

CTA計画開発研究

山本常夏@甲南大学

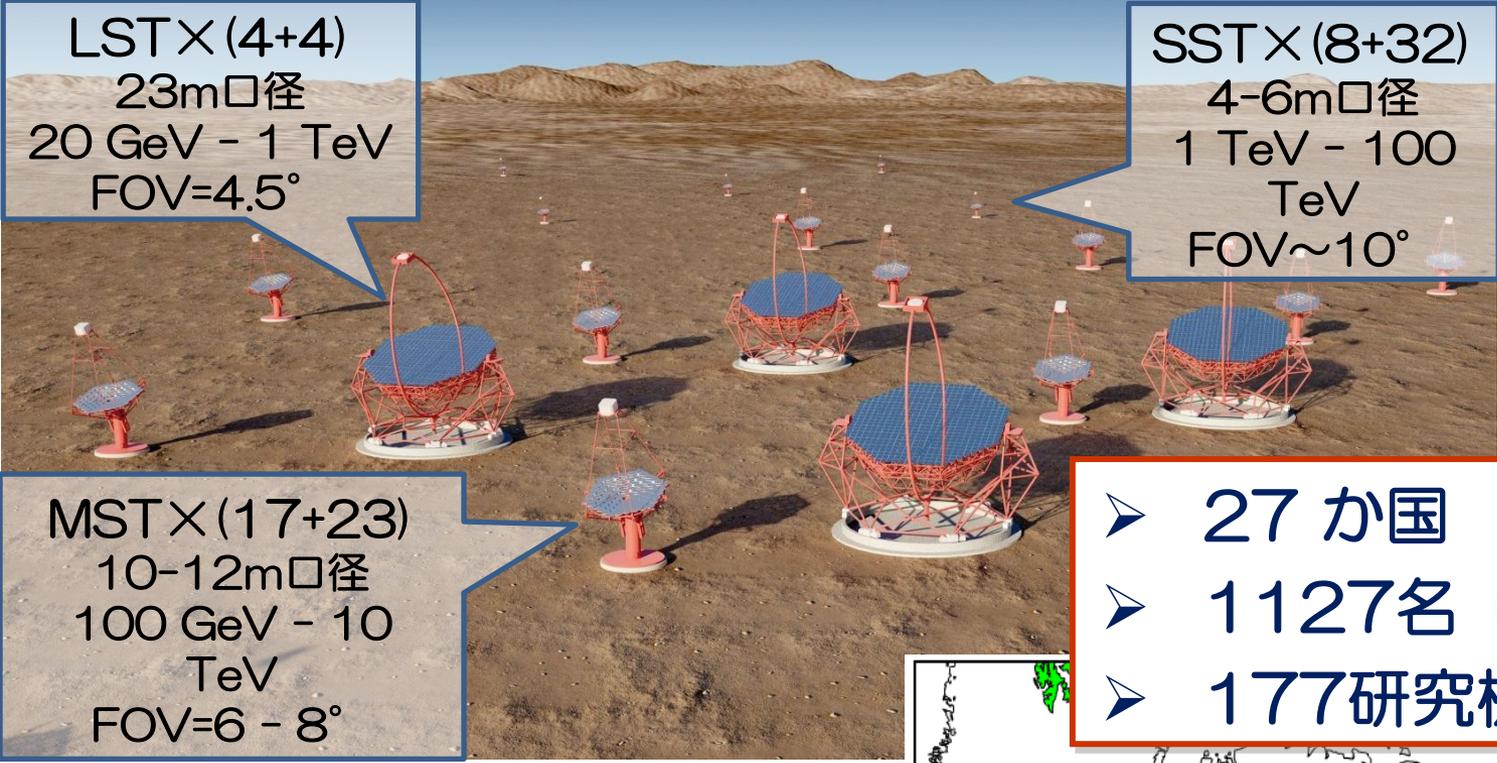
For the CTA-Japan Consortium

査定額 研究費230万円 + 216.4万円 合計 446.4万円

CTA-Japan メンバー (94名)

手嶋政廣、窪秀利、戸谷友則、浅野勝晃、井岡邦仁、井川大地、石尾一馬、井上進、井上芳幸、猪目祐介、上野遥、内山泰伸、大石理子、大岡秀行、大竹峻平、大平豊、荻野桃子、奥村暁、折戸玲子、加賀谷美佳、格和純、片岡淳、片桐秀明、株木重人、河島孝則、川中宣太、岸本哲朗、櫛田淳子、郡司修一、郡和範、小島拓実、小谷一仁、小山志勇、今野裕介、齋藤浩二、榊直人、佐々木浩人、澤田真理、柴田徹、菅原隆希、高橋慶太郎、高橋弘充、高橋光成、高見一、田島宏康、立原研悟、田中駿也、田中真伸、千川道幸、辻本晋平、土屋優悟、坪根義雄、寺田幸功、當真賢二、門叶冬樹、鳥居和史、内藤統也、中嶋大輔、長瀧重博、中森健之、中山和則、永吉勤、西嶋恭司、野里明香、野田浩司、畑中謙一郎、花畑義隆、馬場浩則、早川貴敬、林田将明、原敏、馬場彩、日高直哉、広谷幸一、深沢泰司、福井康雄、藤田裕、増田周、松本浩典、水野恒史、村石浩、村瀬孔大、森浩二、柳田昭平、山崎了、山本常夏、山本宏昭、吉越貴紀、吉田篤正、吉田龍生、李兆衡

東大宇宙線研、MPI for Physics、京大理、東大理、KEK 素核研、東海大理、甲南大理工、埼玉大理、立教大山形大理、青学大理工、名大STE 研、レスタ一大、徳島大総科、茨城大理、広大理、早大理工、東海大医、熊本大理、名大理、近畿大理、阪大理、山梨学大、理研、名大KMI、北里大医療衛生、宮崎大工



LST×(4+4)
23m口径
20 GeV - 1 TeV
FOV=4.5°

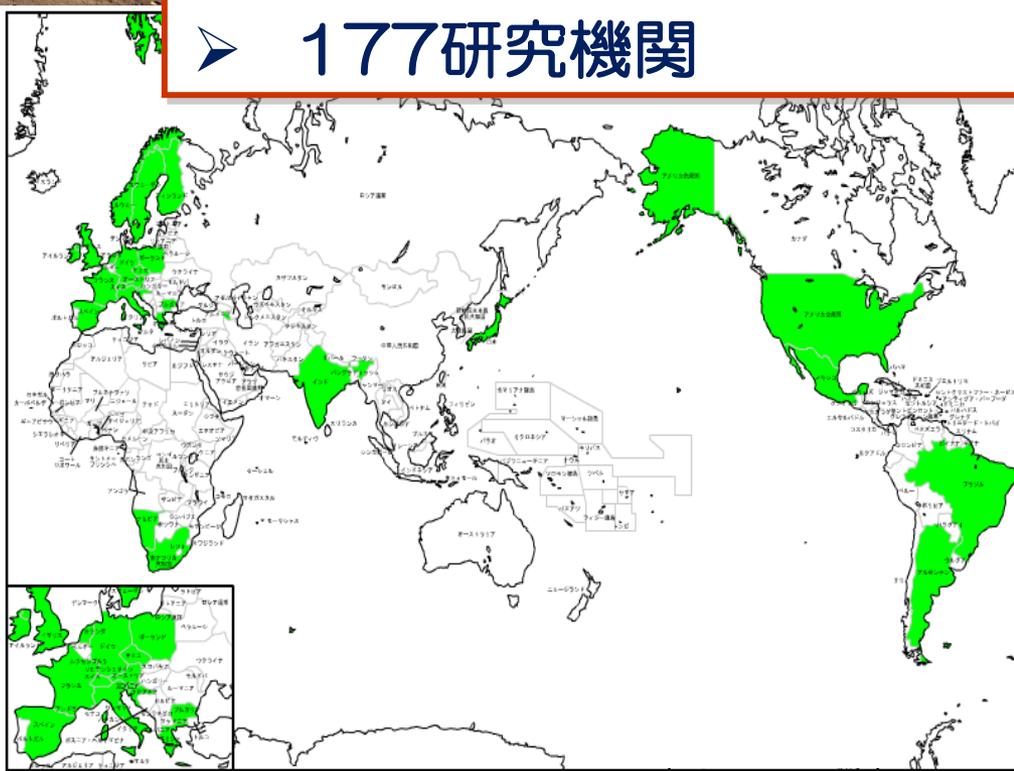
SST×(8+32)
4-6m口径
1 TeV - 100 TeV
FOV~10°

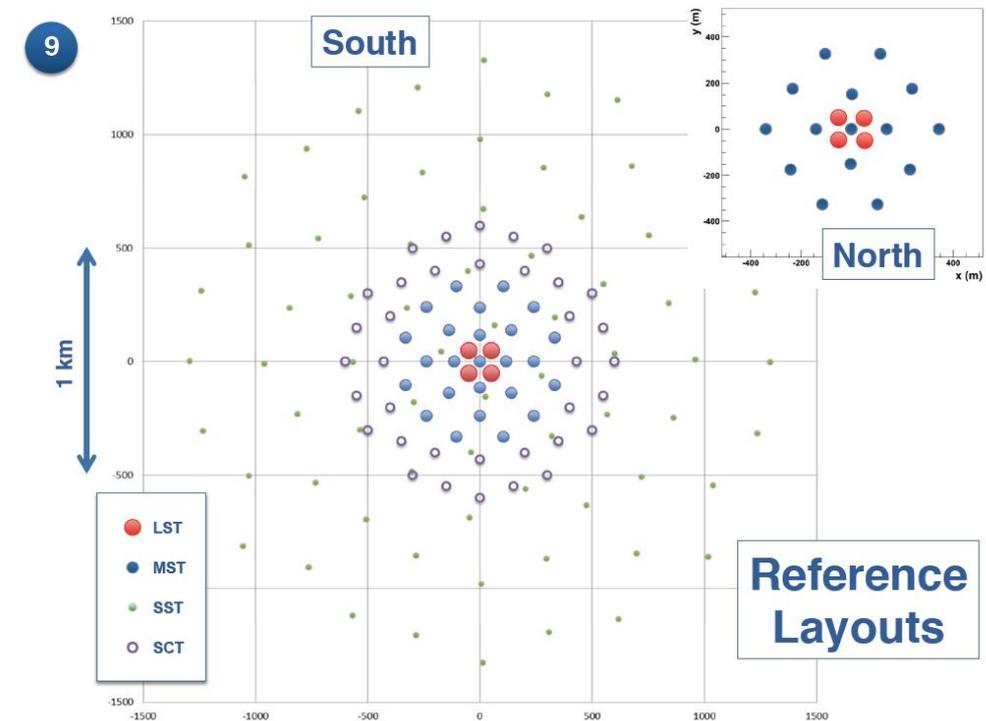
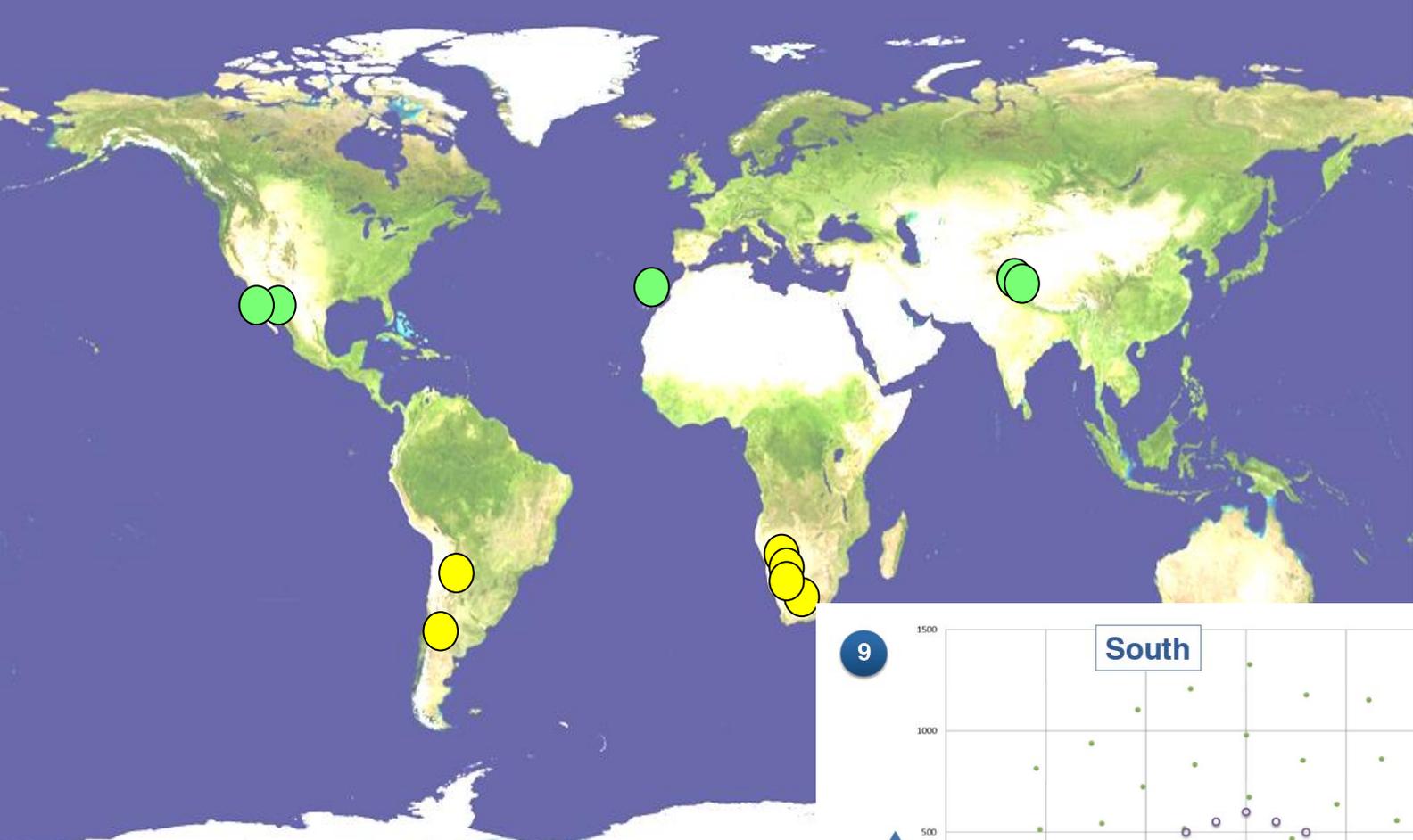
MST×(17+23)
10-12m口径
100 GeV - 10 TeV
FOV=6 - 8°

