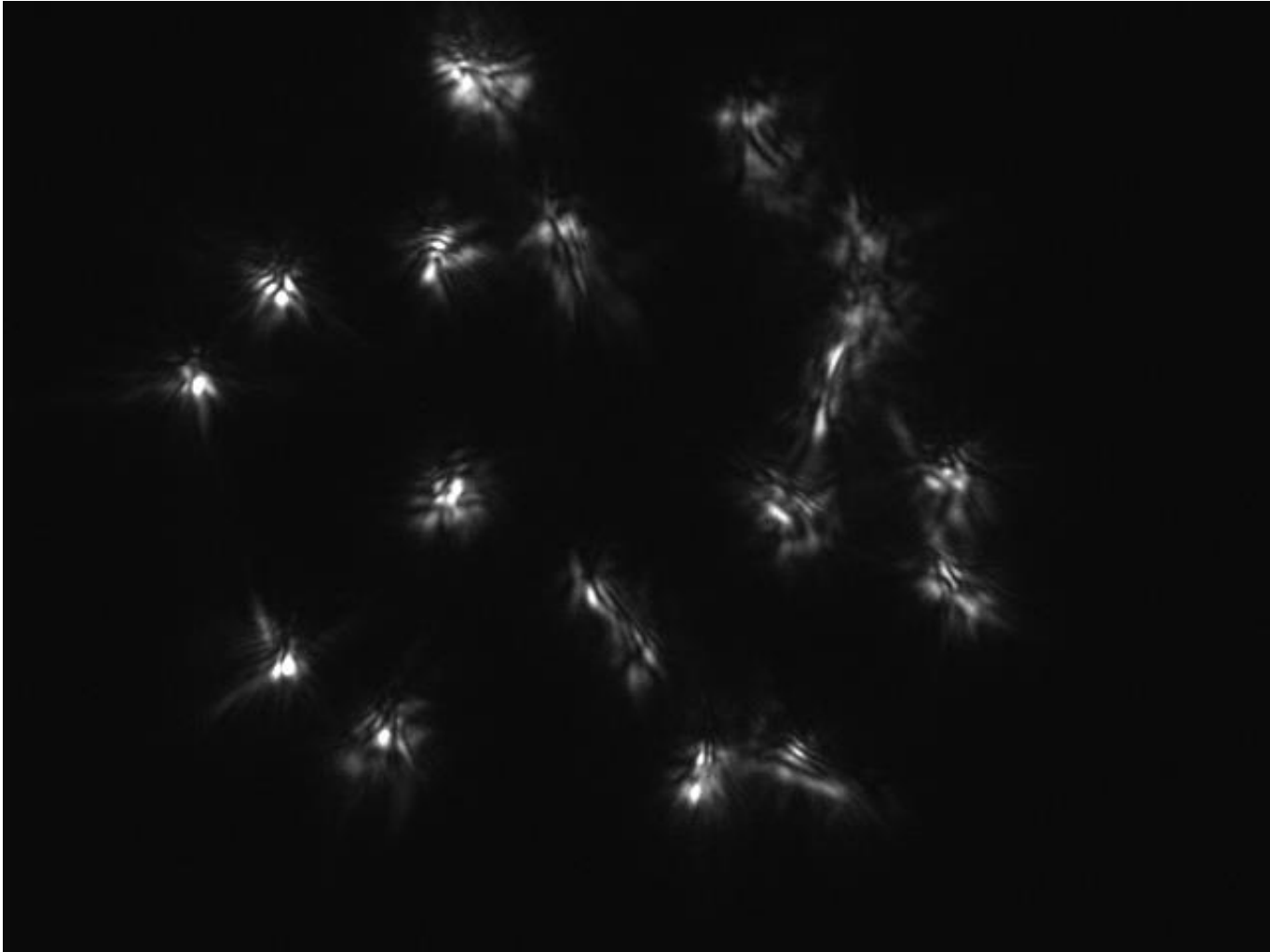
分割鏡制御



分割鏡制御



分割鏡制御

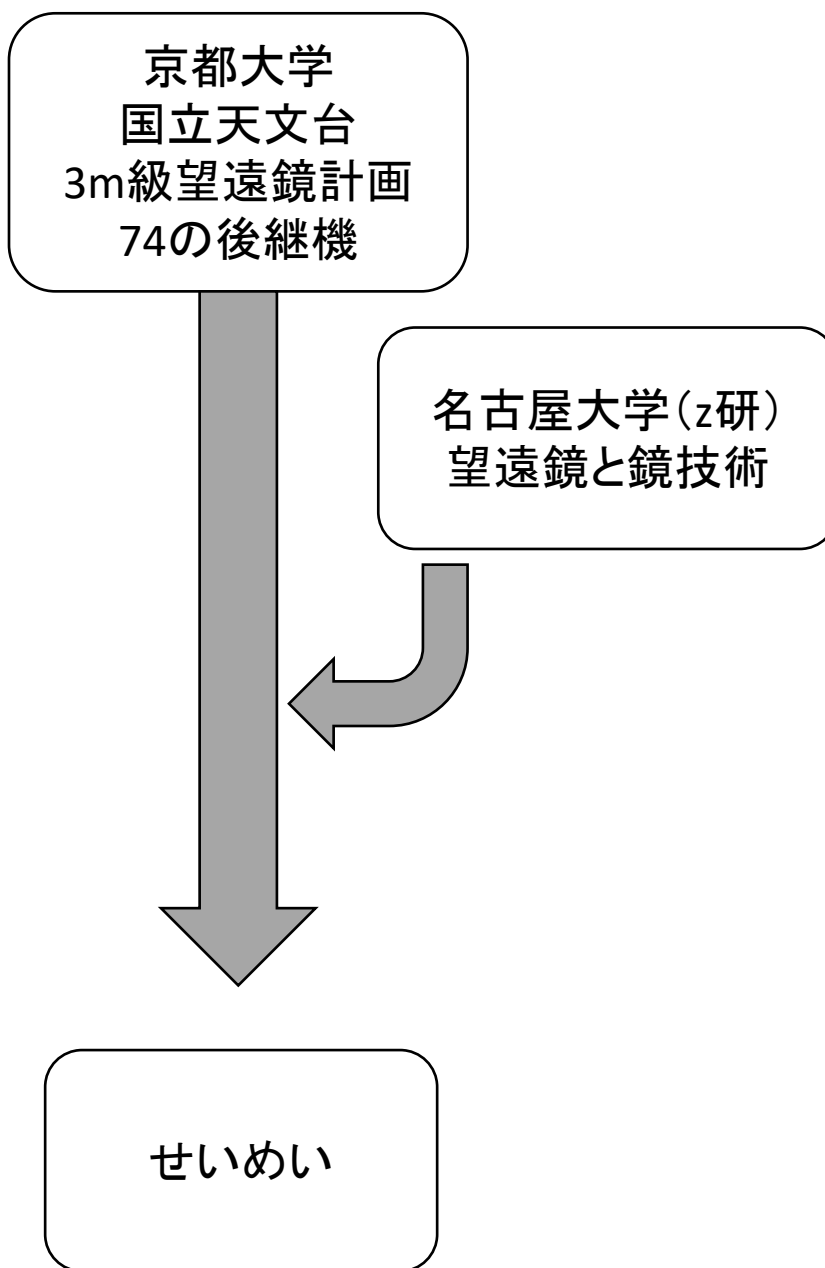


分割鏡制御

ついに無限の可能性を手に入れた
(位相合わせはまだですが..)

