

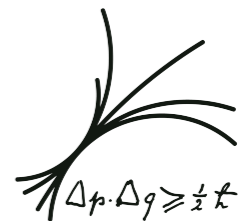


CTA報告65: CTA 大口径望遠鏡の 光学系調整と光学性能

野田 浩司 (Max-Planck Institute for Physics)



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

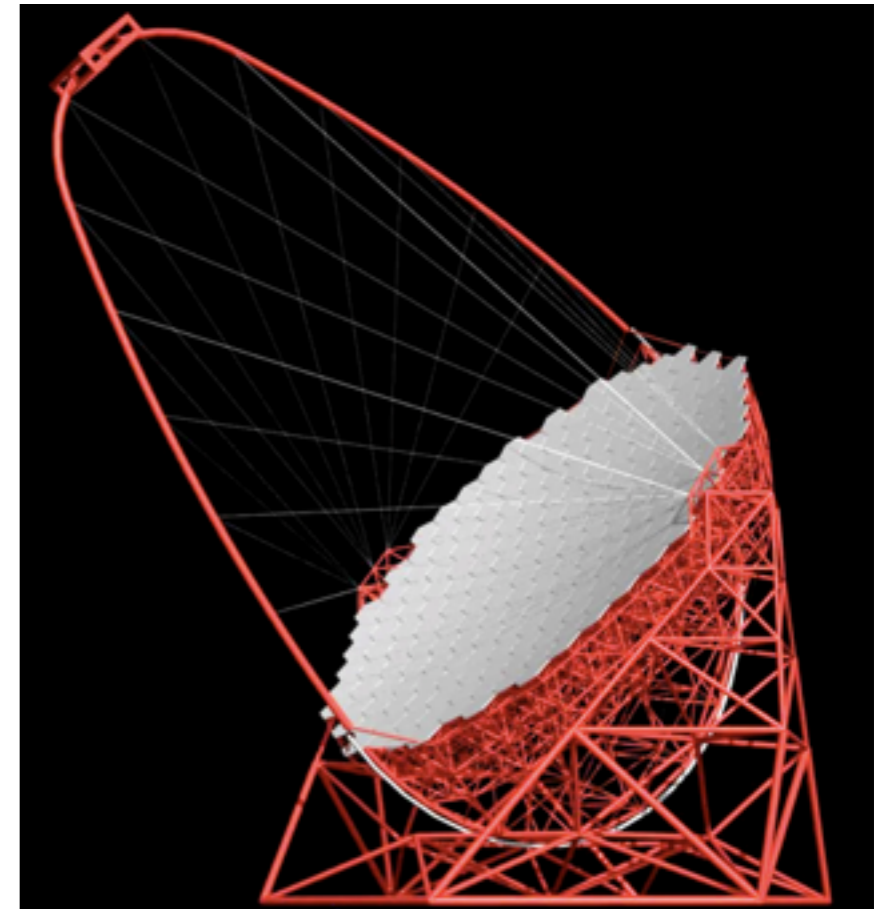


手嶋政廣A B, 奥村暁C D, 加賀谷美佳E, 片桐秀明E, 齋藤浩二B, 田中駿也E, 千川道幸F,
中嶋大輔A, 野里明香F, 花畑義隆B, 馬場浩則E, 林田将明B, 柳田昭平E, 山本常夏G, 吉田龍生E,
他 CTA-Japan consortium, Thomas Schweizer A, Holger Wetteskind A
(A: MPI for Physics, B: 東大宇宙線研, C: 名大STE研, D: レスター大, E: 茨城大理, F: 近畿大理工, G: 甲南大理工)

2013年9月20日 日本物理学会 秋季大会 @高知大学

LST光学系Introduction

- 放物面反射鏡 $F=28\text{m}$ 、 $\Phi 23\text{m}$
 - 198枚の球面分割鏡（1枚は $\Phi 1.5\text{m}$ の正六角形）
- 平面焦点面 Φ 約 2.2m
 - 焦点面カメラ：1855本のPMT $\Phi 38\text{mm}$
 - 視野 4.5 度、1PMTピクセル 0.1 度 ($\Phi 50\text{mm}$)
 - 各PMTにlight guide（かlens）※ CTA報告62 田中
- 低エネルギー閾値 → 大口径、GRBなどの突発天体追尾 → 軽量化
- 要求スポットサイズ（ d_{80} : 80%の光量を含む直径） 入射角 ~ 1 度まで < 0.1 度
力学的条件は厳しい。構造の変形を許容して補償する方が現実的
(補償なしだと、入射角 $0\sim 1$ 度でスポットサイズが $0.17\sim 0.20$ 度)