- 27 各国
- 1127名 (日本 8%)
- 177研究機関

口径23mから10mのチェレンコフ望遠鏡を合計88台建設
20GeV~100TeV以上のガンマ線を検出
27ヶ国 1127名が参加

総建設費約200億円
日本は40億円(20%)の貢献を目指している



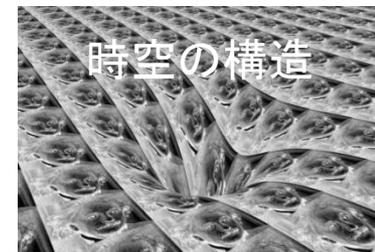
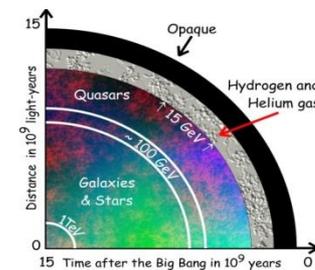
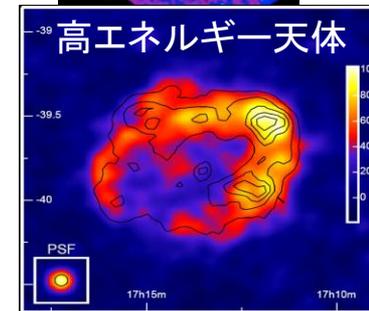
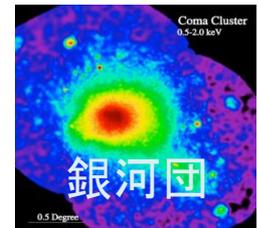
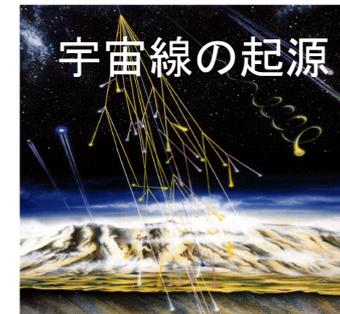
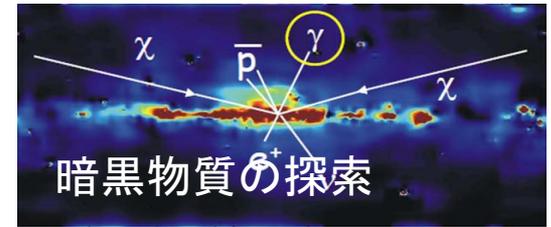


南北両半球に建設し全天観測

2014年にサイト選定

15 個のPhysics Work Packages

- Monte Carlo
- Dark Mater, Fundamental Physics
- Extragalactic Background Light, Cosmology
- Active Galactic Nuclei
- Gamma Ray Burst
- Microquasars, Binaries
- Cosmic Ray sources, SNRs, Molecular Clouds
- Starbursts, Clusters
- Extended, Diffuse sources
- Pulsar Wind Nebula
- Pulsars, Global Clusters
- Surveys
- Milky Way
- Intensity Interferometry
- DC Light, CR composition



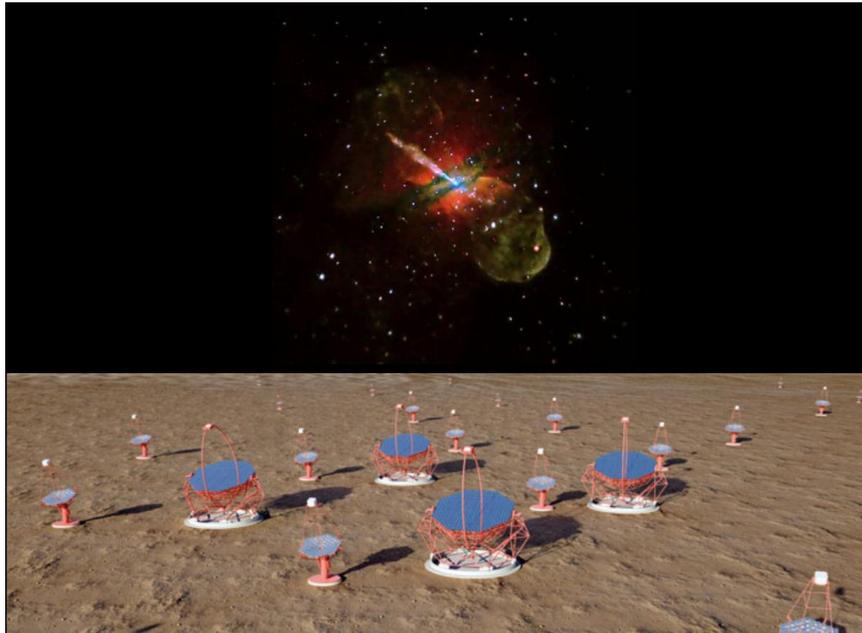
建設開始を控えて、最初の成果に向けて Key Projectの選定に入った

優先順位をつけ、建設中の観測時間の割り振りを提案することになる。

Galactic, Extragalactic, Dark Matter/Fundamental Physics
の3つのカテゴリで議論

CTA-ExtraGalactic working group

は井上進さんがConvenerになっている



conveners of CTA-EGal:

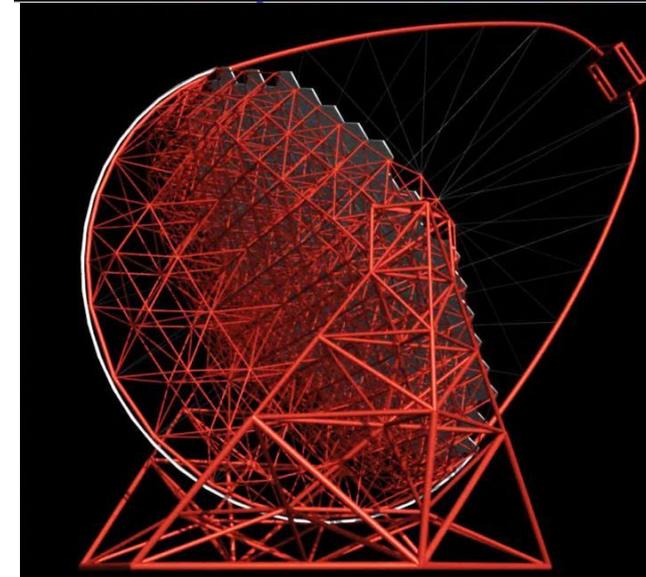
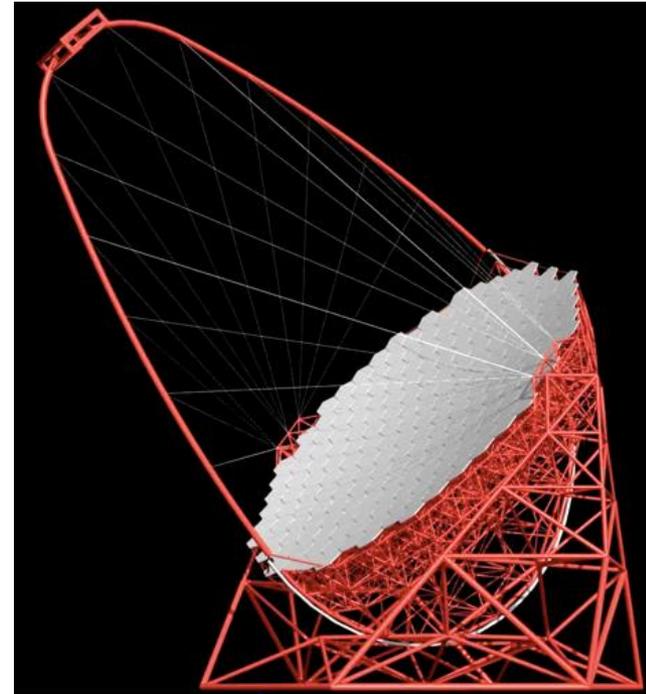
Susumu Inoue

Daniel Mazin

Andreas Zech

LST仕様

- 観測帯域 20 GeV - 1 TeV
- 望遠鏡構造
 - 口径 23m
 - 鏡面積 400m²
 - 焦点距離 28m
 - 鏡配置：放物線上
 - 等時性 < 0.6ns (r.m.s)
 - 総重量 70トン
 - 回転速度 180° / 20秒
 - GRBなどの観測
 - 鏡能動制御
 - トラッキング精度 20秒
- 主焦点カメラ
 - 視野 4.5度 (225cm)
 - PMT 1855本 (0.1度/ピクセル)

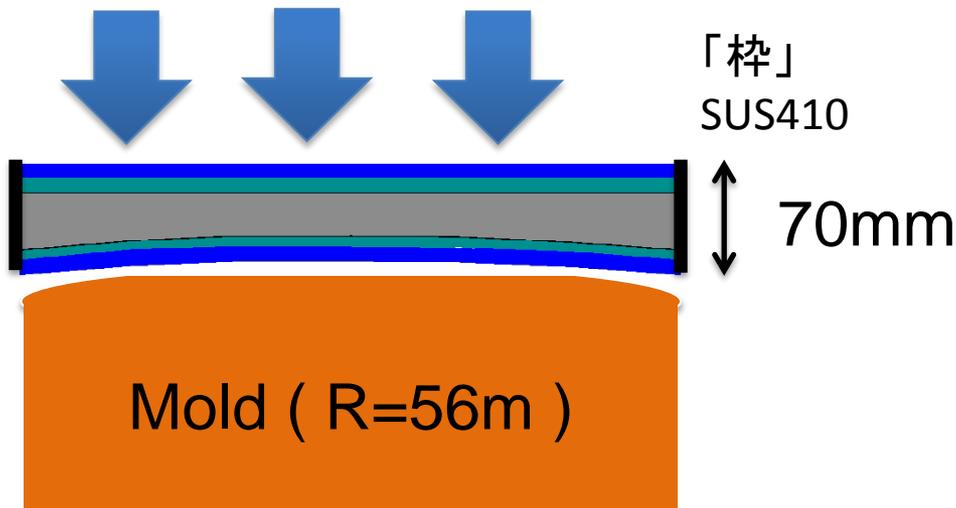


大口径望遠鏡の分割鏡

(supervised by M. Teshima)

- 「三光精衡所」(筑波支店)と共同開発

製法: Cold Slump



ガラス(2.7mm)
アルミハニカム(60mm)
ガラス(2.7mm)