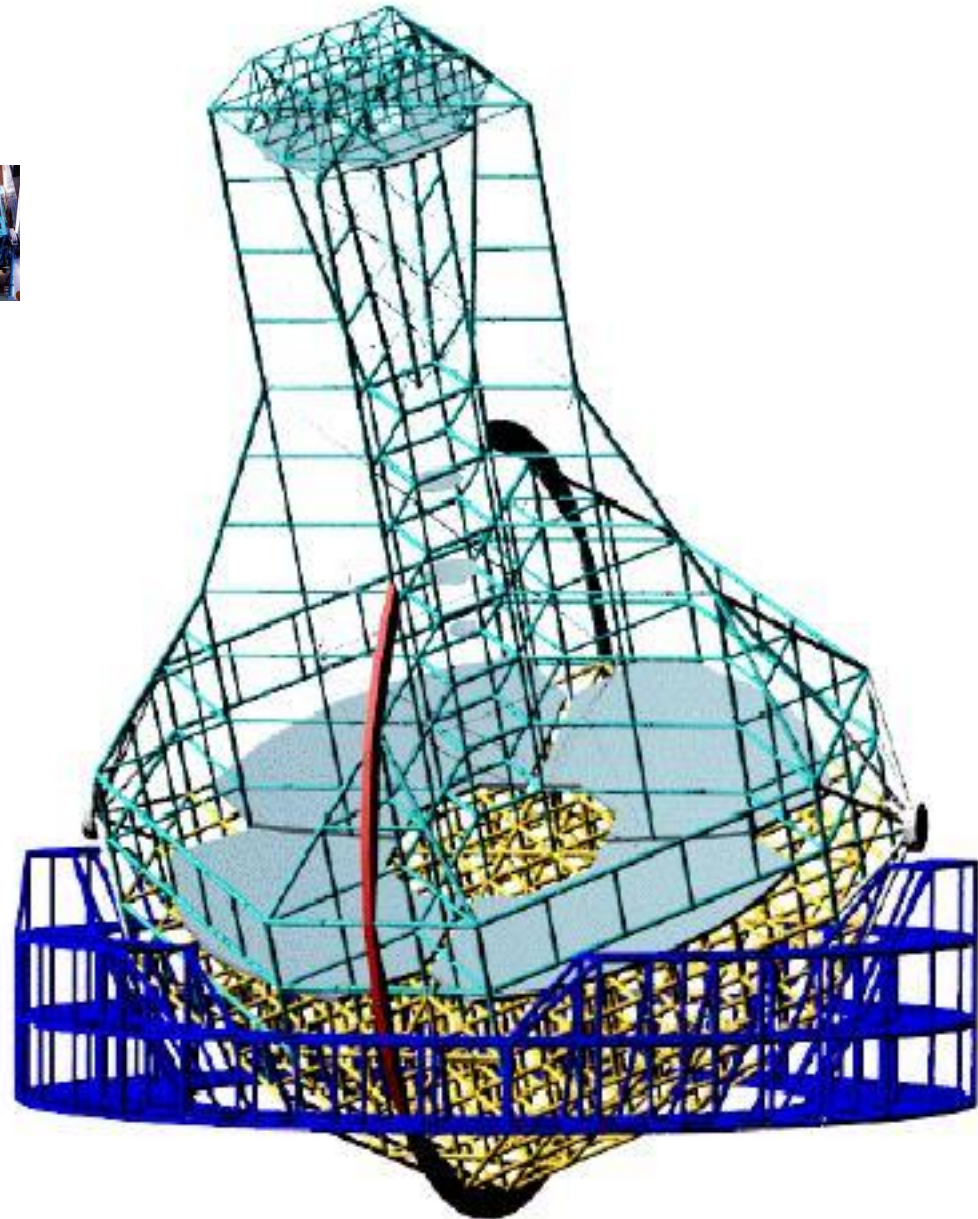
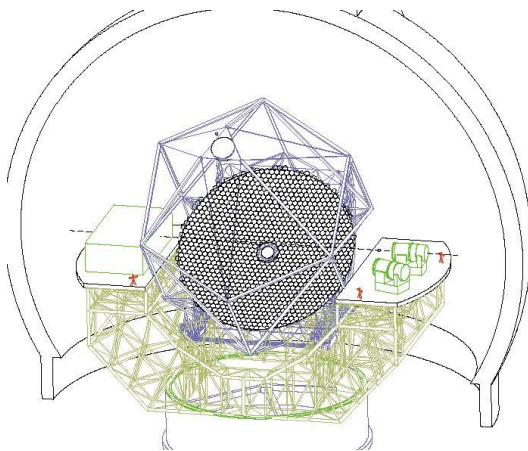