光学系調整コンセプト

1. 光軸の定義：

予め**光軸（z軸）をレーザーで定義**

※ 実際には、レーザーをカメラ中心ではなくカメラ横のスクリーンに向けて複数打つ。

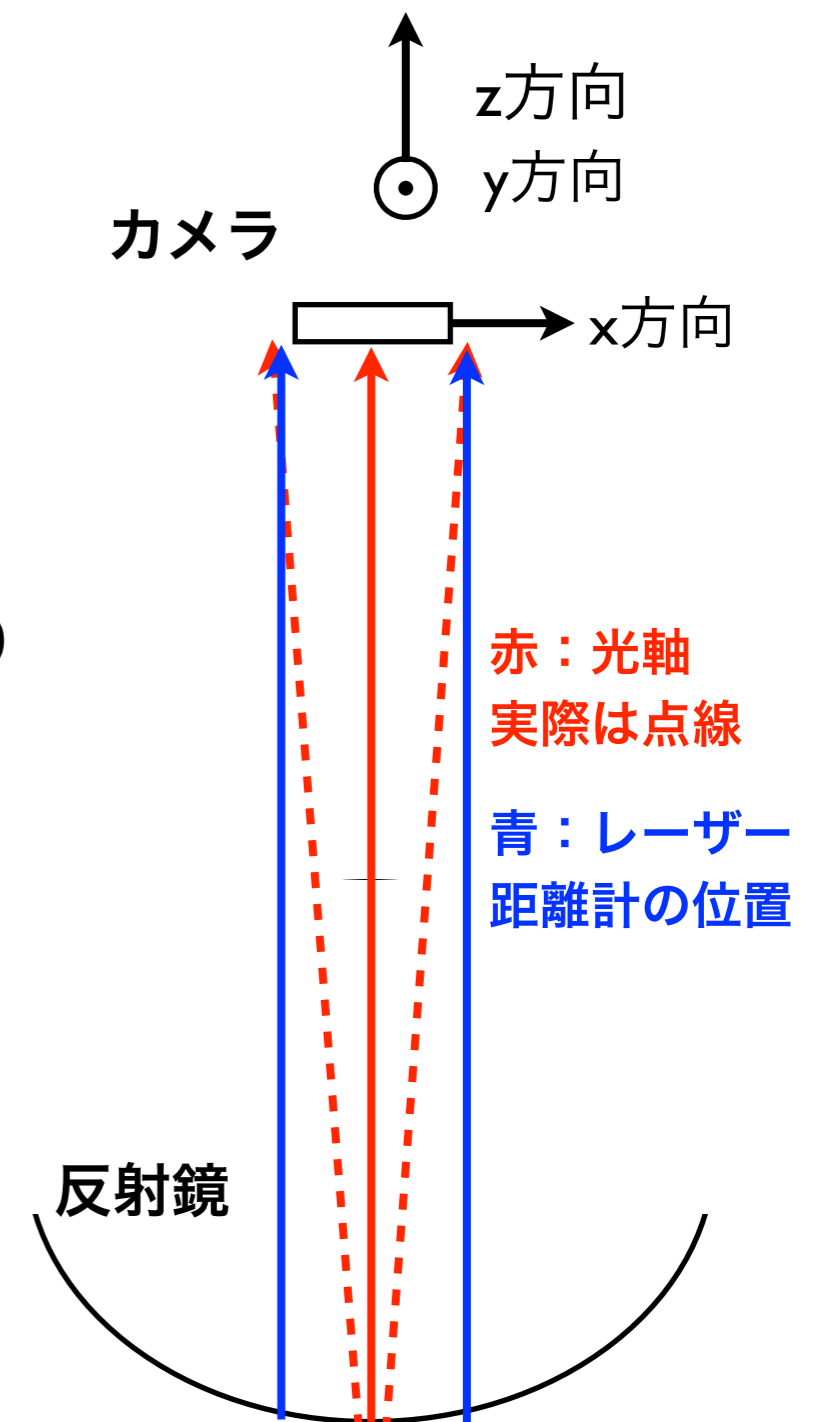
2. 焦点面：

カメラ位置を観測中に**随時監視**。**xy位置とz軸周りの回転は光軸レーザーで測定（xy軸の定義）。**

z位置とxy軸周りの回転はレーザー距離計で測定。

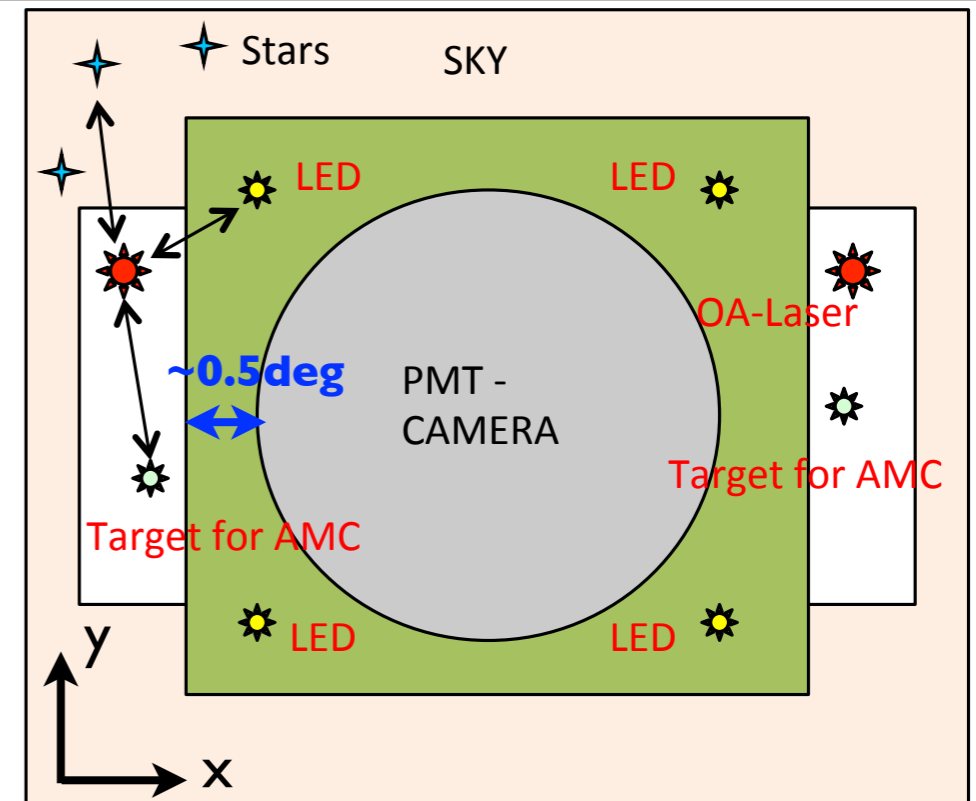
3. 分割鏡：

初期調整の後、**光軸レーザーと分割鏡の向き**の関係を記憶しておき、観測中に**随時補正**。



光軸レーザー

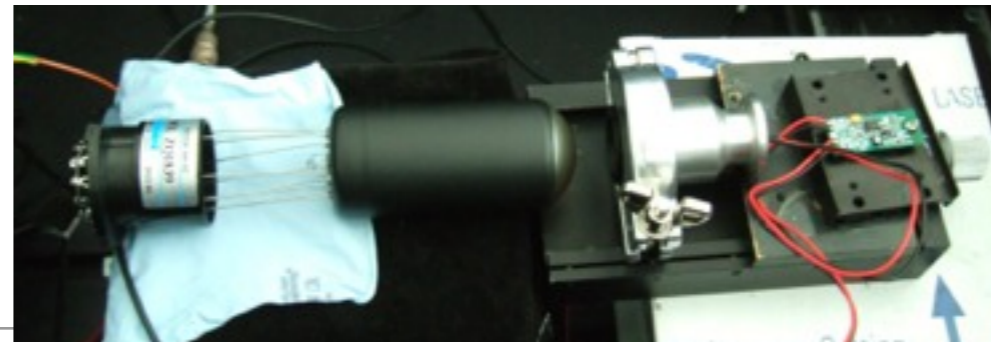
- カメラ位置測定と分割鏡調整の両方に必要