総重量:
~46 kg

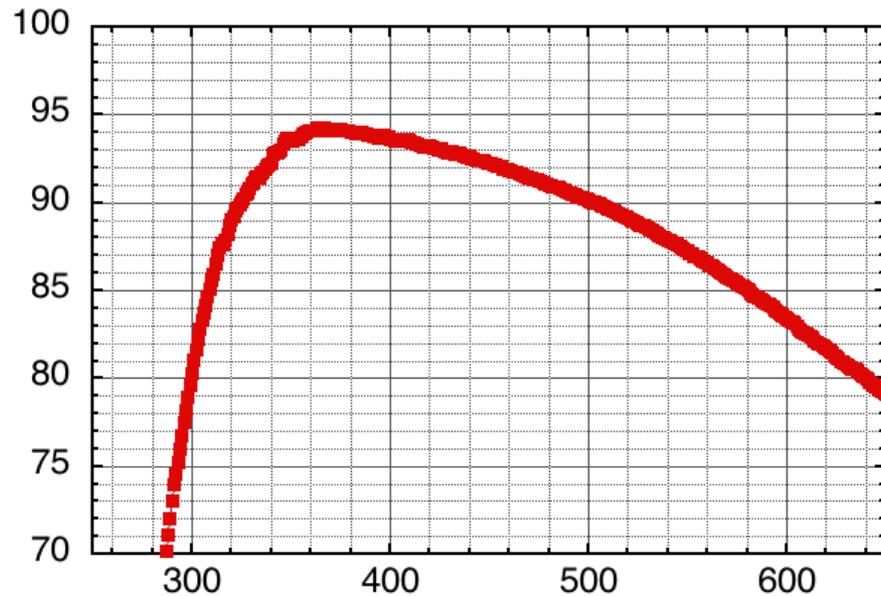


Mirror area: 1.96m²

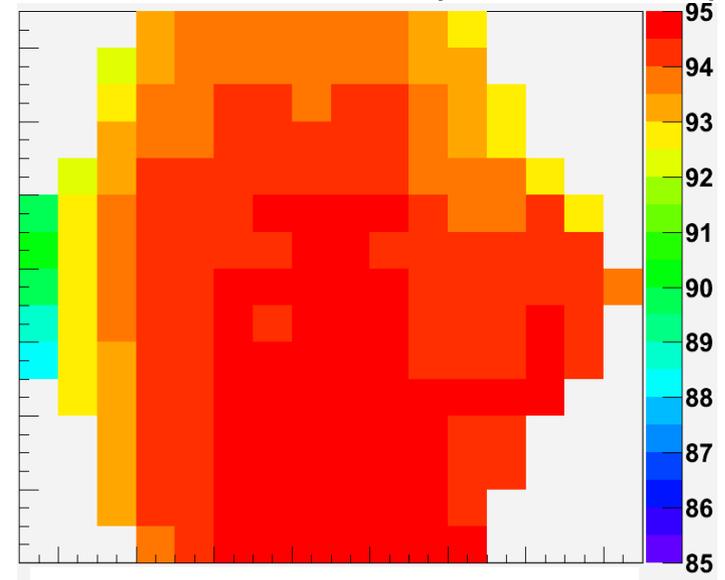
表面反射率

- 5層sputtering coating: (Cr+Al+SiO₂+HfO₂+SiO₂)

反射率スペクトル(94% peak@365nm)



反射率一様性(@370nm)



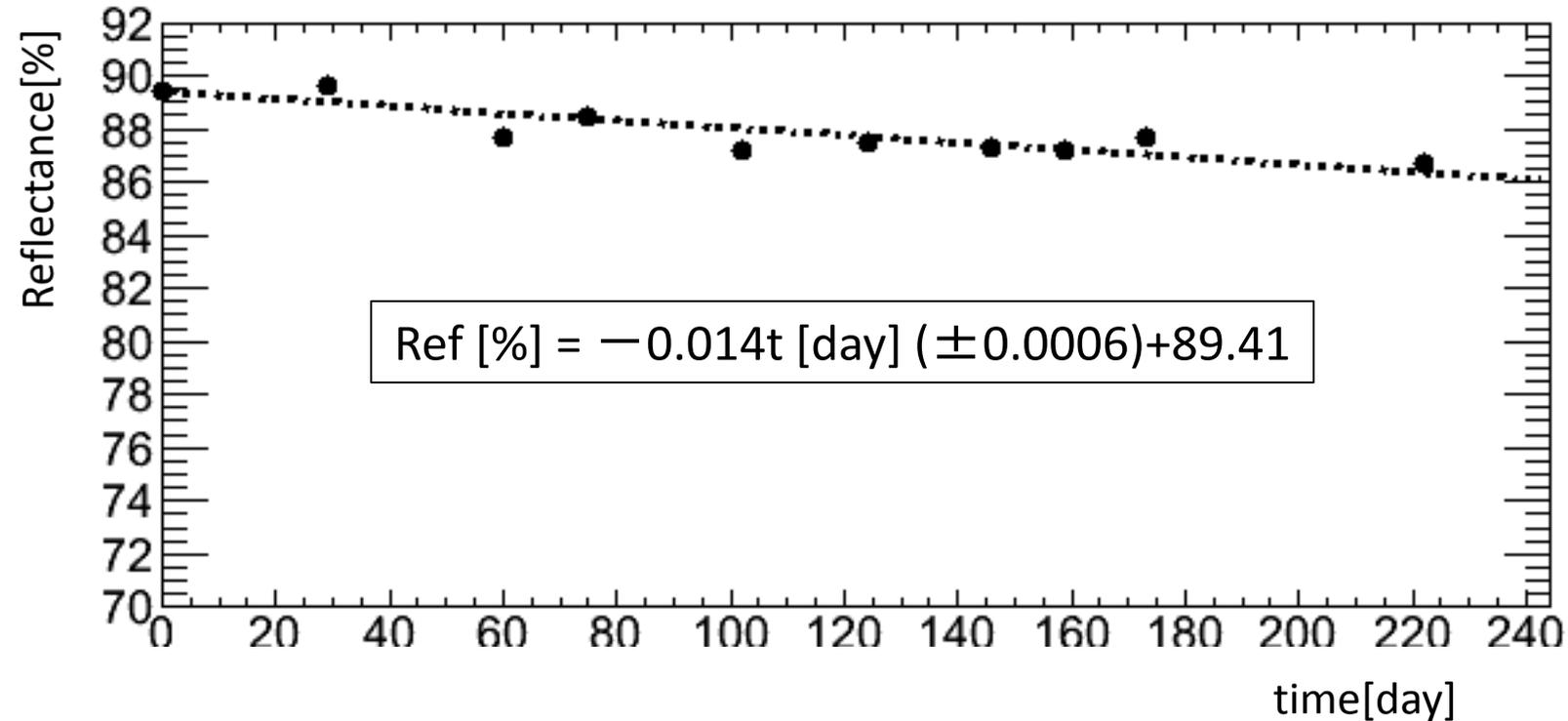
$\sigma_{\text{ref}} \sim 1\%$

散乱光(>0.03°)の測定
@325 nm (at Olomouc, Czech)

直接反射[%]	散乱光[%]	Lost Light[%]
92.7	0.4	6.9

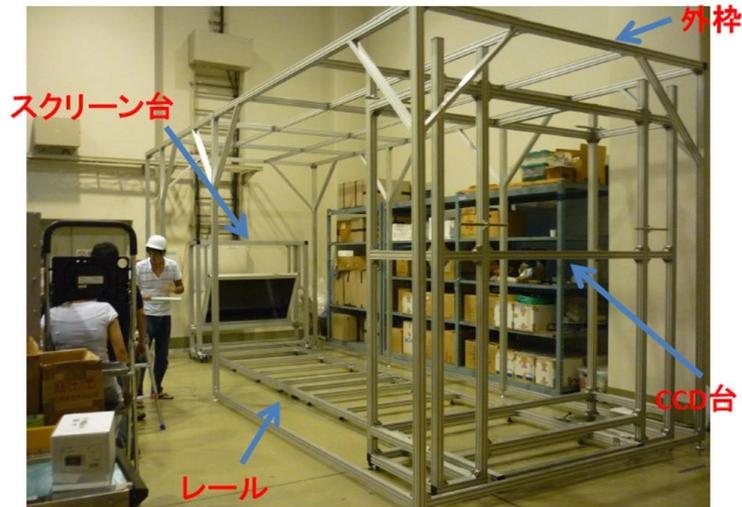
耐候性試験 (茨城大:加賀谷)

実際の環境(水戸)にサンプル鏡をさらし、自然に生じる反射率低下の時間変化をモニター



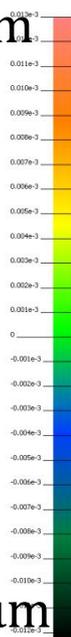
**220日の暴露試験で3%程度の反射率低下。
10年で10%の低下に抑えることを目指している。**

宇宙線研に Phase Measuring Deflectometry (PMD) を設置し鏡の鏡面精度を測定

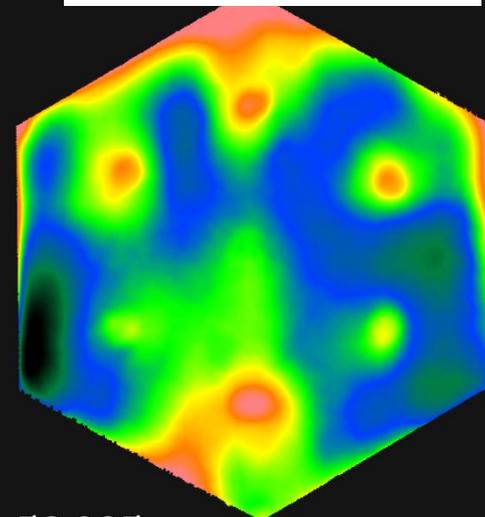


宇宙線研に設置したPMD装置全長(7m×3m×3m)

13 μ m



理想球面からのずれ

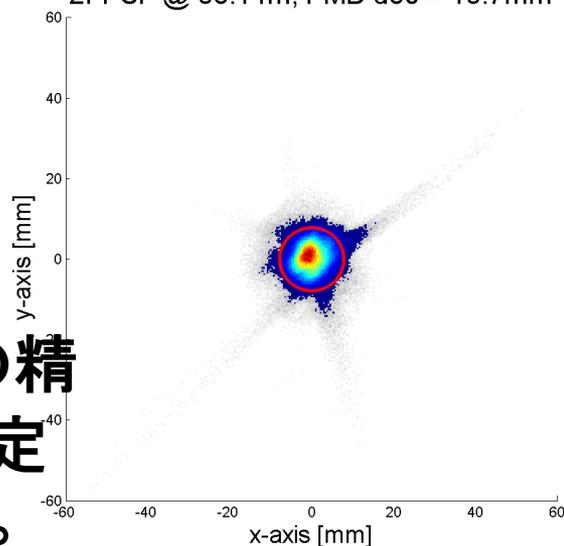


-12 μ m

Fit 58.095m

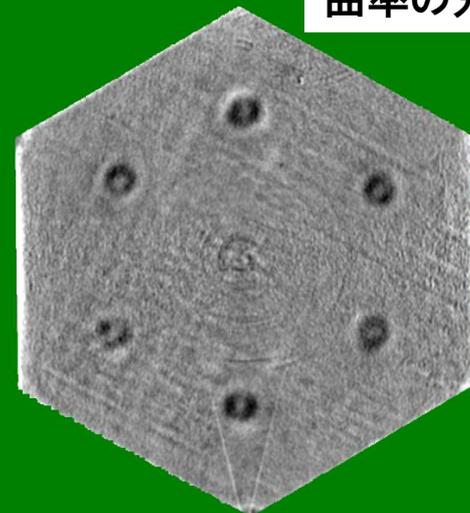
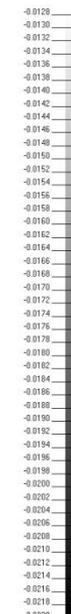
レイトレース結果
曲率半径58.14m
D80(2f)=15.7mm