背景



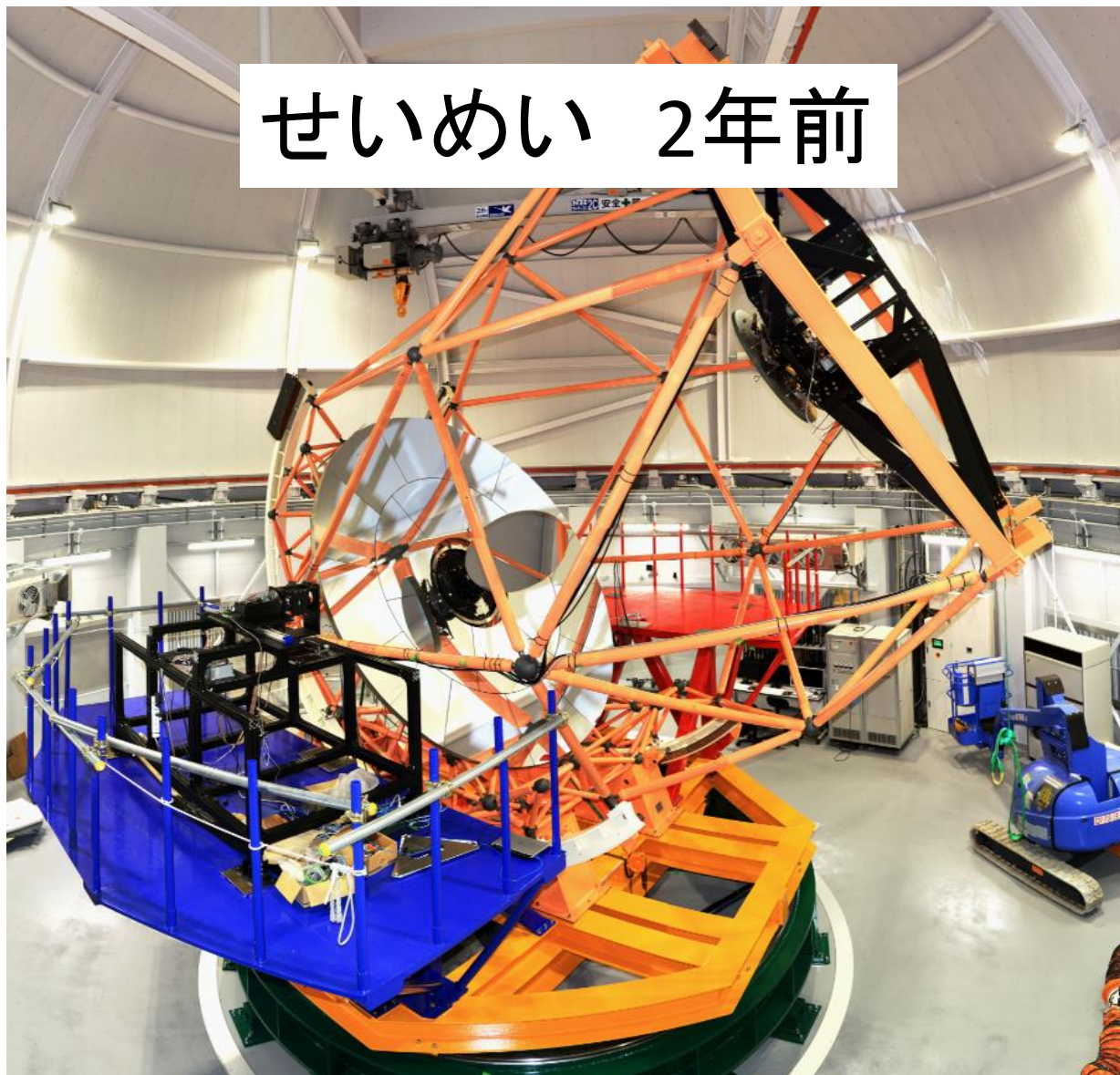
遡ること19年前

世界は巨大望遠鏡時代へ進もうと
していた・・・



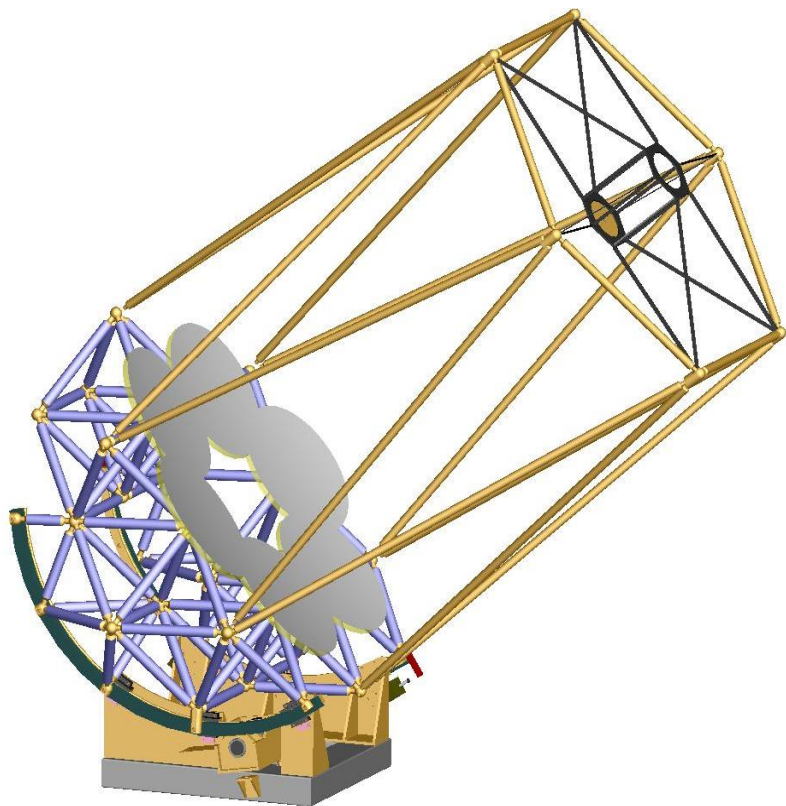
当時名古屋大学ではIRSF1.4望遠鏡を完成させ、
その技術を発展させたいと思っていた。

せいめい 2年前



1年半のできごと

短期間で妄想から実機を開発したことは大きかった



2003年春年会発表



2004年秋年会発表

場所の確保



セメントこねたけど
やってられない

親方によるおとなの仕事
(残土処理)