- カメラ横 (~0.5度) のスクリーンに照射。鏡中心にあるCCDで、28mの距離から撮像。
- 観測中に使うので、PMTへの影響を減らすべく**赤外レーザー (>780nm)** を使用予定



<チェック項目>

- **PMTの赤外レーザーへの感度 (波長依存性)**
短波長の方がCCDの感度が高く、スポット位置検出もしやすいが、短すぎるとPMTに影響してしまう可能性
- **低出力 (数mW) の赤外レーザーの安定性**
温度変化 → スポット位置・明るさ変化 → スポット位置検出の安定性

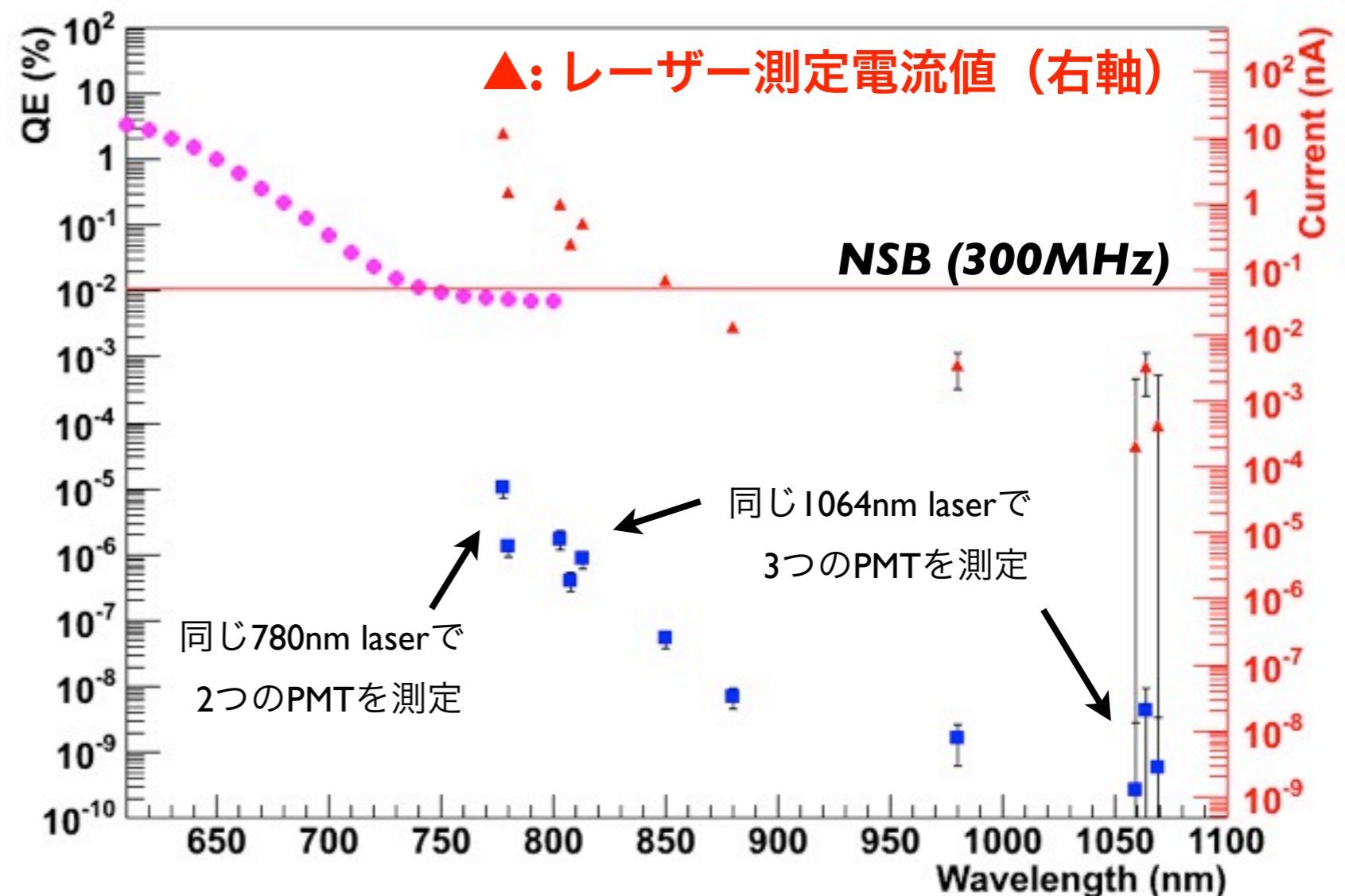
PMT response



LSTで用いるのと同じ型のPMTの中心に赤外レーザーを**直接入射**し、1st dynodeの電流を測定した。**使用したレーザー**：780, 850, 880, 980, 1064(+808) nmの5つ