2f-PSF @ 58.14m; PMD d80 = 15.7mm



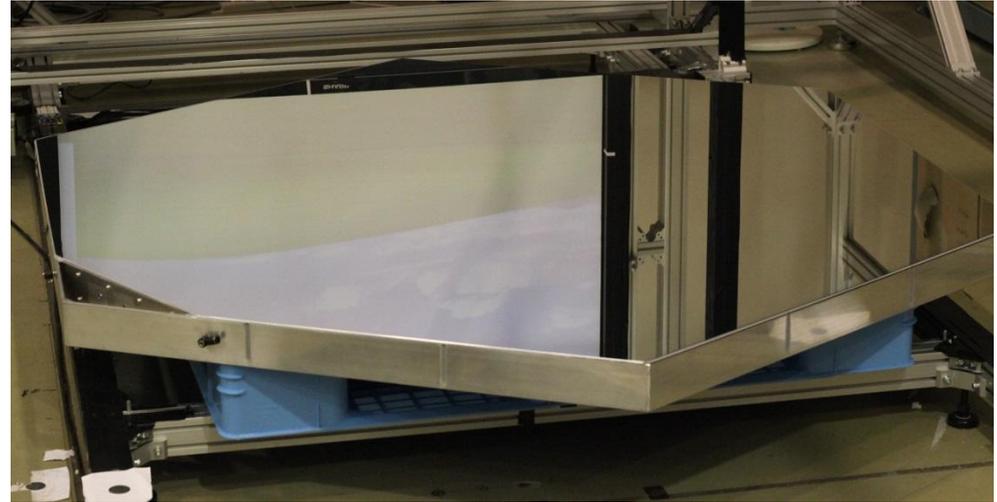
改良を進め10 μ mの精度で鏡面精度を測定できるようになった。

曲率の分布

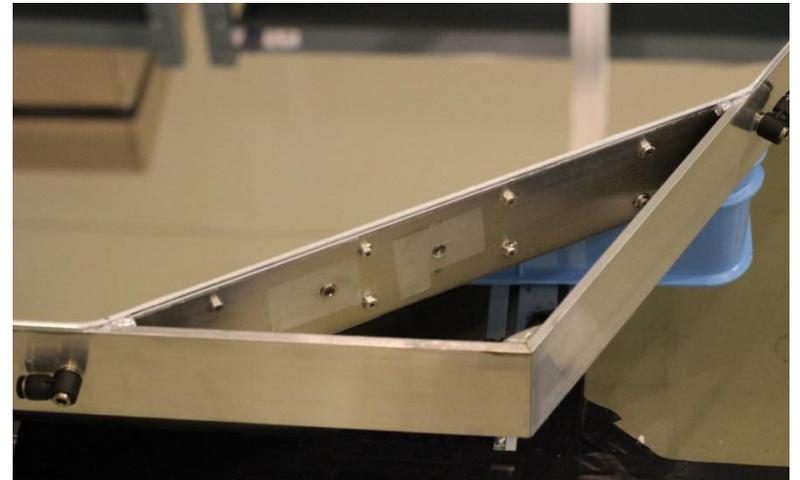


新しく生産された鏡を測定

新しく複数枚のLST分割鏡が生産、納品されたため、その鏡をPMD装置で測定を行った。



新しく生産された鏡は光学系調整装置取り付けのため、一つの角が削ってある。

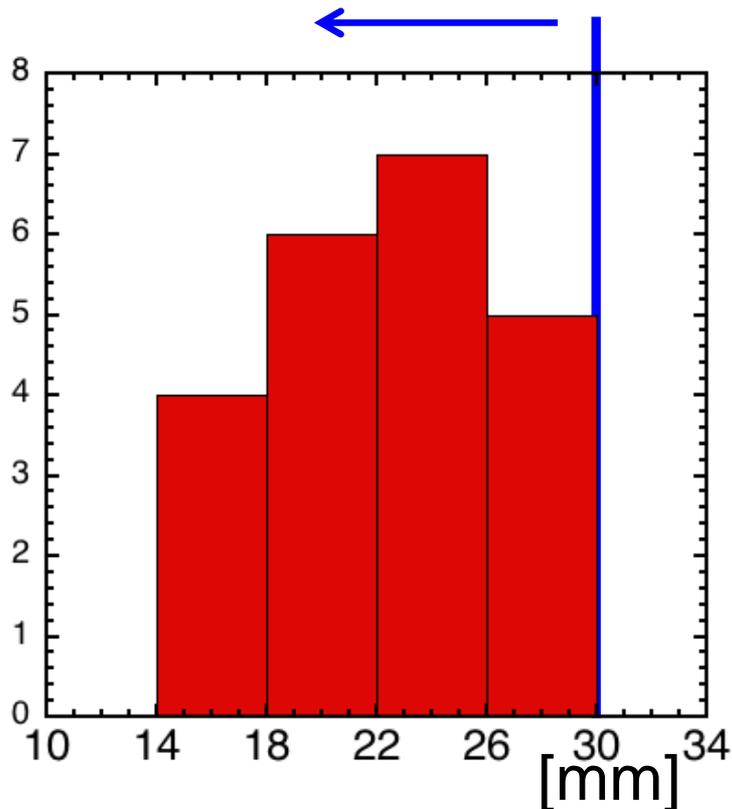


PMD測定結果(2)

22枚の鏡の性能分布

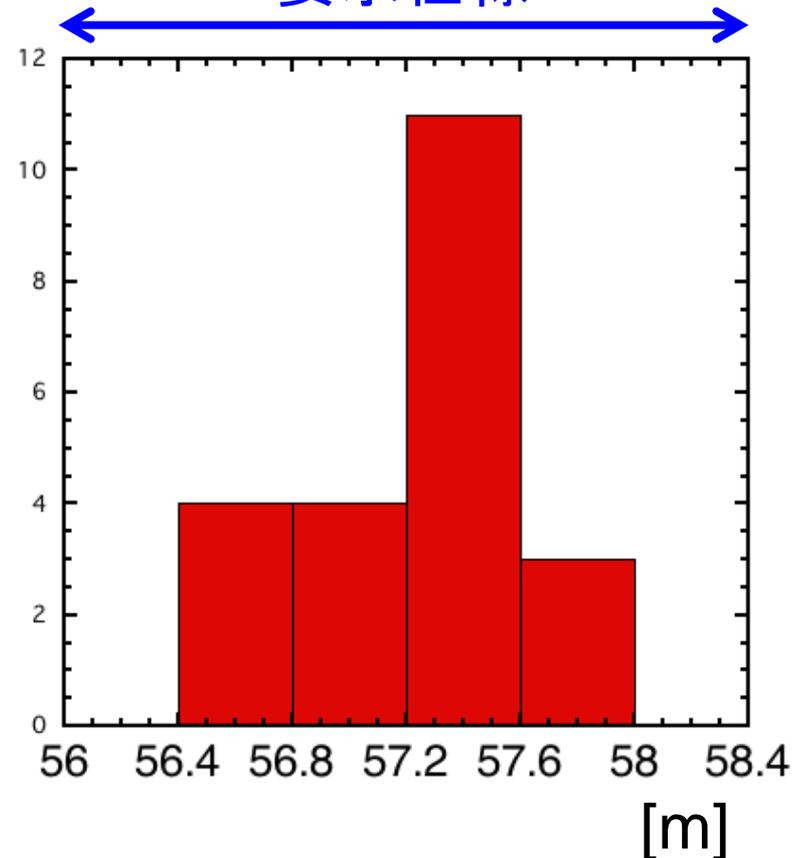
PSF@2f (from ray tracing)

要求仕様



曲率半径(PSFの計算より)

要求仕様



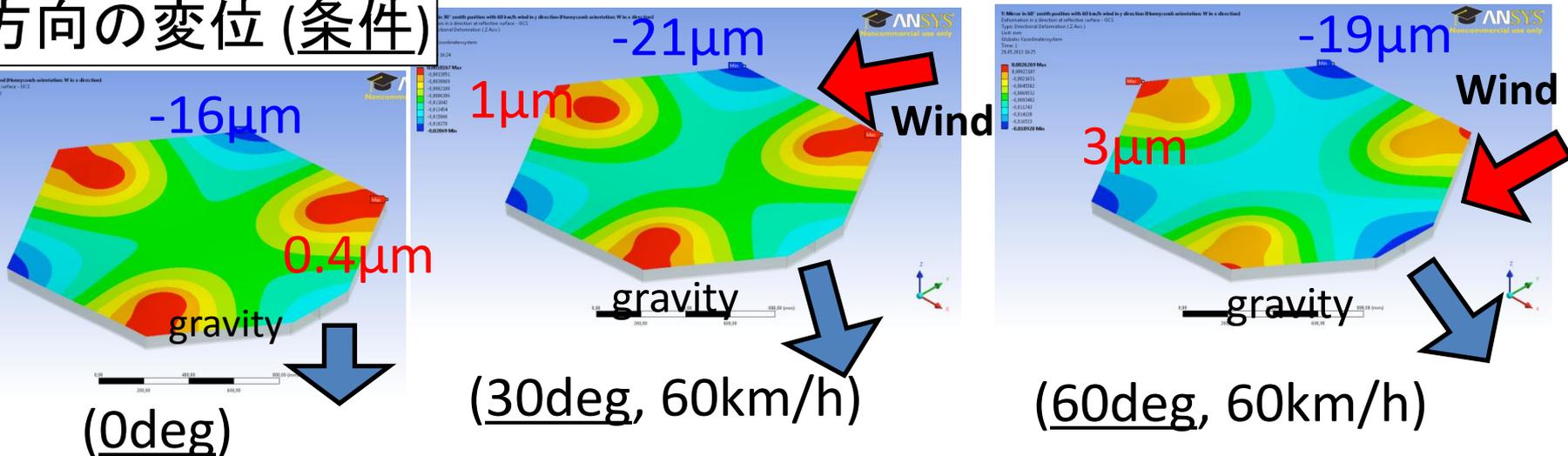
有限要素解析(FEA)

(MPI: Holger, 野田、宇宙線研:花畑)

重力と風による、単一分割鏡の変形量を見積もる。

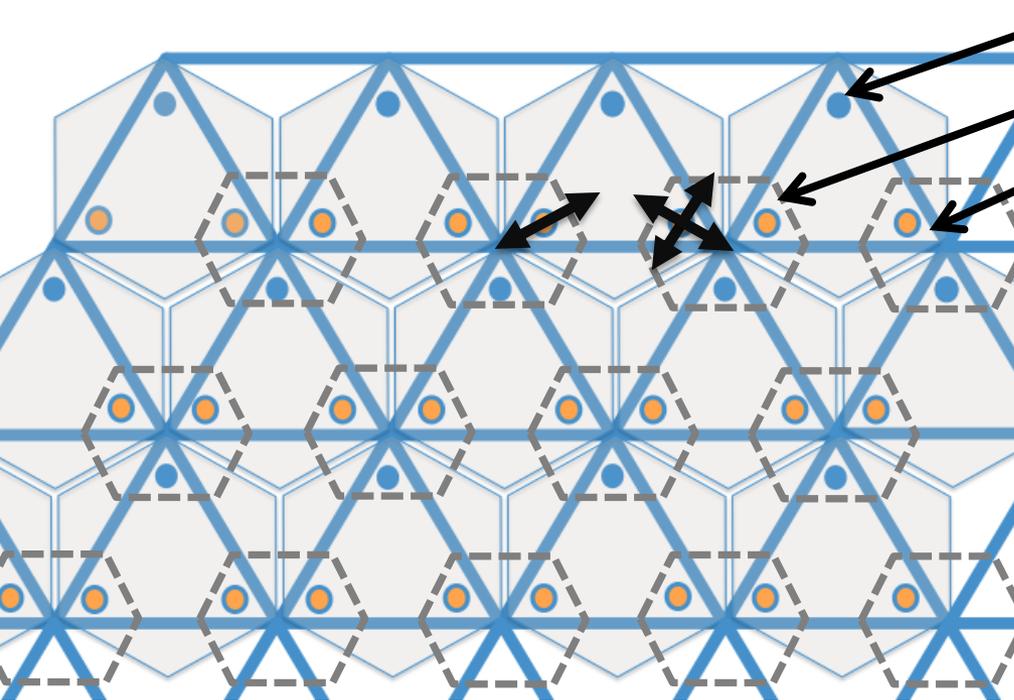
- 風速: 36 km/h (平均) and 60 km/h (突風)
- 風は水平方向に吹いているとし、鏡の傾き(天頂角)を変える。

z方向の変位 (条件)



❖ 運用時の最大変形量: $22\mu\text{m}$ in 85cm
= $0.002\text{deg} \ll \text{single PSF spec. } (<0.033\text{deg})$