屋外試験へ

高度軸構造が新規であったので製作した
性能実証しろとの声が多かった
方位軸も製作し、屋外試験をすることに



方位軸の調整



溶接



モーター組立



方位軸の組立



駐車場での測量＝水平だし作業



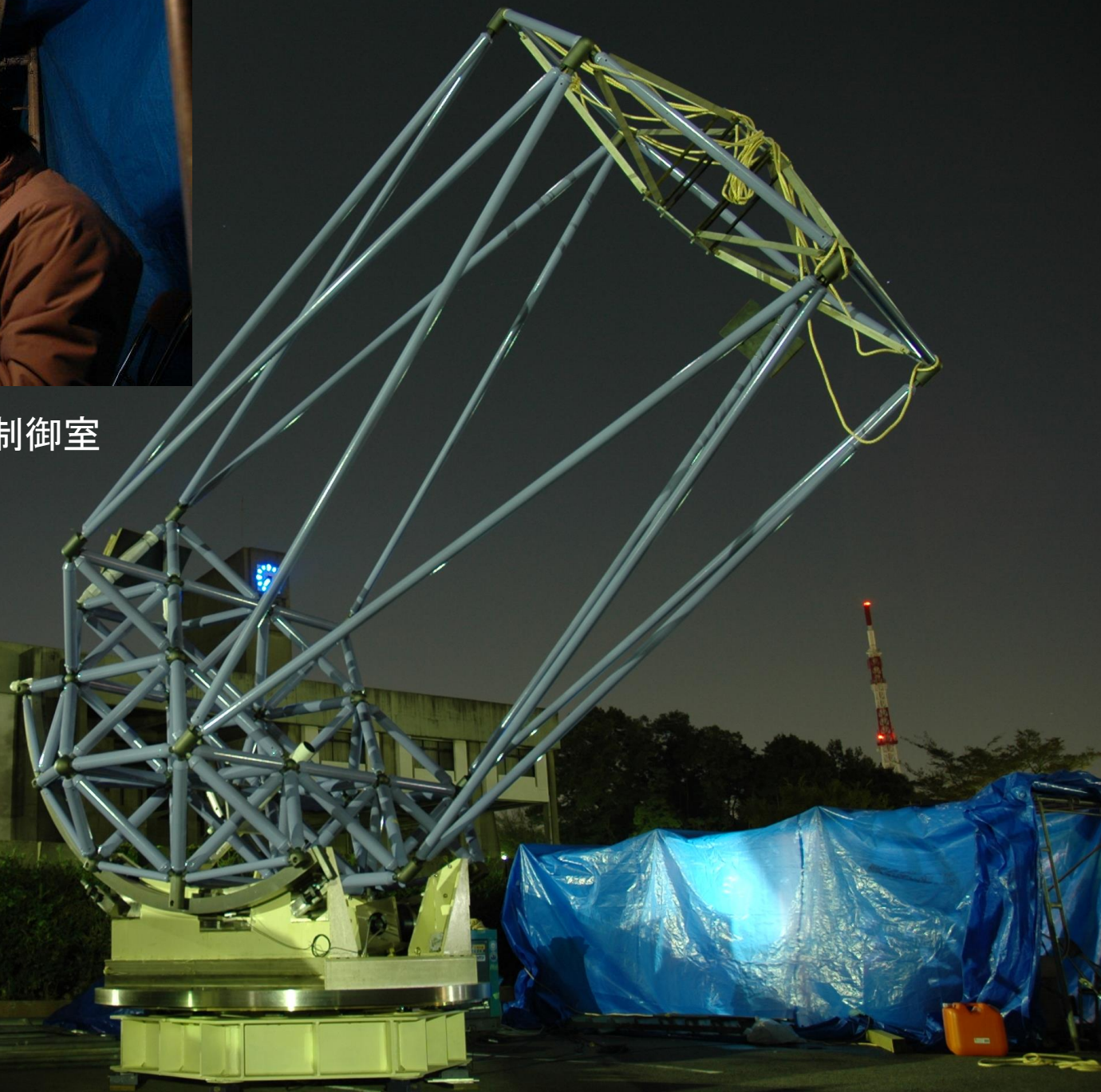
設置作業



1日で搬出組立完了



足場とブルーシートの制御室
阿知波君と

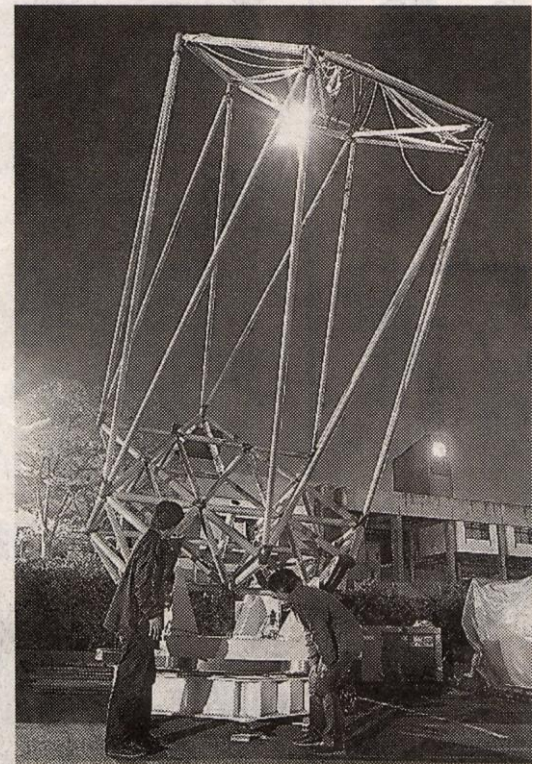




穢れのない美しい豊田講堂



新聞沙汰になる



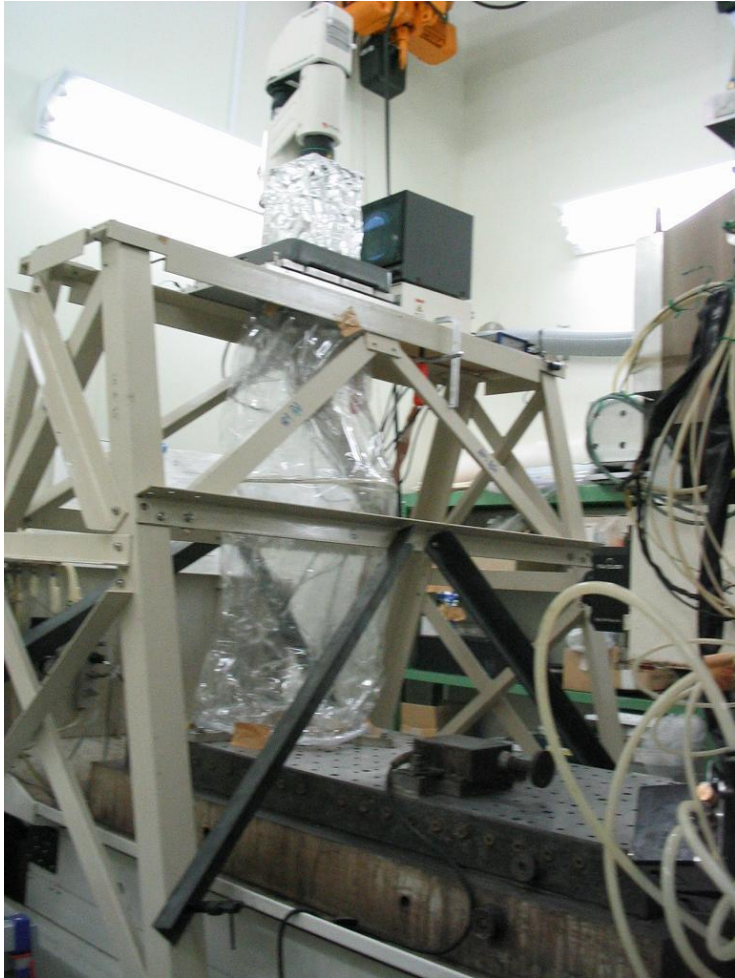
超軽量望遠鏡を試験 名大

名古屋市千種区の名古屋大学構内で12日夜、同大学「光・赤外線天文学研究室」が開発した新型の超軽量望遠鏡の稼働試験があった＝写真、林敏行撮影。

高さは約7㍎、重さは約5㍎。口径3㍎までの鏡を載せられる。本体をフレーム構造にしたことで、従来の10分の1程度に軽量化できた。空気が薄く観測に適する高山にも運びやすくなる。