●: QE測定装置による
PMT QEの実測 (左軸)。
電流値は右軸 (~20pAの
pedestalは引いていない)

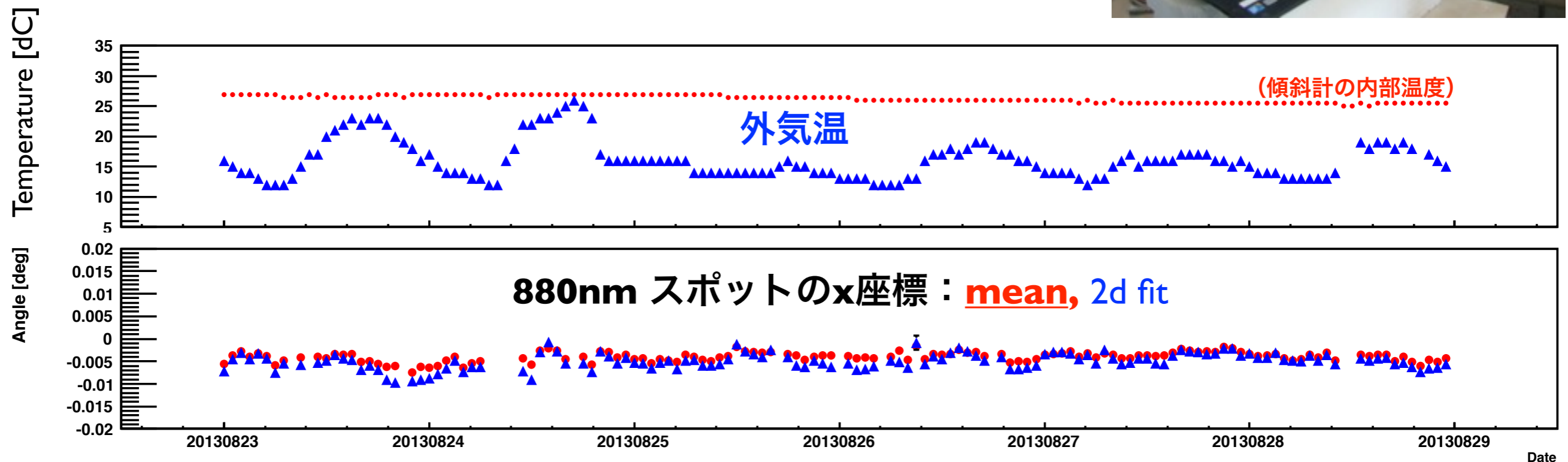
■: レーザーの測定値を
出力 (全て数mW) で
QE相当に変換 (左軸)



観測時には~0.5度以上への散乱のみが問題 → この測定は**PMTへの影響の上限値**
数mWの低出力の (安価な) レーザーなら、>850nmとすれば**影響はNSB以下**

光軸レーザー安定性

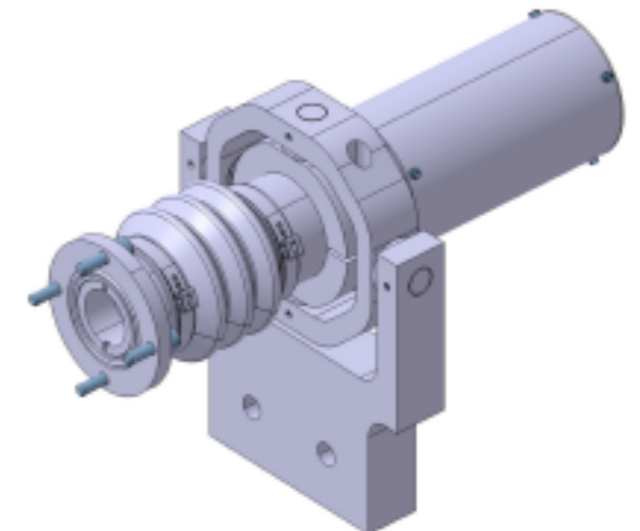
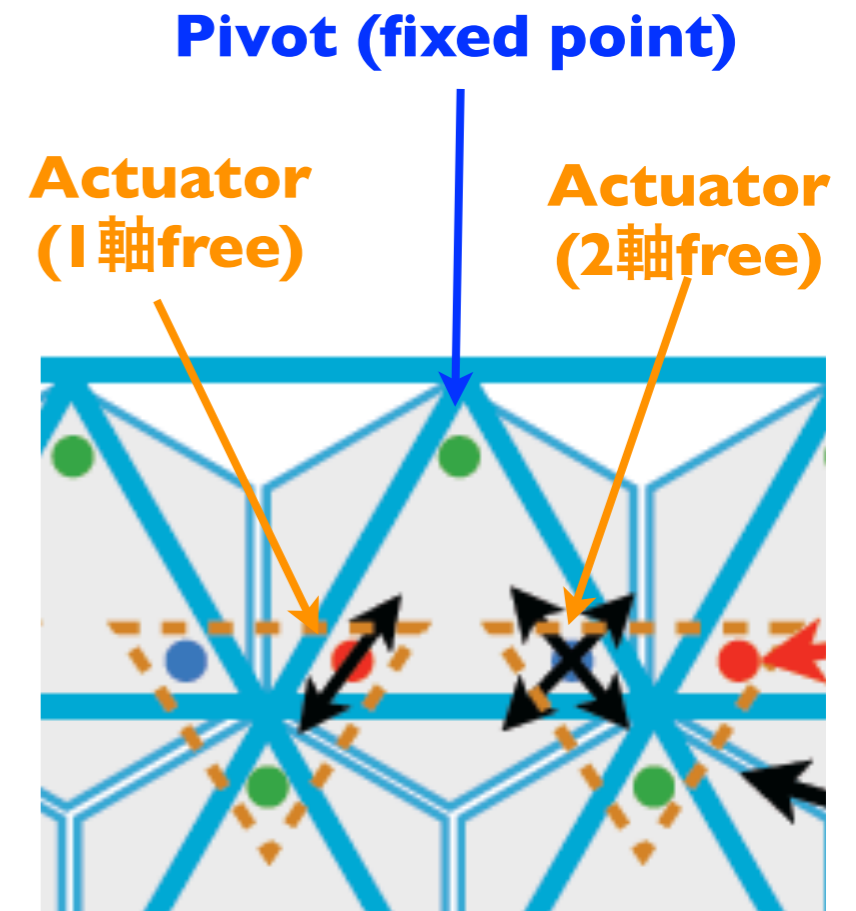
- >850nmのレーザーに限って、長期安定性を試験
- CCD+zoom lensで28m先のスポットを1時間毎に撮像計3週間、温度変化は~10-30°C (MPIの屋根裏)
- スポット位置分解に**必要な精度: 0.0025度=9秒角**
(光学系全体のPSFでlimit=後述) 28mで1.3mm相当