198枚の分割鏡すべてにActuator2つとレーザーを取り付け、望遠鏡の最適化を能動的に行う。



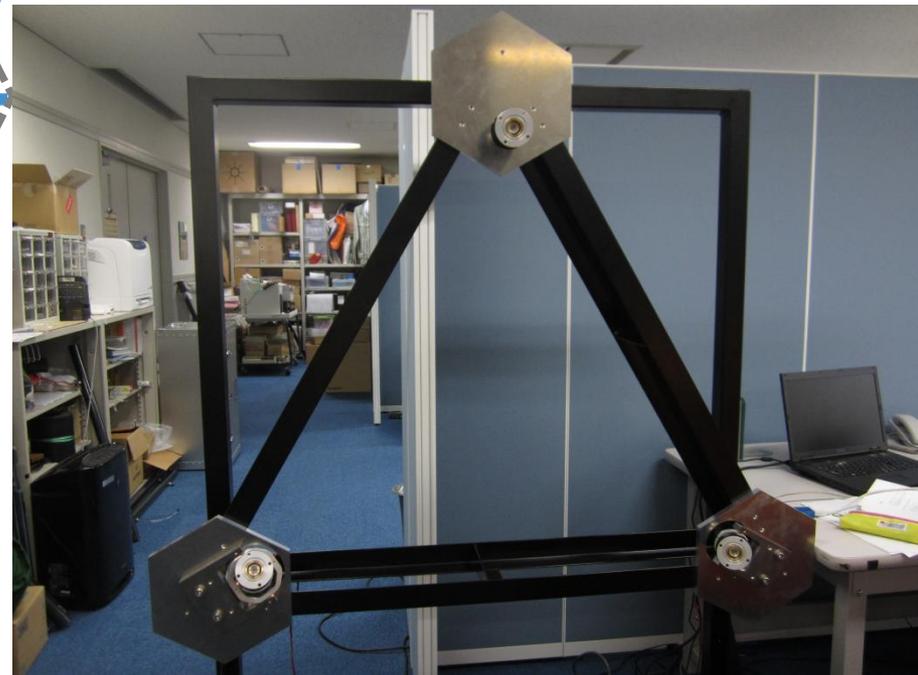
固定

Actuator(1軸Free)

Actuator(2軸Free)



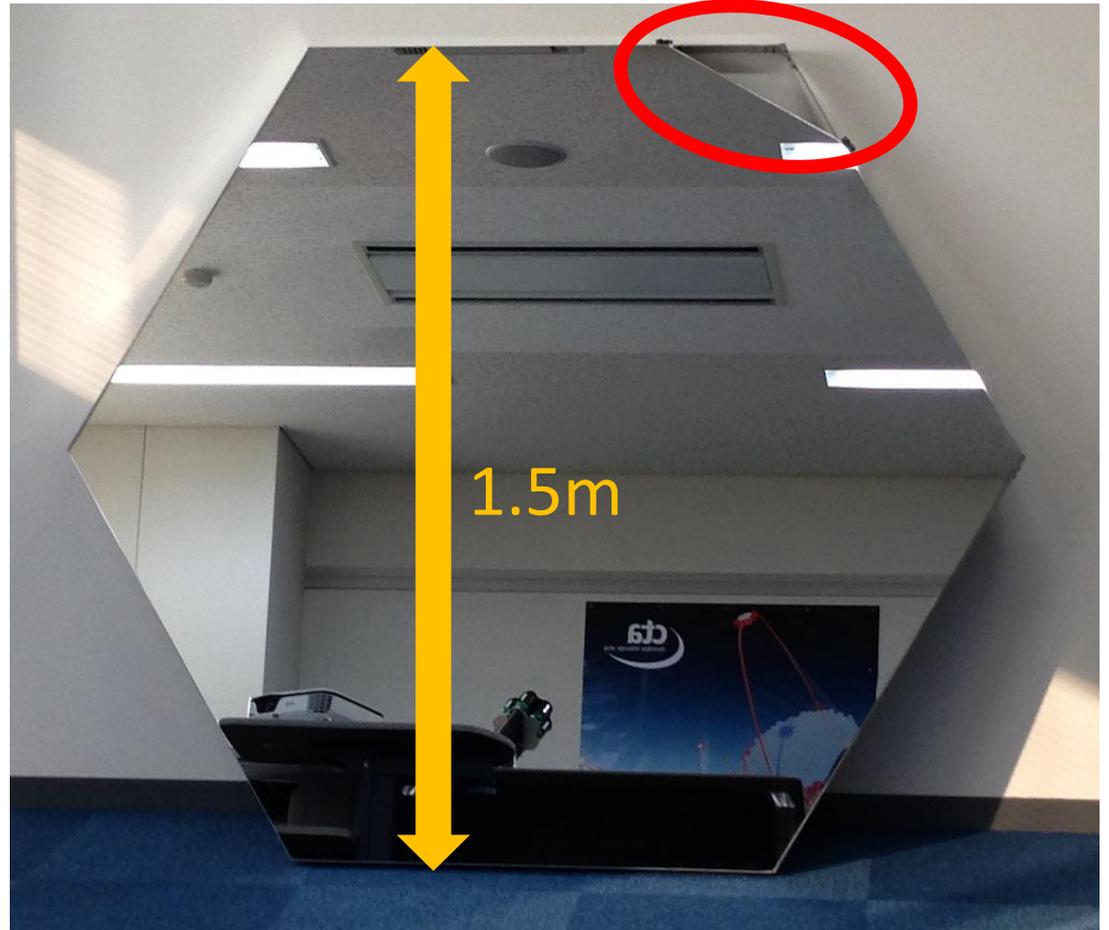
Active Mirror Control (AMC):
構造体の歪みによる分割鏡の光軸のずれを検知し正しい位置に補正するアクチュエータ制御システム



大口径望遠鏡(LST)の分割鏡

- 三光精衡所(筑波支店)共同開発

レーザー取り付け位置



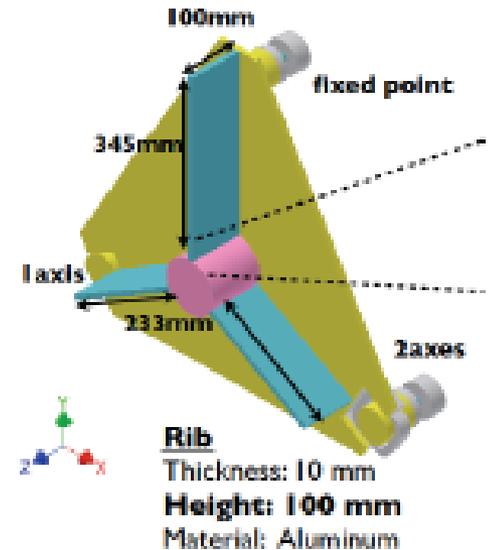
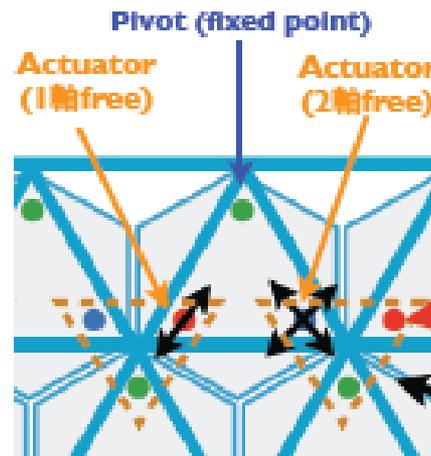
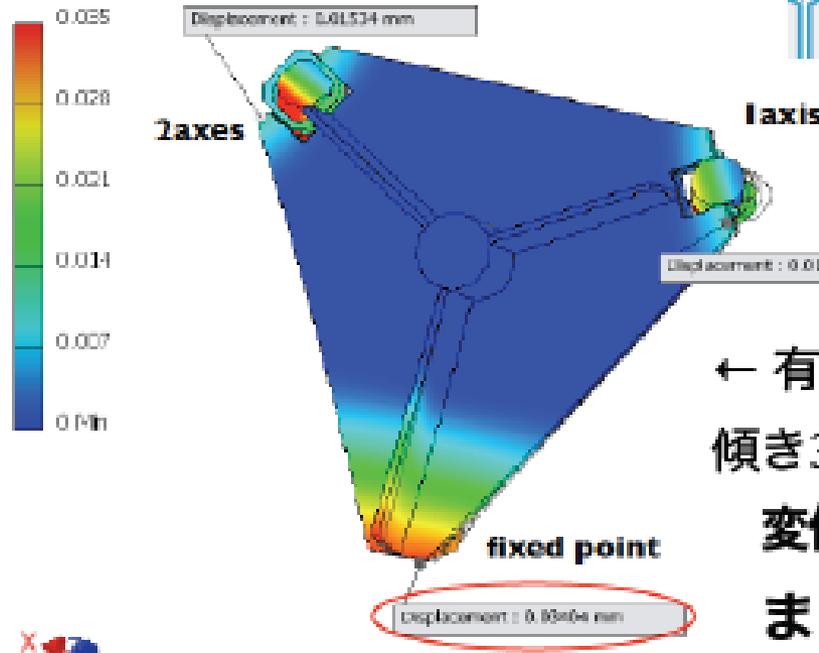
総重量: ~46kg

Mirror Area: 1.96m²

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, 9:26:11 AM



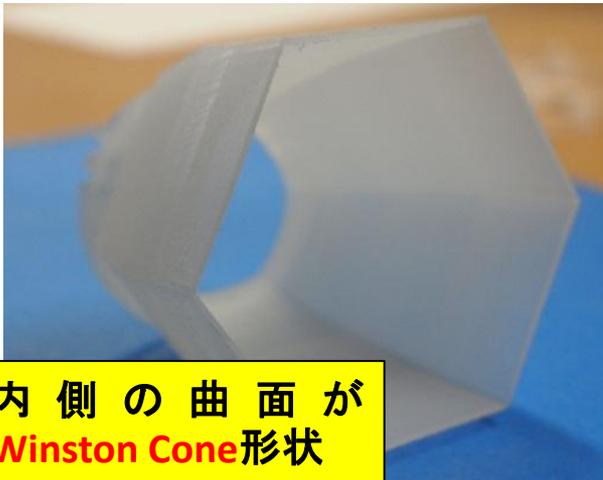
デザイン例

← 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 μ m (必要精度~15 μ m)
まだ工夫が必要だが、達成可能

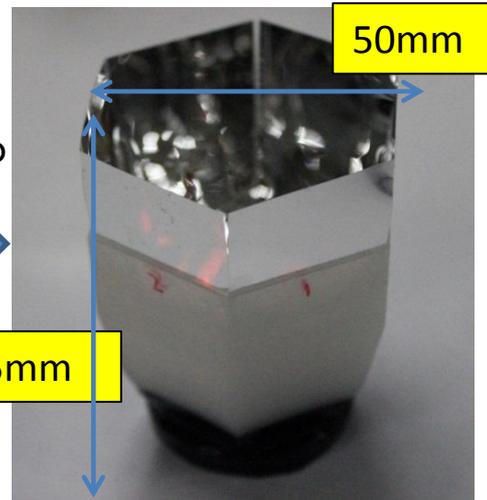


ライトガイドプロトタイプ試作(試作一号)