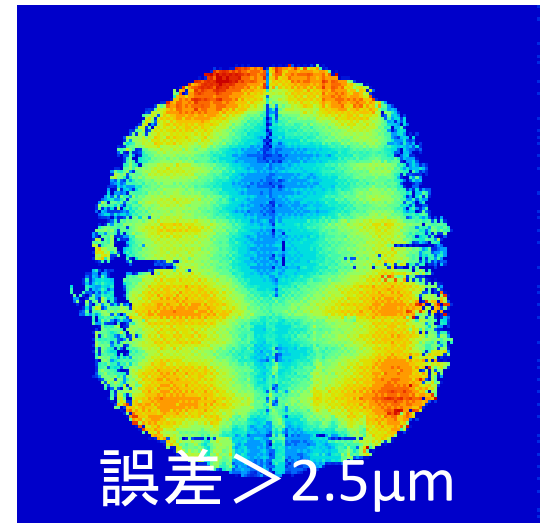
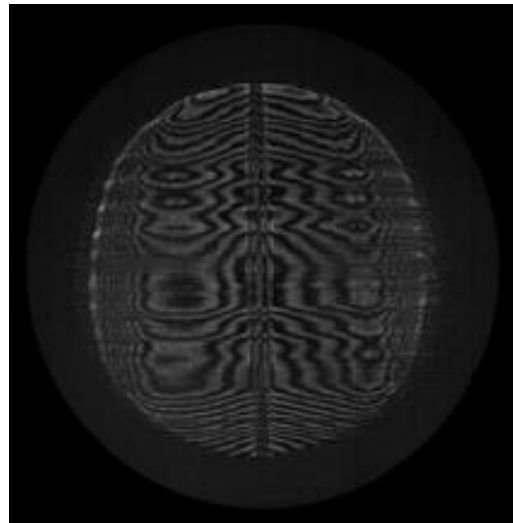
12日の試験では、望遠鏡が、高精度で目的の星を追尾できることを確かめた。07年に試験に使った望遠鏡を完成させ、チリに運んで宇宙の水素分子を観測する計画だ。

2003年9月 @理研



初の機上計測＋加工

研削加工だけで世界で初めて鏡を作することを狙った
計測技術を持ち込めば出来ると思っていた

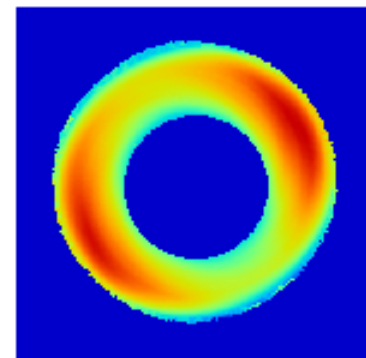
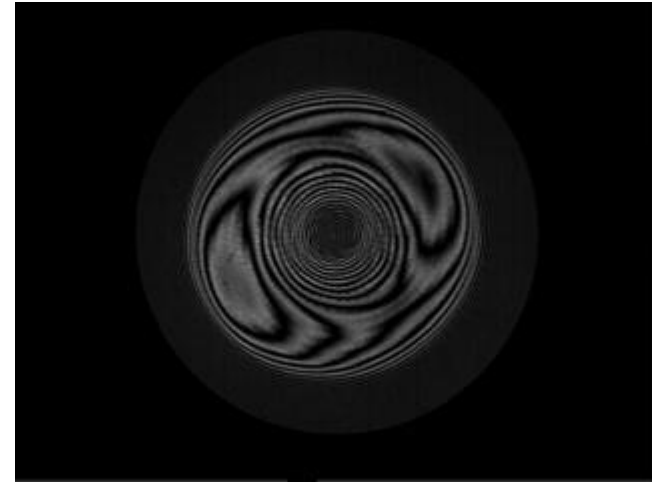


面粗度が悪く干渉縞がぜんぜんつながらない
ELIDは素晴らしいが、
ラスタ加工と工作機械の限界を感じる

2004年6月 @ 山形工業試験場



ナガセの機械と回転加工



みごと干渉計測を達成

藤原洋氏より 大型研削盤導入

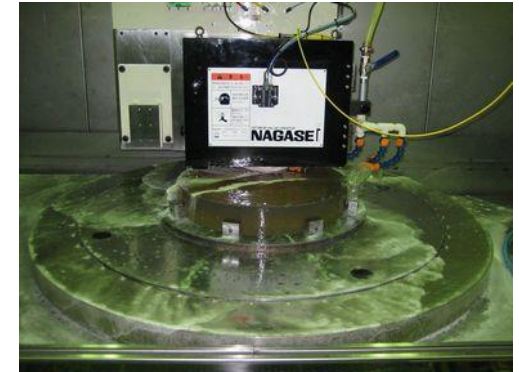


2007年12月オープニングセレモニー

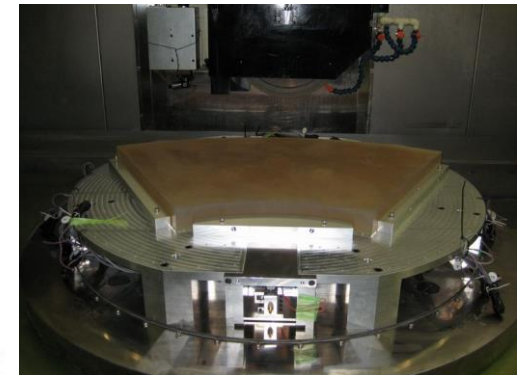
ぜんぜんうまく研削できない I

ど素人の猪突猛進！餅は餅屋

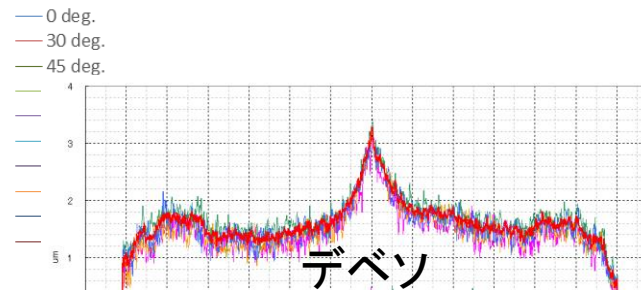
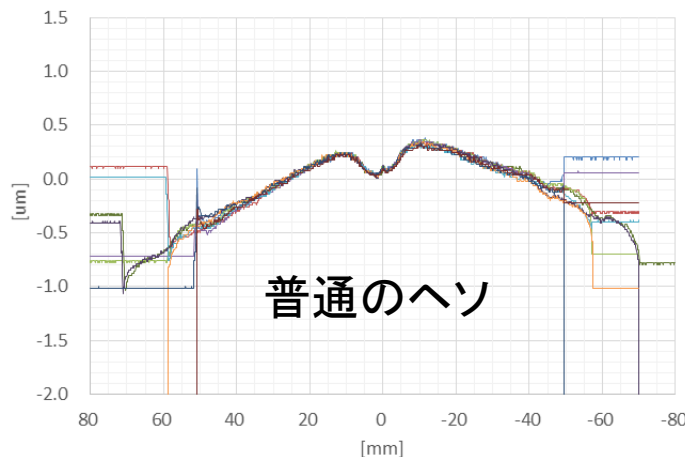
- 回転加工でヘソができたリ、
 - 象限突起というP-Cygプロファイルみたいな形状誤差ができたリ
 - 風車みたいな謎の形状誤差ができたリ、、
- つまづくこと2年近く