レーザー自体は十分に安定。必要な**CCD**のスペックなどの知見を得た

鏡調整 「理論と実践」

- 自由度：位置3+傾き3。3点支持の自由度も6。
- 分割鏡は「位置精度 >> 傾き精度」→1点固定
先に位置の3自由度を減らせば、設置が容易。
(cf. 6自由度を同時調整 “stewart platform”)
- 残り2点の位置で傾きを調整。球面は軸対称ゆえ
傾き3→2自由度の調整でよい。2つのactuator。
- 極座標（並進1+回転2）機械抵抗小、調整が容易。
1支持点の回転自由度-1で、全自由度を2にする。

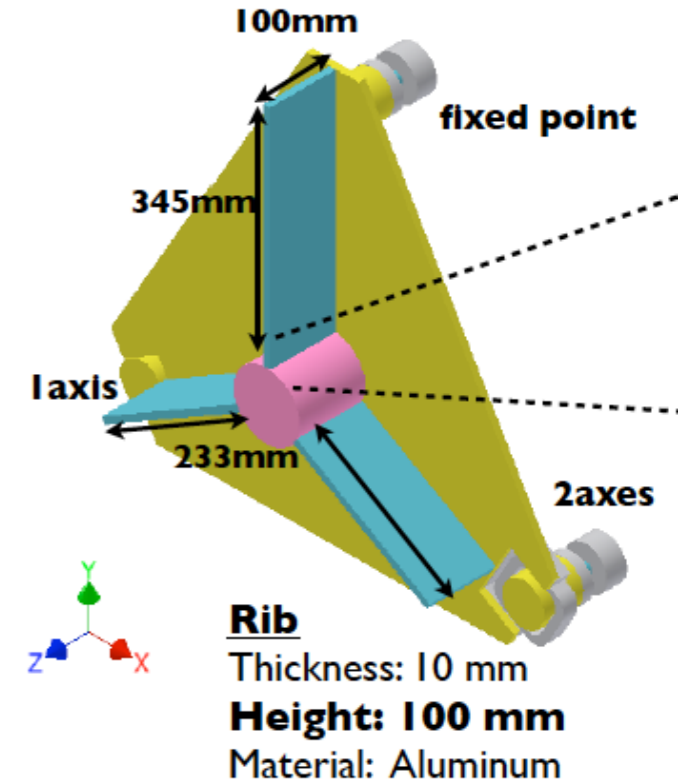
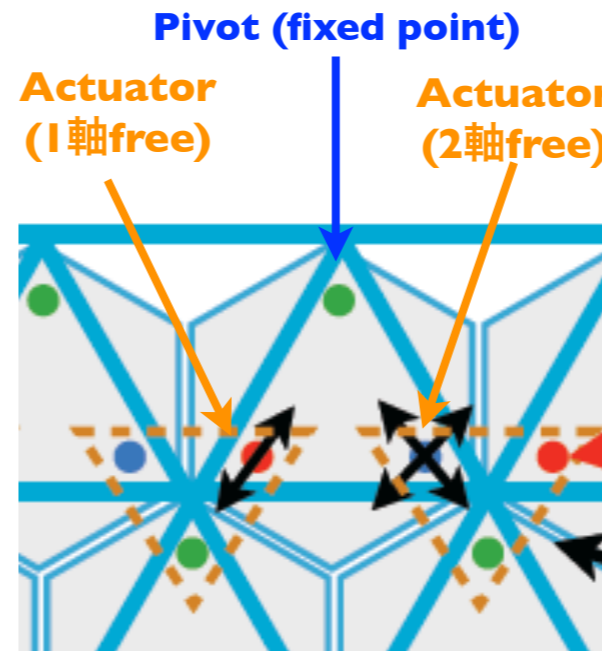
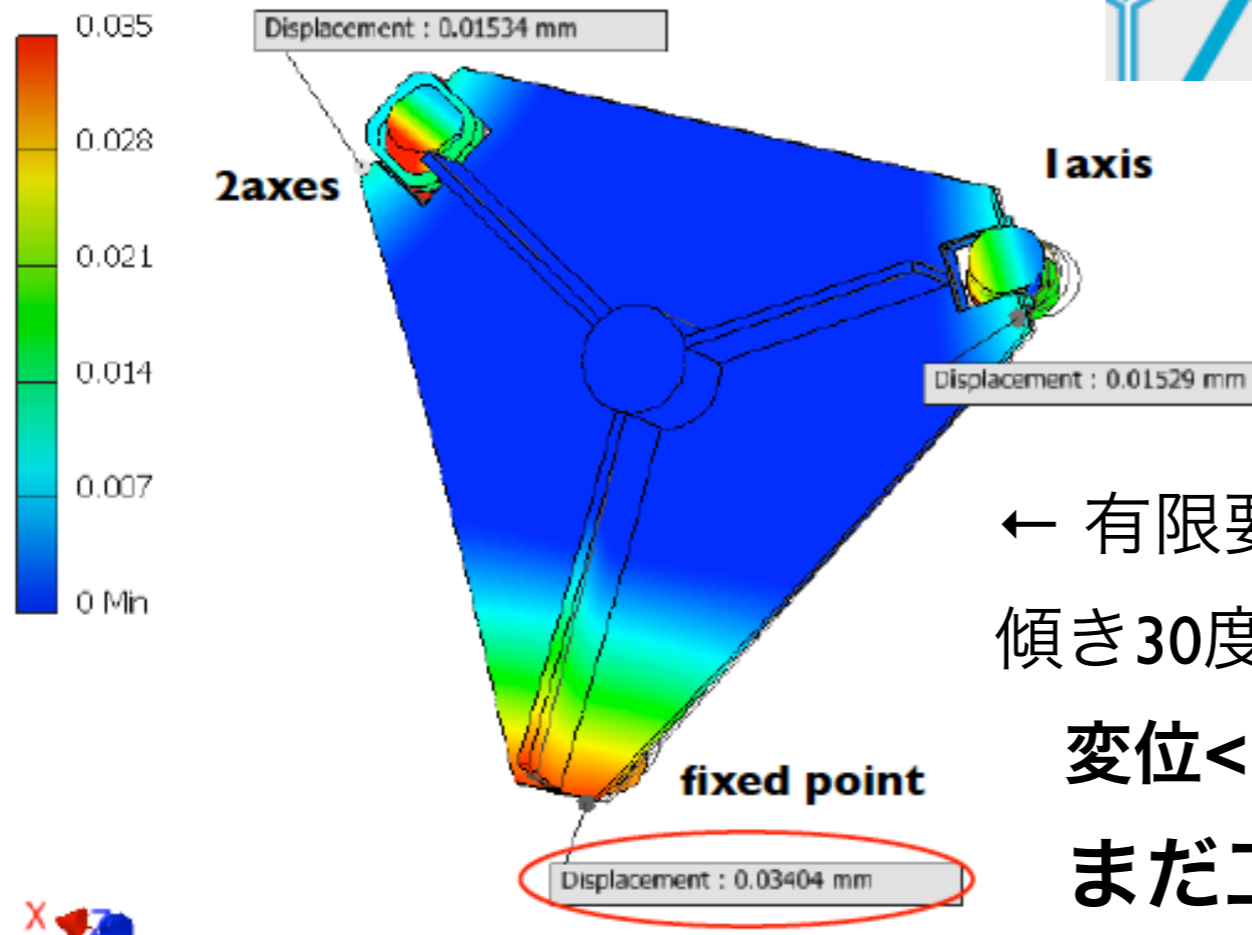