- PMT光電面には $-1000V$ の高電圧がかかっているため、ライトガイドの材質は絶縁性のプラスチック
- 切削加工で製作



反射材を貼る



反射材: 3M製ESR

～反射材の貼り方～

- ① 接着剤をライトガイド側にヘラで塗布
- ② 反射材を貼り、指で圧着

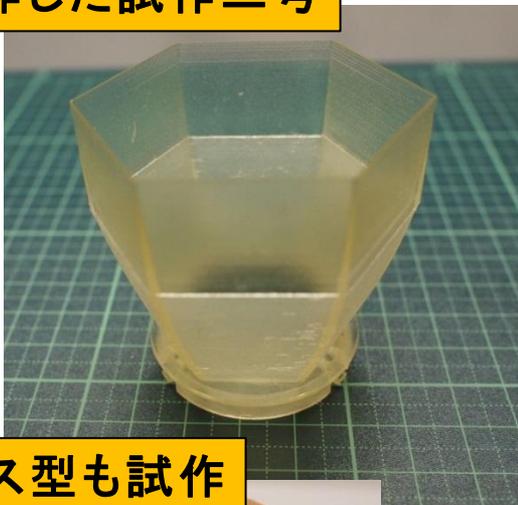


この接着方法では、接着剤が均一な厚さで圧着できておらず、表面がでこぼこしてしまった

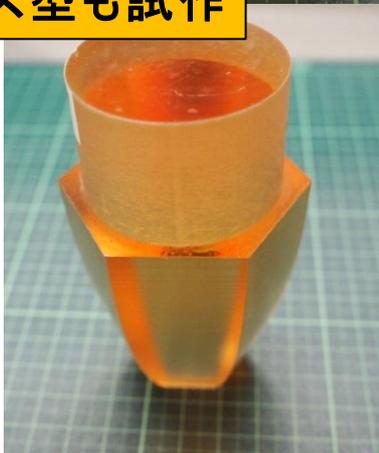
反射材を異なる方法で貼るため試作二号を製作

- 試作二号は3D printer(AGIRISTA-3000)で製作

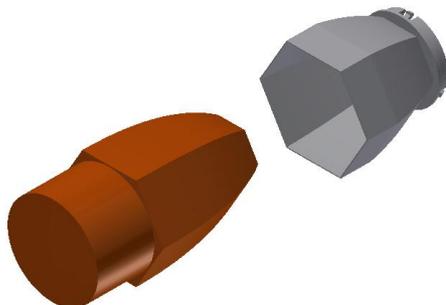
製作した試作二号



オス型も試作



オス型を使用して反射材
(ESR)を貼る



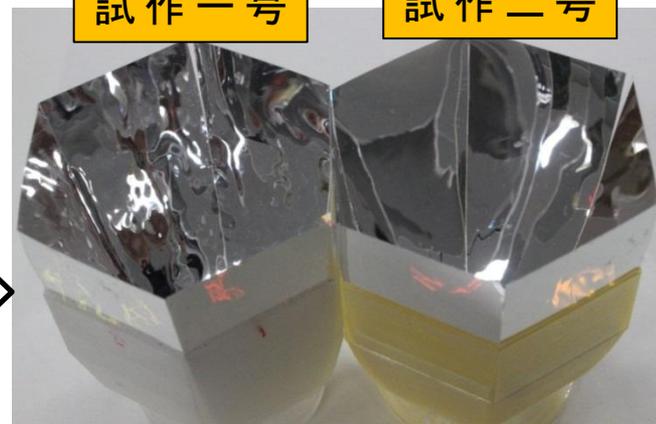
オス型を押し込み、圧着する

オス型で圧着することで、
反射材のでこぼこを
少なくすることができた。
また、この方法は全ての
面を同時に貼ることが
できるため、効率が
良い

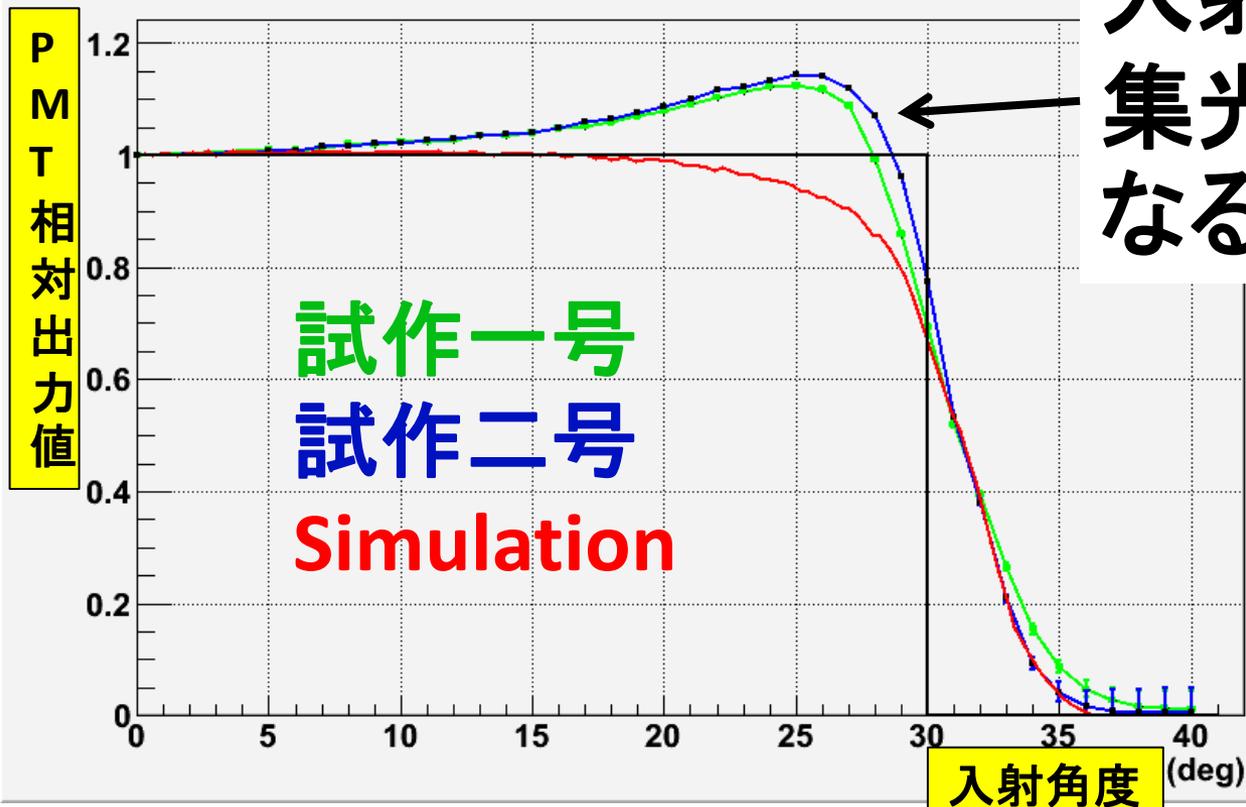


試作一号

試作二号



Relative Collection Efficiency (1@0deg, Phi = 0deg)



入射角が大きいと
集光効率が大きくなる

試作一号
試作二号
Simulation

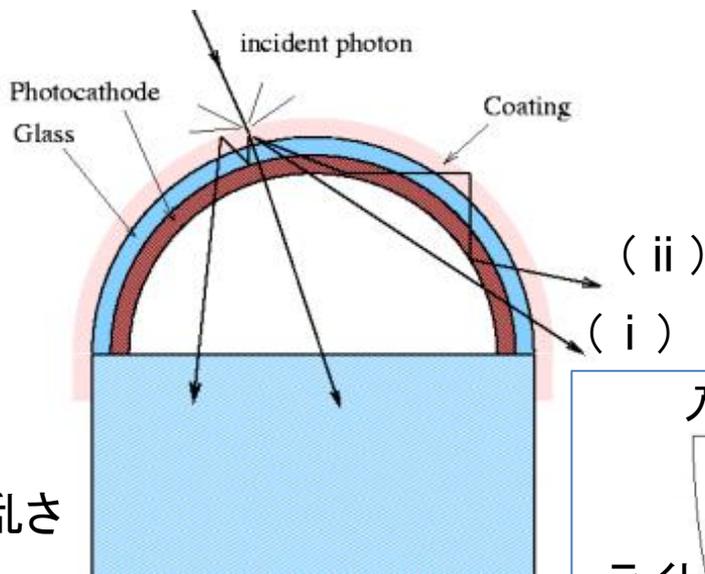
比較すると、試作二号は、

- ・cutoff angle付近の集光率が向上している
- ・cutoff angle以降の光(ノイズとなる光)の集光が抑えられている

⇒オス型を使って反射材を貼ることで、より性能の良いライトガイドを製作することができた

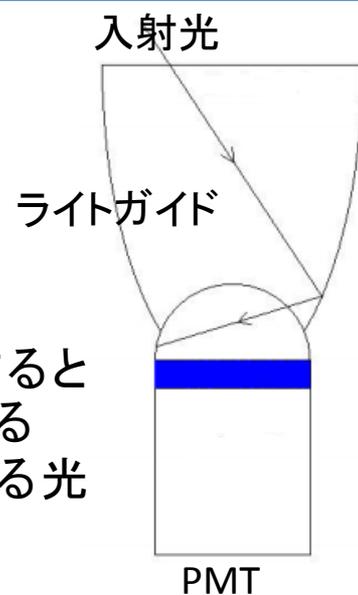
PMT感度が上昇する要因

PMTの断面



(i) 光子の1部光電面を二回通過(double crossing)する

(ii) 光電面で反射したいくつかの光子は散乱されて再び光電面に入射する



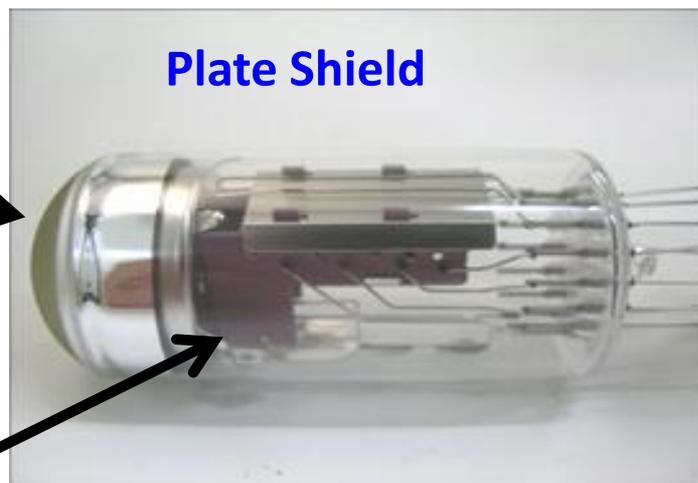
ライトガイドを装着すると
光が大角度で入射する
⇒ double crossingする光
が増加