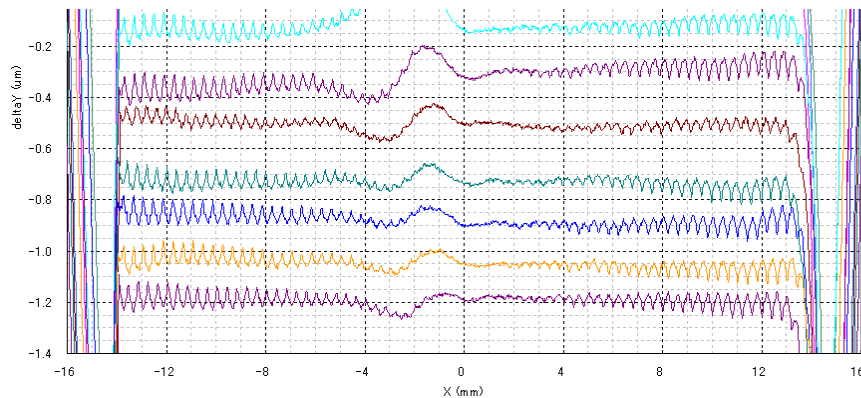


まずは平面研削

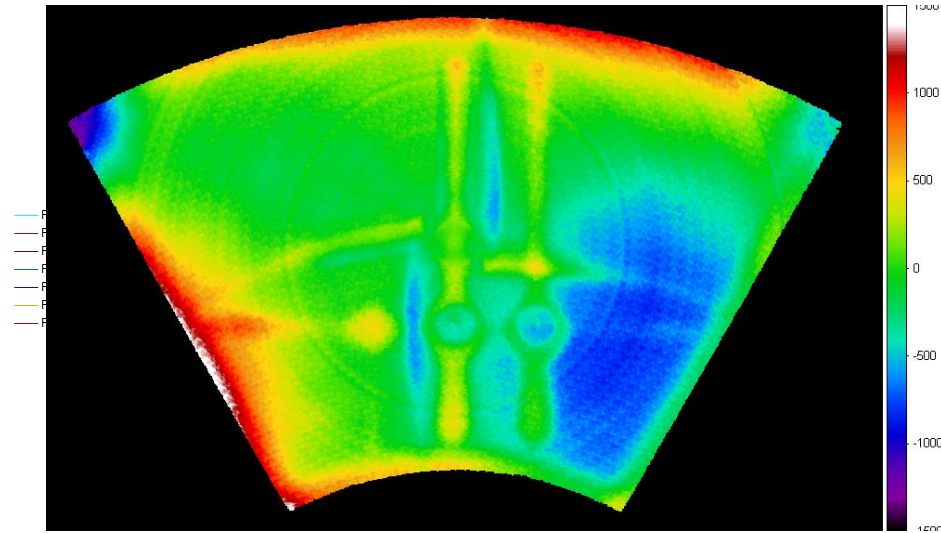


1.5年後にようやく
セグメント





P-Cygプロファイルのような断面形状

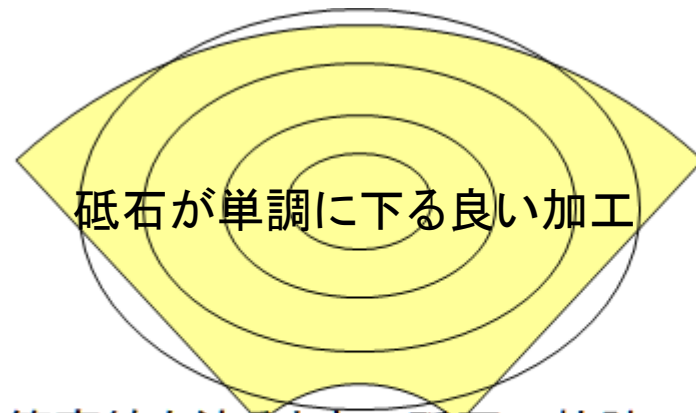


風車パターン(干渉計測)



砥石が上下するダメな加工

円を辿るときの砥石の軌跡



砥石が単調に下る良い加工

等高線を辿るときの砥石の軌跡
(正確には螺旋)

研削盤を設計する際に、この問題は指摘されており、等高線加工をすることになっていたはず。プロジェクトが伸びると当初の熟慮を忘れる。昔の自分たちは賢かった。。

ぜんぜんうまく研削できないⅡ

研削盤の性能は $1\mu\text{m}/\text{m}$ だが、鏡が薄くて歪んでしまう

つまづくこと2年くらいか

だったら鏡をバネで浮かせて研削すればいい！

加工前



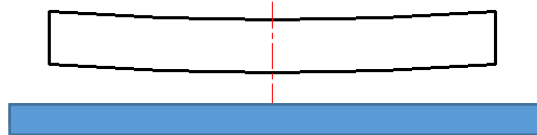
加工後
ストレス発生



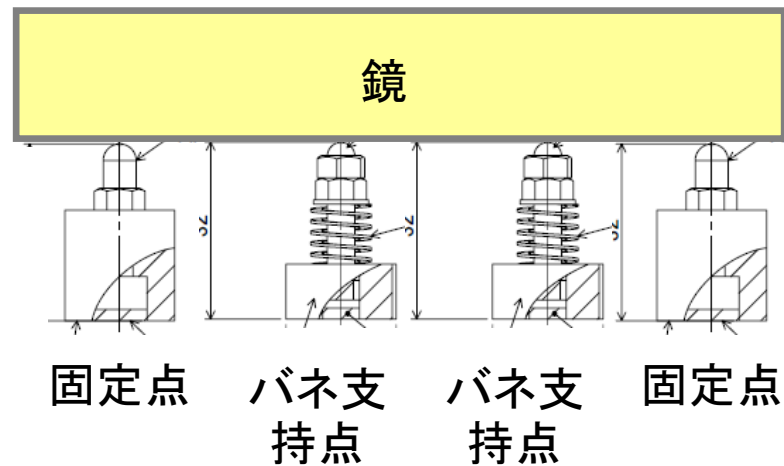
研削加工



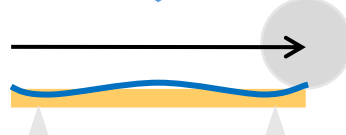
加工後
ストレス解放



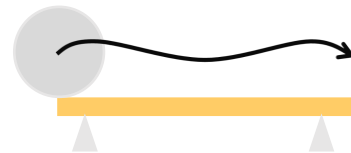
門外漢なので定石に捕られないアイデア



補正無



補正有



研削か研磨か

- 計画当初は世界で初めて研削だけで鏡面を仕上げるものが売りだった
- 思い通りの研削加工ができるようになったが、面粗度を改善する研削を行うと膨大な時間がかかることが判明
- 研磨の導入が脳裏にチラつく