MAGICの経験により実践的な最適化が可能に

鏡調整の現状

- actuatorの制御 (CTA報告64 野里)
残るはソフトウェア
- Interface plateの機械的強度は？
(by花畑) 最後のピース

Type: Displacement
Unit: mm
7/14/2013, 8:26:11 AM



デザイン例

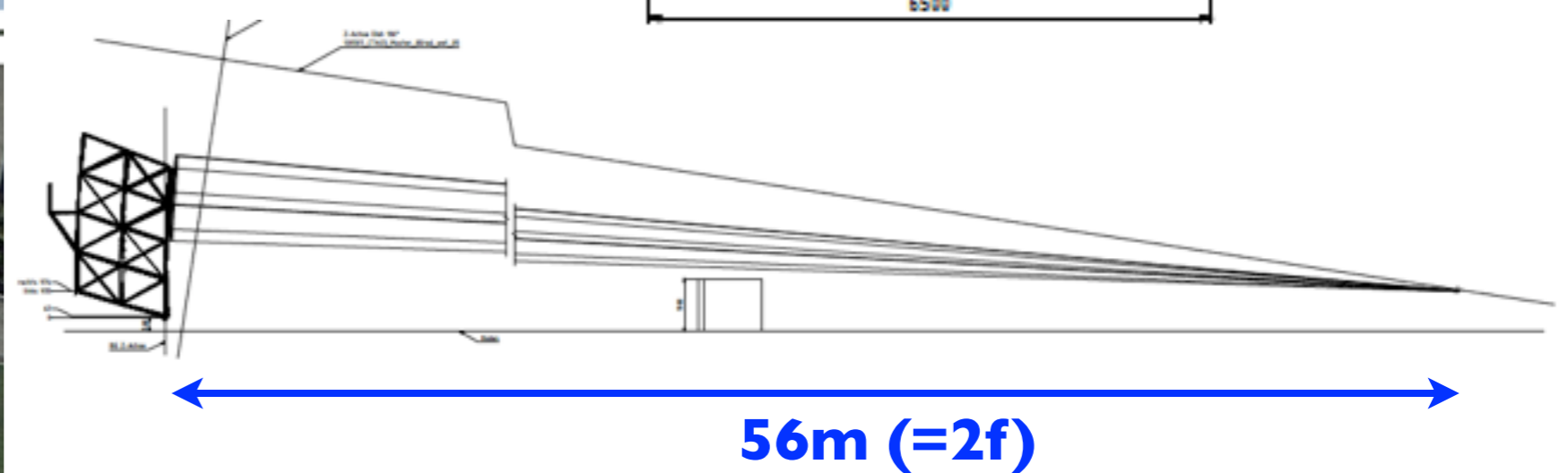
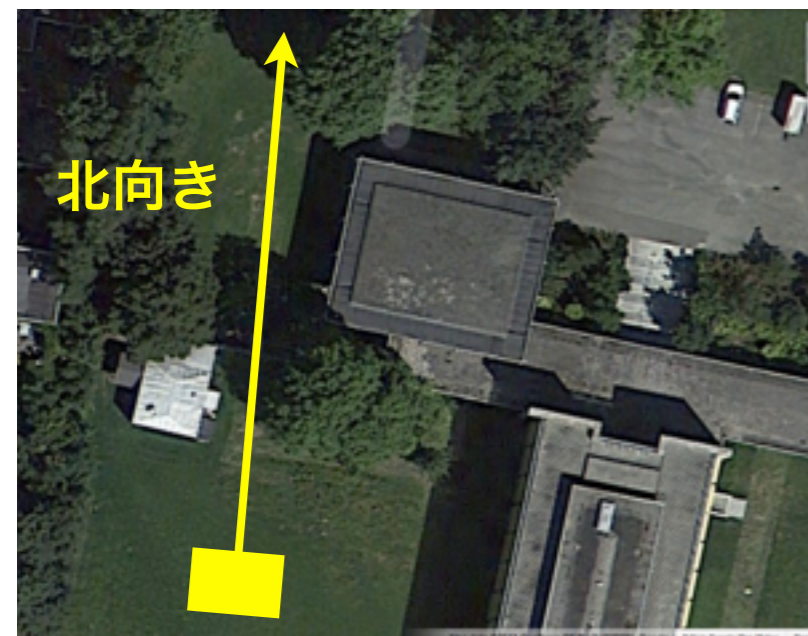
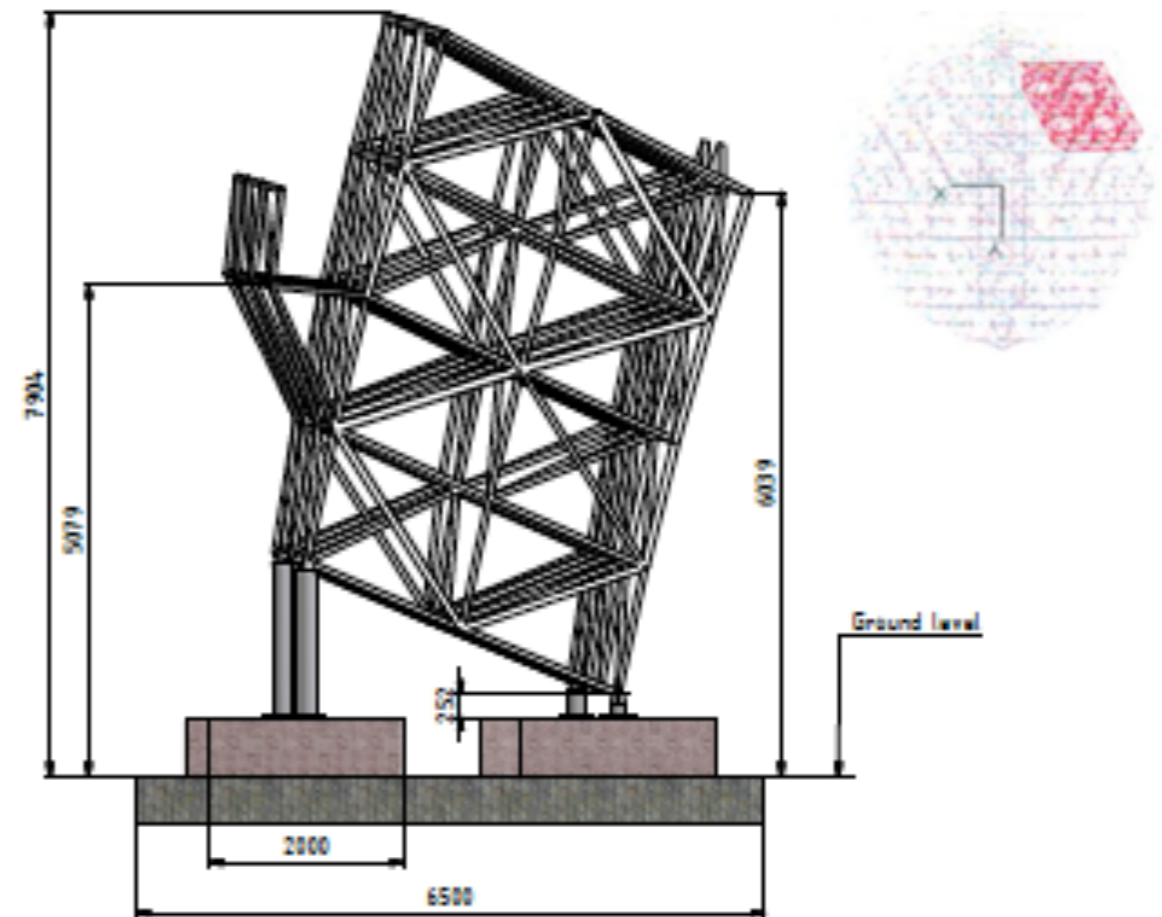
← 有限要素法 (FEA) による変形の計算
傾き30度、風速70km/h (最悪の観測条件)