40φPMT R11920-100-20

量子効率を上げるため管面を球形にし、すりガラス状にした。QE>40%

ダイオードを覆ってノイズを減らした。

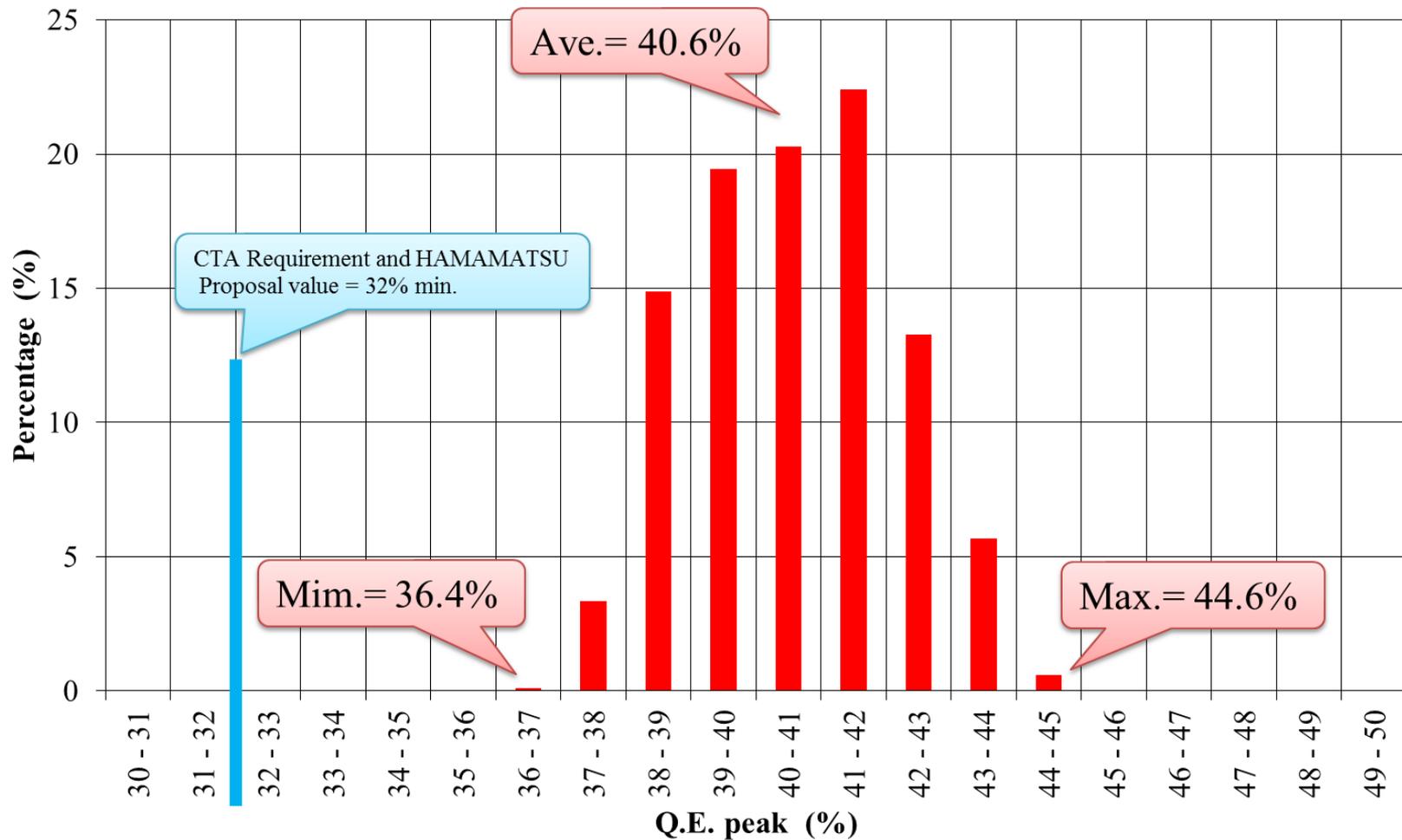
ゲッターを大きくしアフターパルスを0.002%以下にした。



Quantum Efficiency

量子効率40%

R11920-100-20 Q.E. peak Histogram



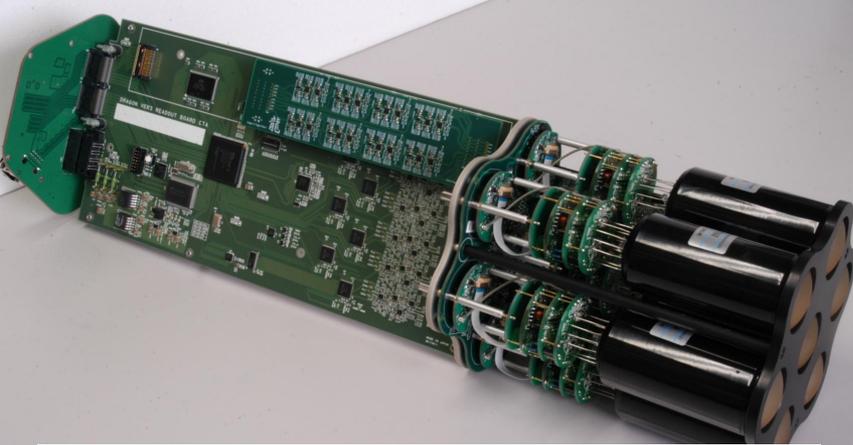
Light Guide

R11920

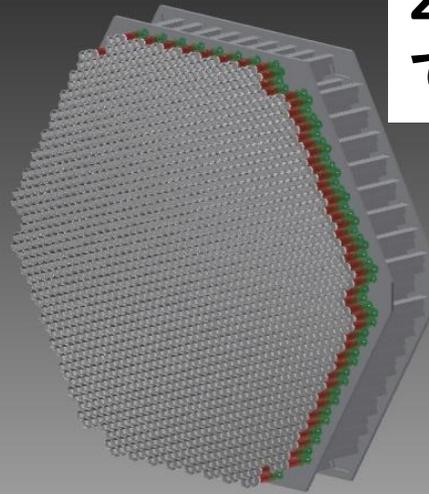
高压电源

前置增幅器





**PMT 7本と Front-end回路
で1クラスターを作る**



**265クラスター=1855PMT
でカメラ1台になる**

**PMT+高圧電源2000本の生産はほぼ終了
前置増幅器の設計完了、年度内に基板の生産**

Front-end回路は設計の最終段階。来年初旬に生産に入る

Dragon ver.3

7 PMTs / cluster
1855 PMTs / telescope
→ 265 clusters / telescope

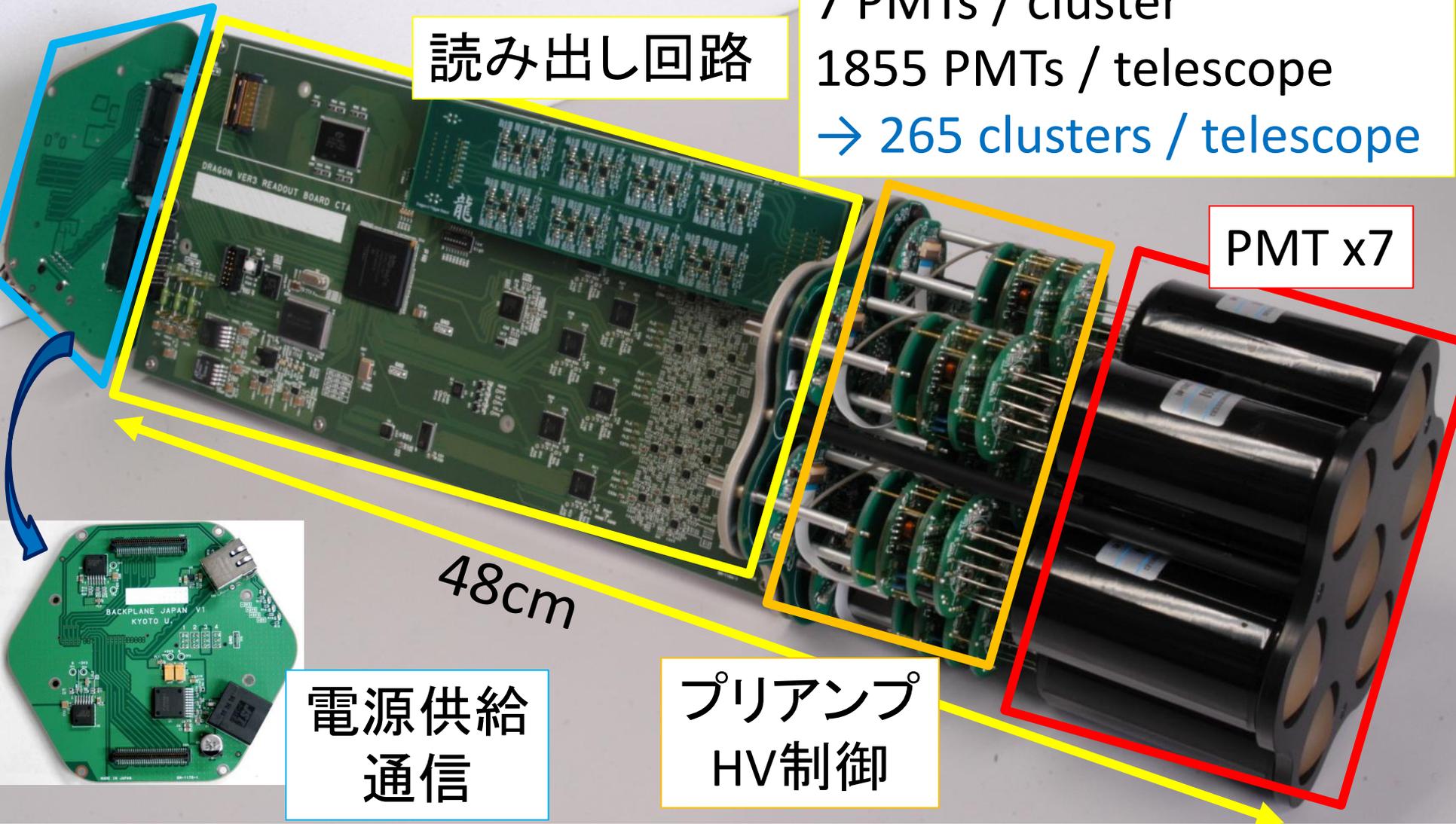
読み出し回路

PMT x7

48cm

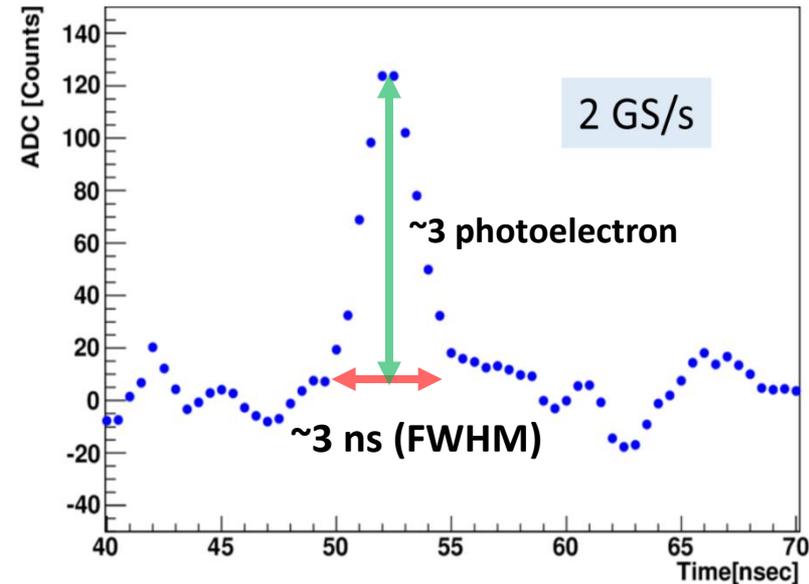
電源供給
通信

プリアンプ
HV制御



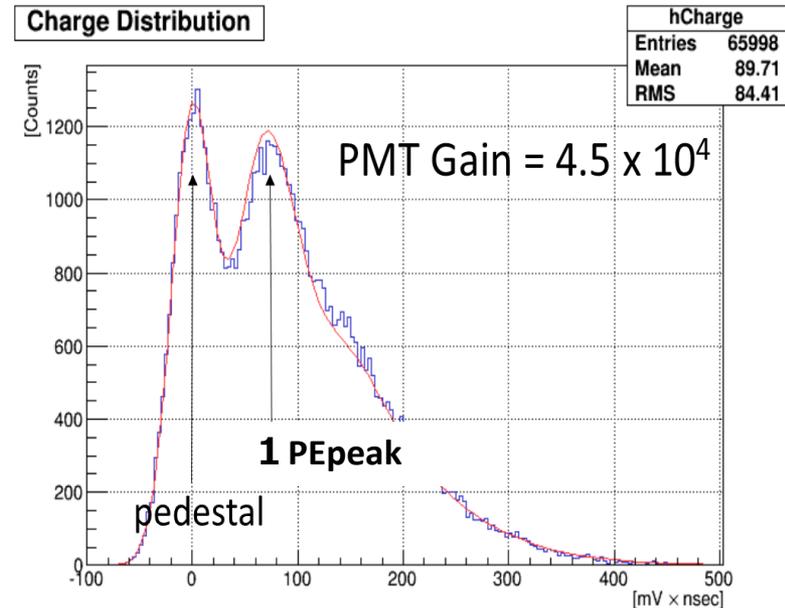
これまでの読み出し基板動作試験

- 波形取得試験(LED光)
 - GAIN 5.0×10^4
 - 2GHzでサンプリング