チーム内で看板を下ろすか現実的な解を模索するか紛糾。
研削盤で研磨という本末転倒をするのか！

- 現場の意見を尊重して研磨に転向。いやいや、それでも研削役割は大きかった。

研磨やろうぜ

研磨が全然うまく行かない

- 研磨できない

回転数、圧力、研磨剤の量、砥粒サイズ、パッドの材質など膨大な組み合わせ条件

- 意図通りに研磨できない

わずかな非球面量と研磨パッドの形状が敏感に反応

- 研磨量が安定しない

研磨パッドは最初の数時間は除去量に変化

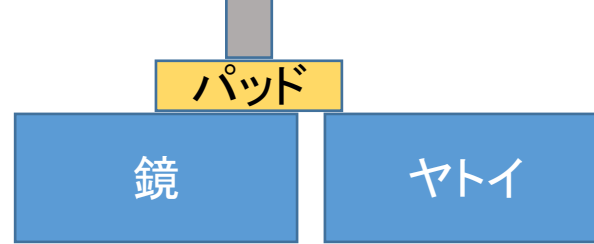
- 縁ダレする

この間に2年くらいつまづく。プロジェクト崩壊寸前。

我々の悪いところ: 人の意見を聞かずに実験を繰り返す

専門家に相談するなどして少しずつ解決。ただし、相談だけでもダメだった

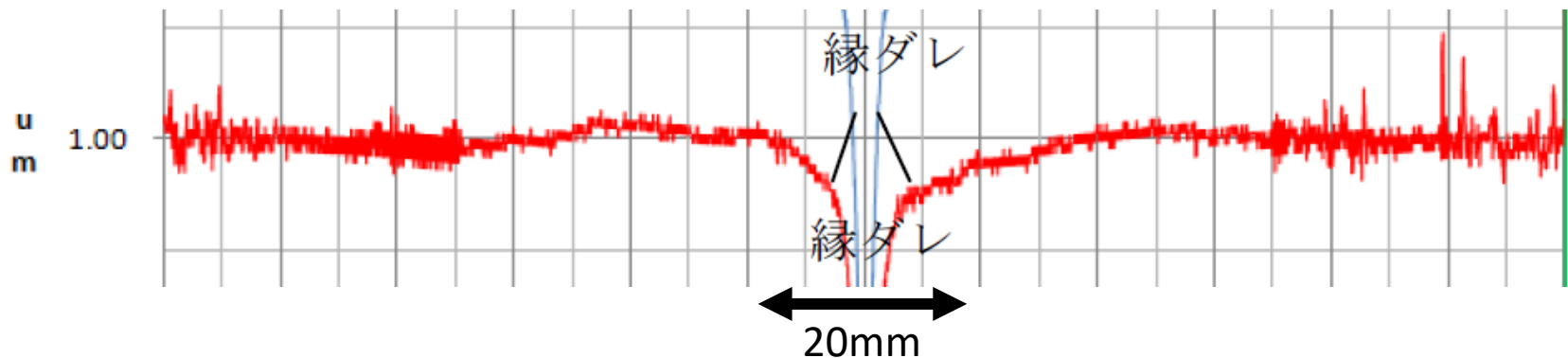
縁ダレ



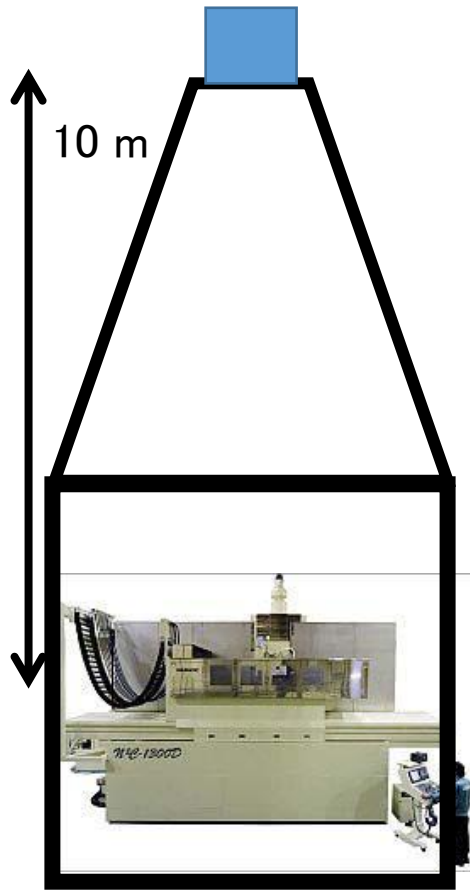
分割鏡では鏡間の段差をそろえるために、鏡の縁の領域を使った光学計測が必要
→縁まで正しく形状を整える必要がある

最初のセグメントを研磨した時に縁ダレ発生！
研磨後に縁を切断すればいいじゃん→材料は全部切断されて納品済み(涙)

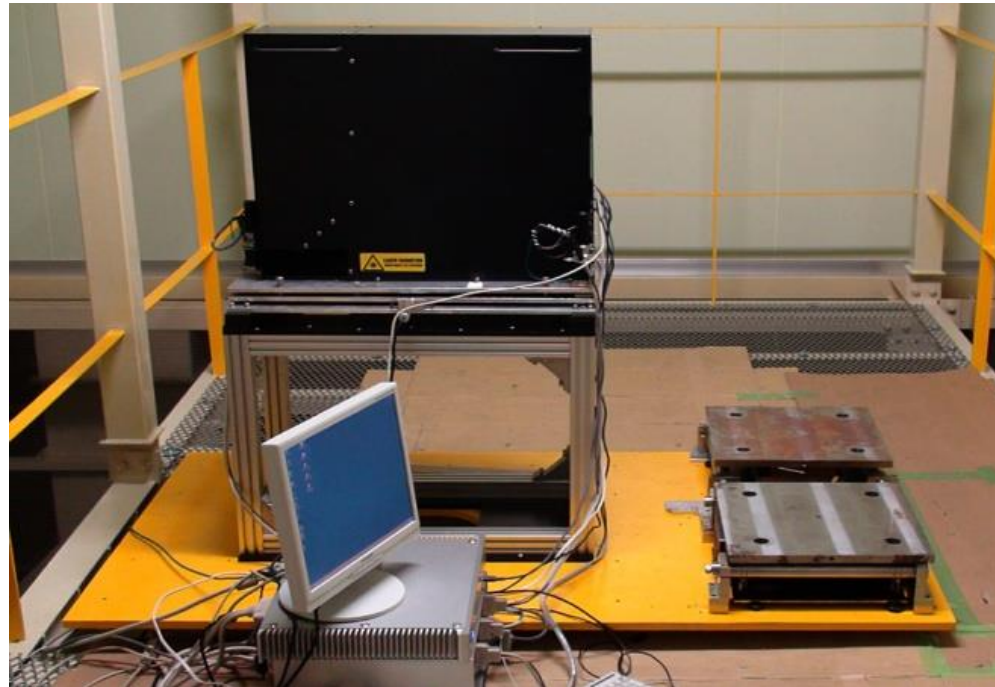
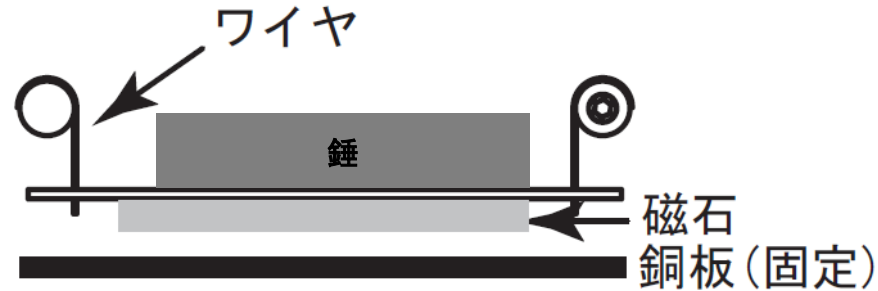
ヤトイという補助材料を周囲に置こう！
数十kg、1mの非球面のヤトイを数ミクロンの段差設置しても解決しない
ヤトイの材料をケチってBK7にしたら、化学的性質の違いでうまく行かないことが判明(涙)
ヤトイを変更しても縁ダレはゼロにならない(泥沼状態)
(ちょっとまてよ)板ガラスに傷をつけて研磨してみると縁ダレを確認
→ヤトイダメじゃん(あきらめがつく)→仕様の再検討