変位 $34\mu\text{m}$ (必要精度 ~ $15\mu\text{m}</math>)$

まだ工夫が必要だが、達成可能

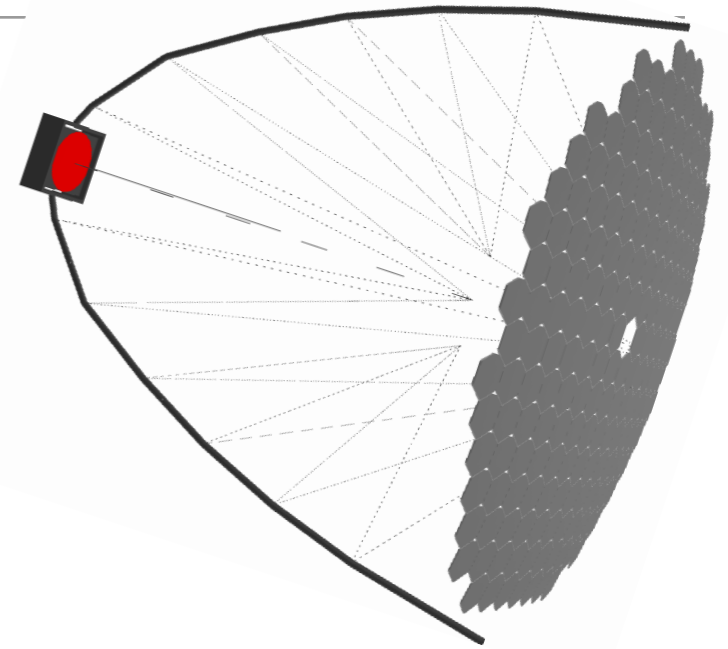
光学系全体の調整

- MPI Munichにtest structureを建設中
(2013冬～2014春に完成予定)
- 光学調整システム全体のテストを予定
 - 光軸レーザー
 - 分割鏡調整 (複数のオプション)
 - 鏡の長期試験?

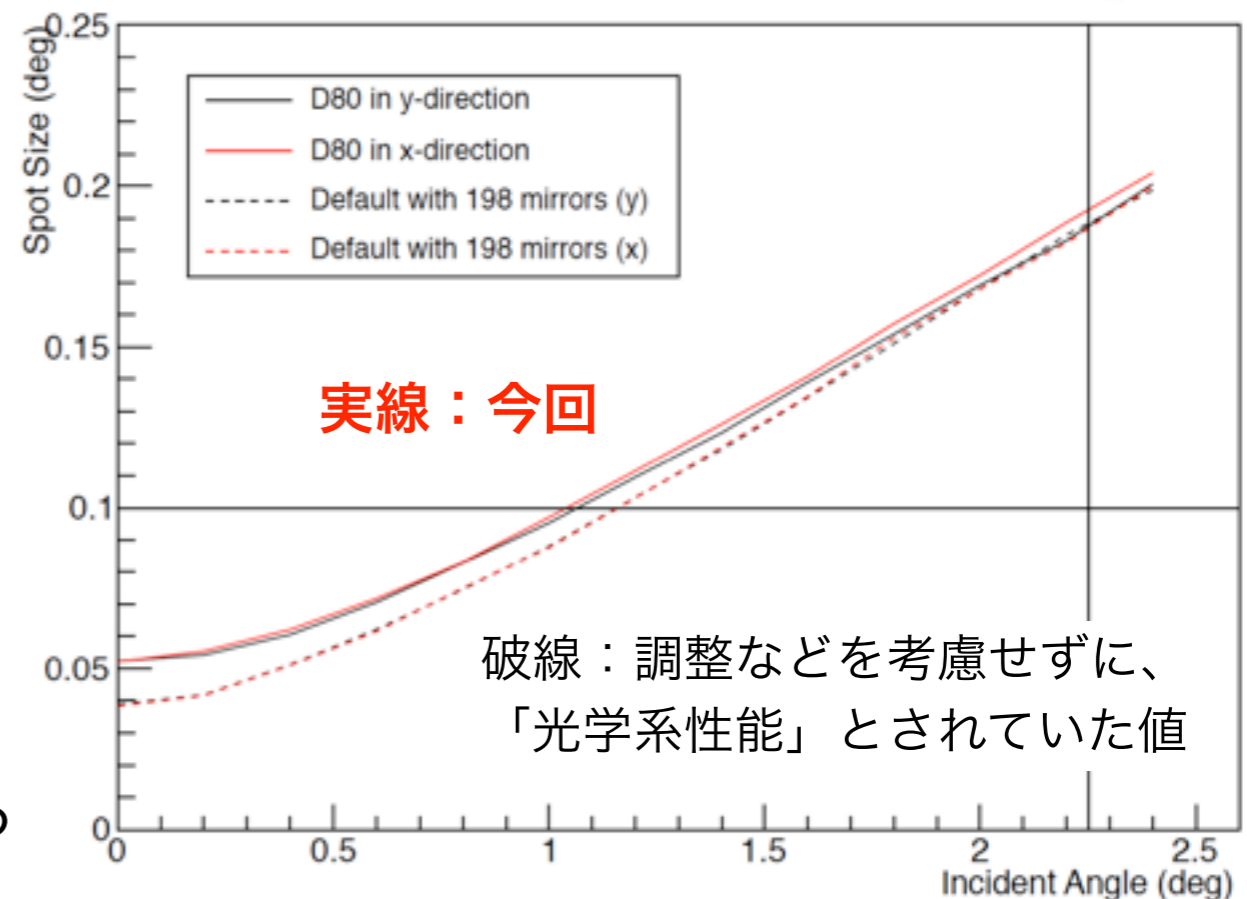


期待される性能

- 光学系「フルシミュレーション」 調整精度などの現実的な条件を入れた光線追跡 (ROBAST package)



- 遮蔽：カメラ、マスト、ロッド
- 分割鏡の表面精度：FEA計算だけでなく、PMDの測定結果 (cf. 馬場talk) を代表値として導入
- 分割鏡の調整精度：この講演の内容
- 鏡構造の変形：FEA
- カメラ位置：マストの変形、特にz方向とxy回転の測定・補正精度
- 結果：入射角1.0度まで<0.1度
要求性能ギリギリではあるが、LSTの光学系設計の「現実性」が示された
- 今後はE閾値など物理への影響を調べる



Summary

- LSTの光学系調整コンセプト
「光軸を決めておき、随時補正調整する」
- 光軸レーザー
「波長850nm以上、数mWのレーザーならばPMTへの影響は無視可能」
「適当な位置読み出しを行えば、光学系の基準として十分に使用可能」
- 分割鏡の調整
「ハードウェアのピースが全て揃いつつある。理論から実践に向けて、システム全体でのチェック段階が目前」
- 光学系の性能評価
「調整精度など、ハードウェア開発からのフィードバックを含めることで、より現実的な性能評価を開始した」