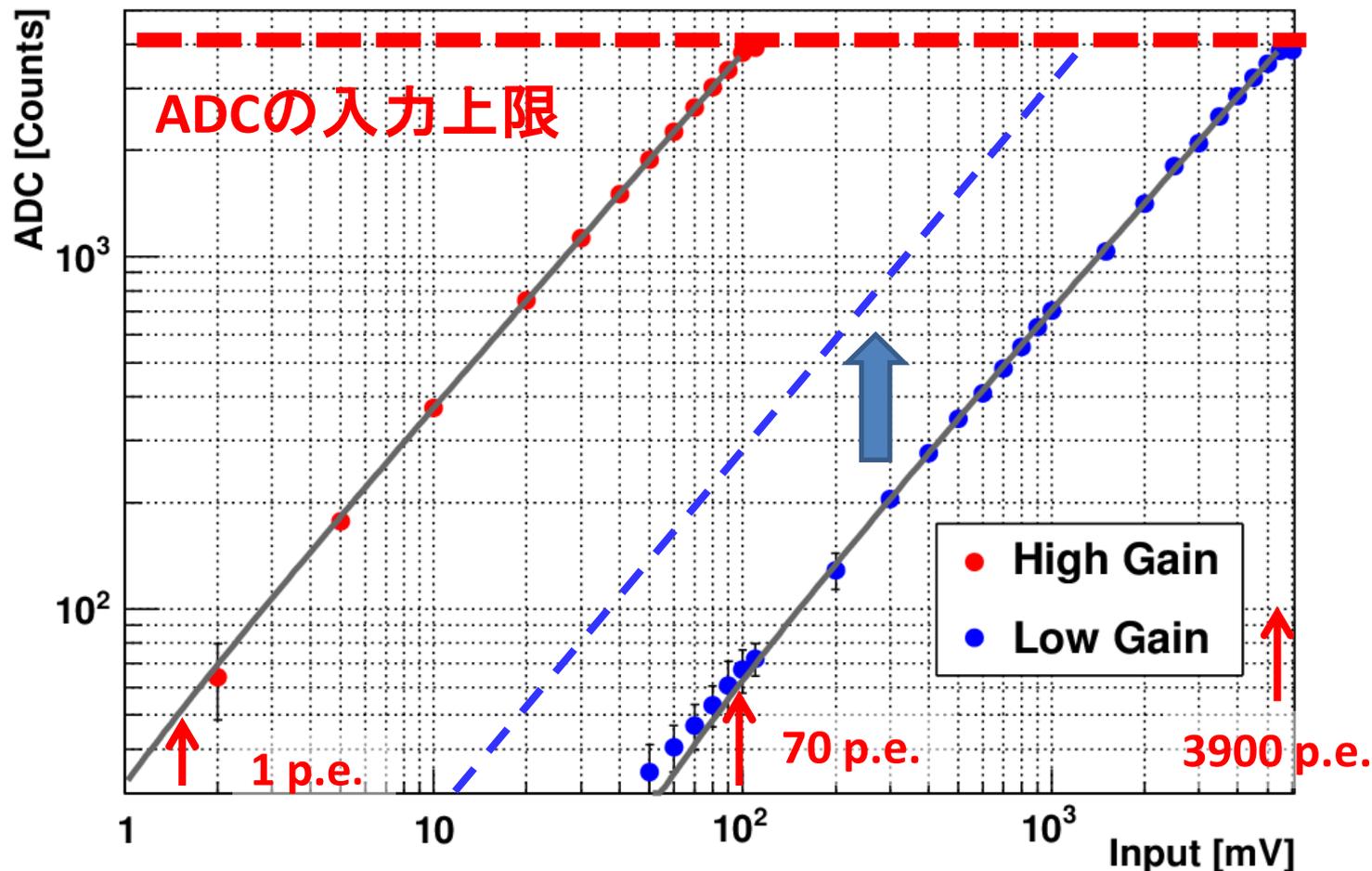


- 1光電子検出試験
 - 1光電子の信号をペDESTALと分離
 - SN比3.5

 基本的な動作を確認



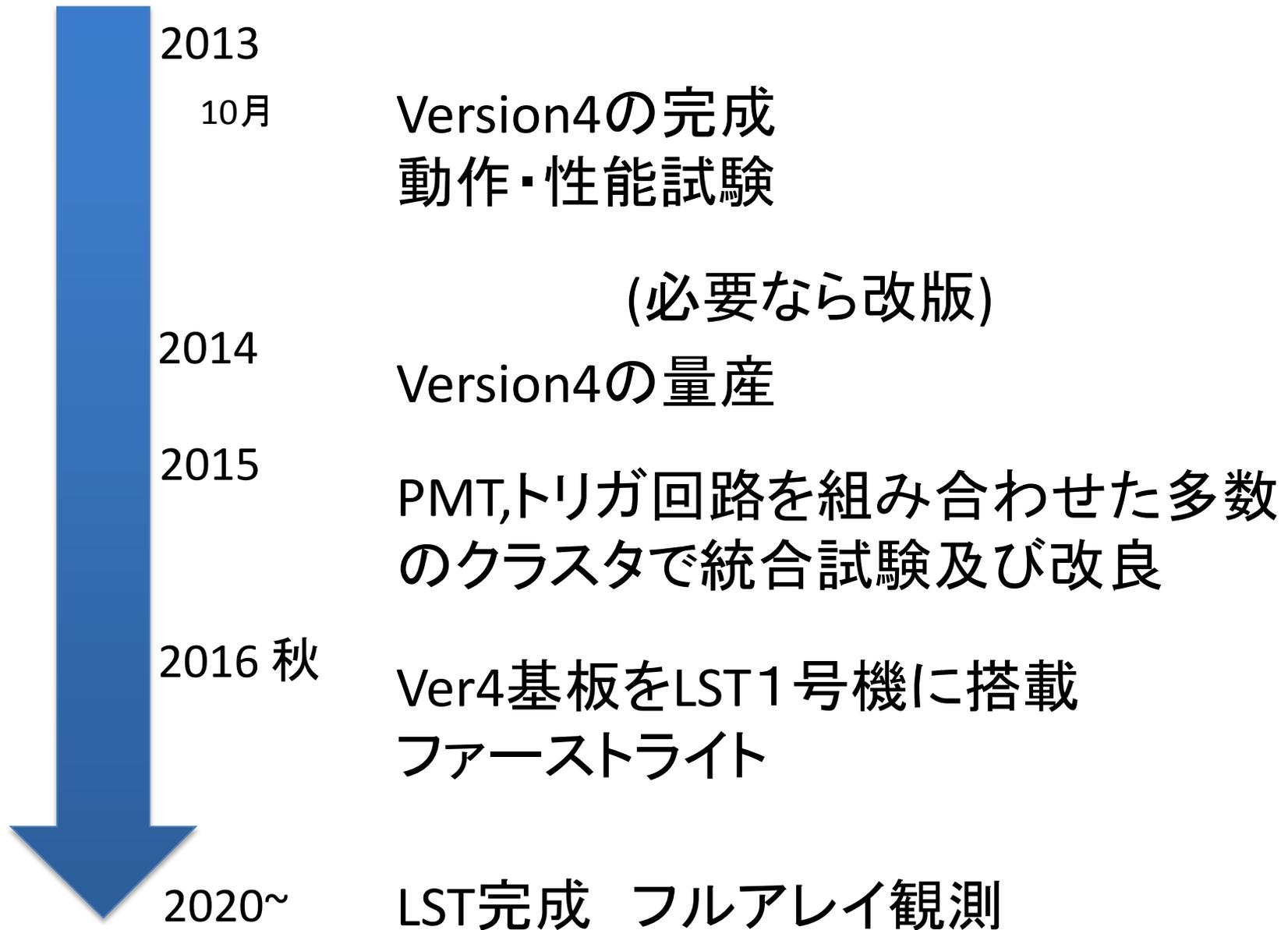
ダイナミックレンジ



要求仕様の変更: 上限3000p.e⇒1000p.e

➤ MSTとのオーバーラップが十分にあるため
メインアンプのLowGainのダイナミックレンジを下げる予定

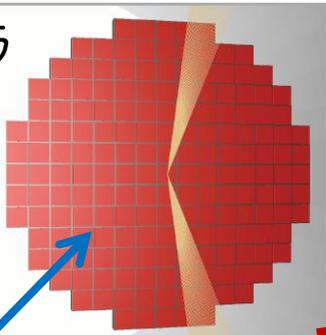
今後の読み出し回路開発スケジュール



MST Schwarzschild-Couder型 (USA+名大)

Focal Plane Camera
w/ 177 MAPMTs

カメラ



Secondary mirror
(D=5.42m)

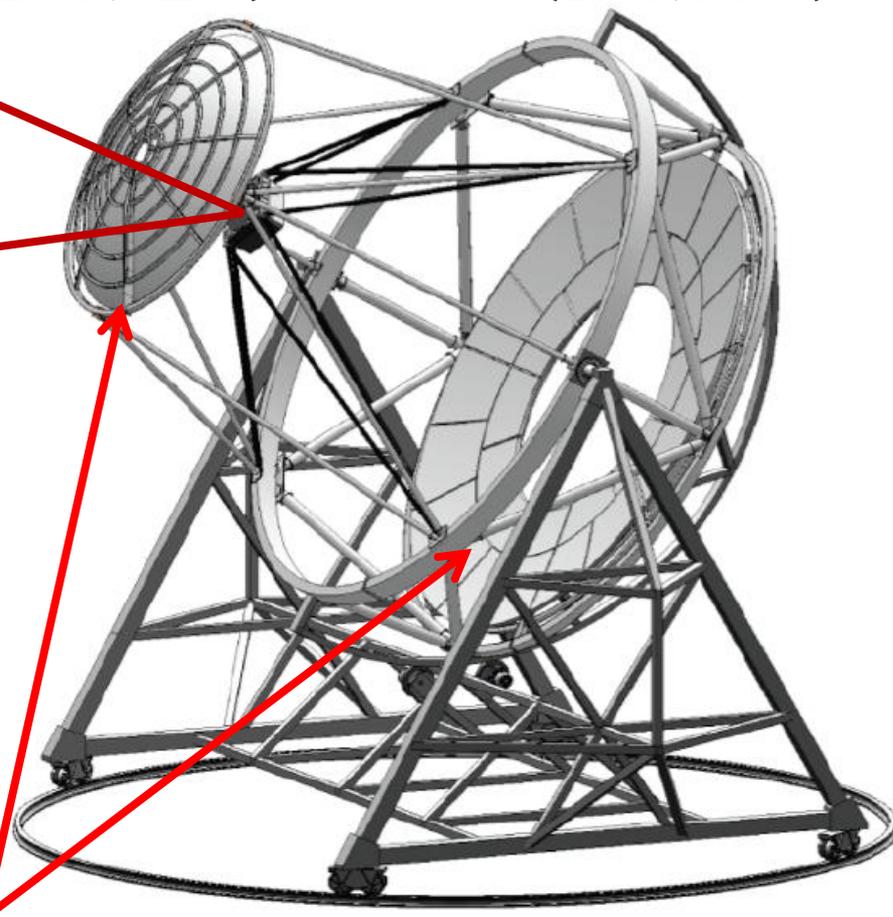
Primary mirror
(D=9.66m)



ASIC開発

プロトタイプ(名大他)

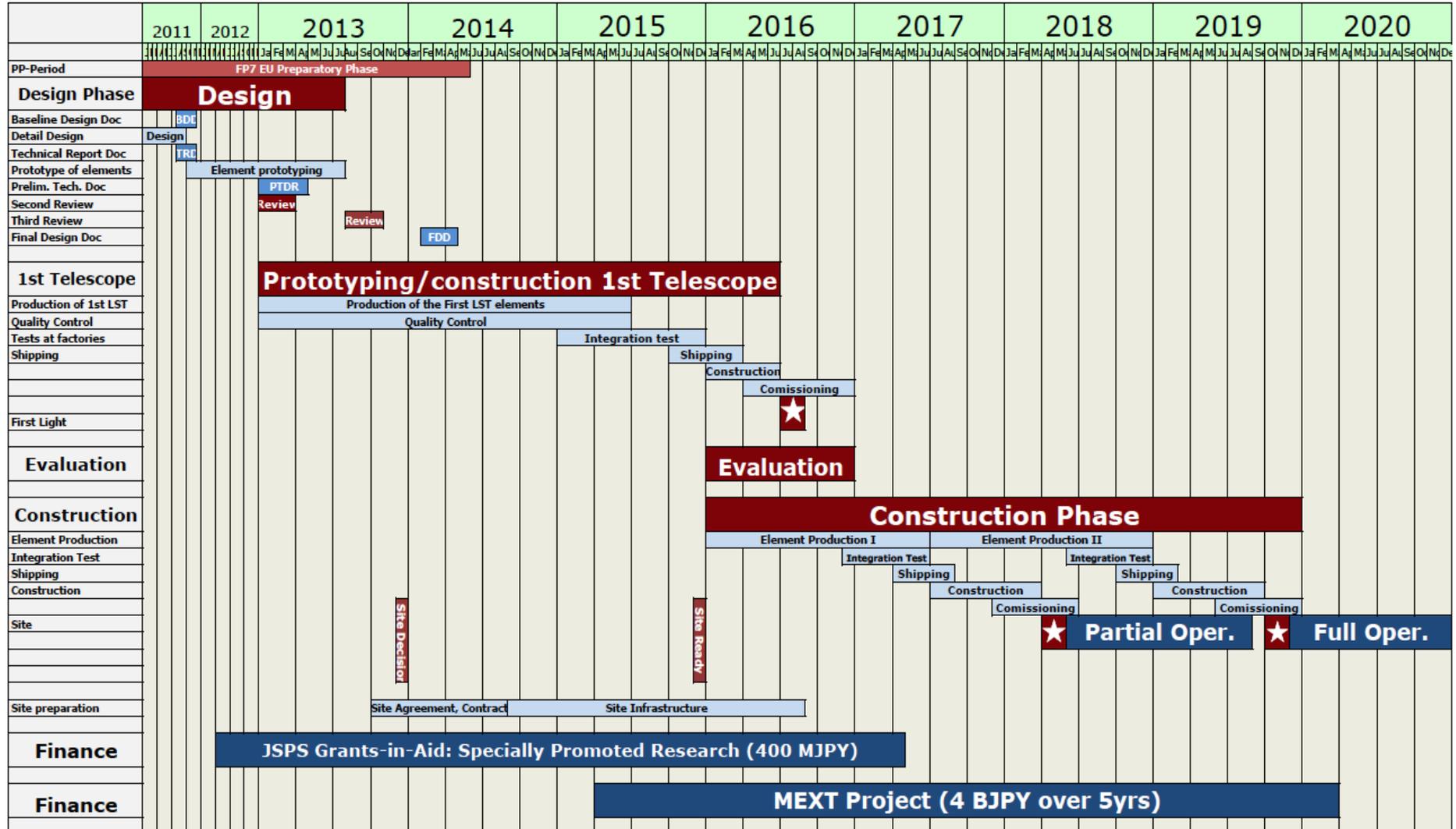
MAPMT/MPPC(Geiger-mode APD)



- 鏡形状設計中
- 鏡方向制御システム開発中

Time Schedule for LST construction

LST construction (Jan 2013)



まとめ

- 大中小望遠鏡それぞれの最初の望遠鏡建設に向けて、開発が進んでいる。
- CTA-JapanはLSTの鏡、カメラの開発、SST-SCカメラの開発を担当
- 鏡の試作とテストが終わりつつある。
- PMTの生産は年度内に終了
- Front-end回路は設計が終わって、生産に移行する
- 2016年度後半に最初の観測を行う