タワーが揺れて干渉計測できない



基礎が小さくやぐらの
平行リンク構造が揺れる
つまづくこと1年くらい



動吸振器での対処療法がうまく行った

誰もM2とM3について触れない

目の前の問題に対処視する日々。2012年ころ
「M2とM3ってどうやって計測するの？」

「……」

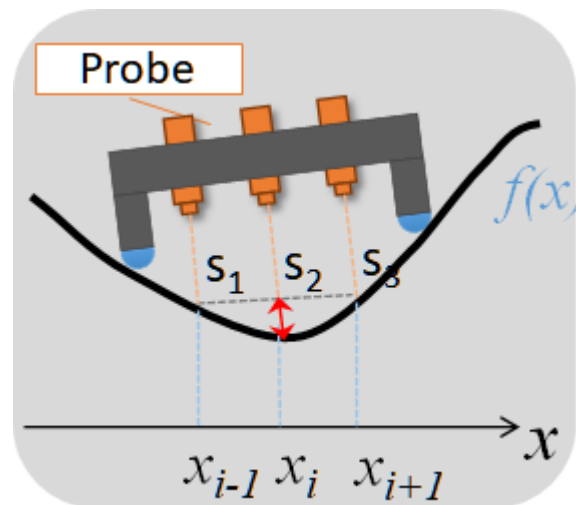
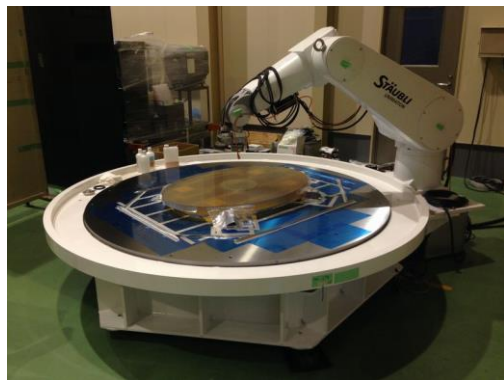
「……」

「じゃ、やるか」と重い腰を上げる

完全に無計画

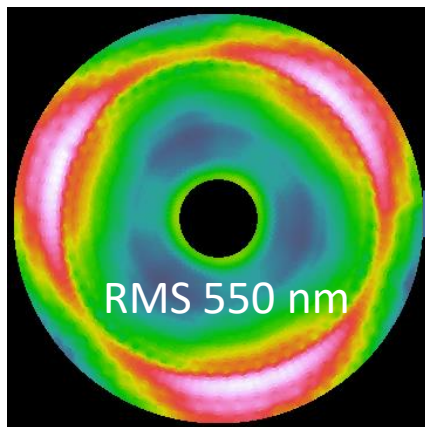
技術確立する前にプロジェクトが進んでいく・・

ロボット計測研磨機

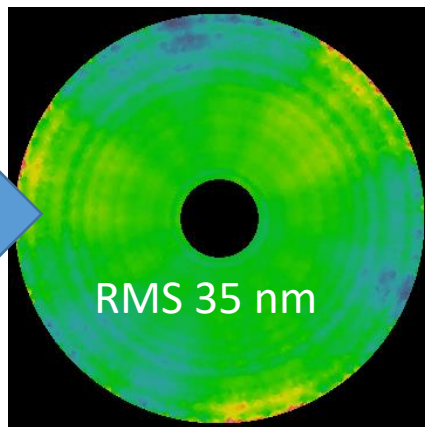


ひきずり3点法の模式図

原理上は2つの足とセンサ1個で計測できるはず！
やってみたら見事に傷ついた。



3w



つまづくこと5年くらい。
このために新しいデータ処理アルゴリズムなどの副産物も得た

分割鏡制御

- ぜんぜん制御できない
 - 突然ダミー鏡がずれる
 - 状況が再現しない
 - センサもダメ
 - アクチュエータも壊れる

- 2006年から6年くらいつまづく
- 2011年6月2日 **外部評価**を開催

以下栗田の議事録より

参加者: 山田克彦(教授)、坂本登(准教授)、軸屋一郎(助教)以上航空宇宙工学専攻、早川義一(教授)、藤本健治(准教授)、中島明(助教)以上機械理工学専攻、以下敬称略 岩室、森谷、出口、田中、栗田、木野、永山



仮組の架台で制御実験

制御外部評価の主なコメント

- 制御でできることは機構（メカ）でできることの限界を引き出すだけ。基本的にはメカで決まる（制御の専門家が何とかしてくれるだろうという淡い期待は粉碎された）
- 現状のアクチュエータと支持機構であれば制御でできることは少なく、支持機構が肝要となる
- アクチュエータ先のセンサが必要なら減速機構周辺を見直すべき
- いきなり実機で実験するのは無謀。もっと小さなモデルから行うべき
- アクチュエータ単体の挙動から調べていく必要がある

全部やりなおし！

最後に

今回報告できなかったつまづきはほかにも鏡支持機構、センサ、接着剤などがあり、どれも数年から5年ほどの時間を要した

「運悪くうまく行かなかった」ときと「うまく行った」と思えるときがあったほど、理学者らしからぬが、「運」と隣り合わせだった気がする

生命の危機を感じるほどの危険な事故もあった

まだ実証が済んでいない開発項目が数多く残されており、気が抜けない

プロジェクトの進め方、予算執行の方法など多くの教訓がこの計画から得られた

- ・外部の意見を仰ぐ
- ・そもそもに立ち戻る(仕様の確認)
- ・リカバリー能力を養う
- ・課題を先延ばししない

当初の予定通りすすんだ開発項目はほとんどなく、おおむね2から3倍の時間を要したと思う

京都大学
国立天文台
3m級望遠鏡計画
74の後継機

東北大学
(清野先生、庄司先生)
大阪電気通信大学
(宇田研、島田研)
鏡加工

名古屋大学
(大森研)
最適化

その他数多くの
メーカー・アドバイザー

名古屋大学(z研)
望遠鏡と鏡技術

名古屋大学(山田研)
金沢大学(軸屋研)
制御

大阪電気通信大学
(入部研)
制御・装置

せいめい

