

宇宙線研究所共同利用

研究費 2,250 千円

旅費 3,500 千円

合計 5,750 千円



## CTA 計画開発研究

東京大学・宇宙線研 手嶋政廣  
京都大学・理 窪 秀利  
東京大学・理 戸谷友則  
他CTA Japan Consortium

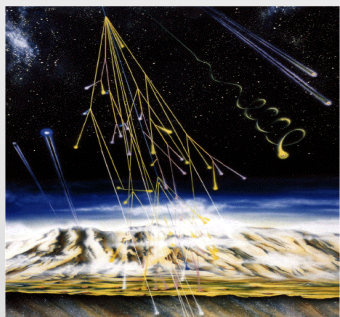


# CTA-Japan (計107名, 院生34名含)

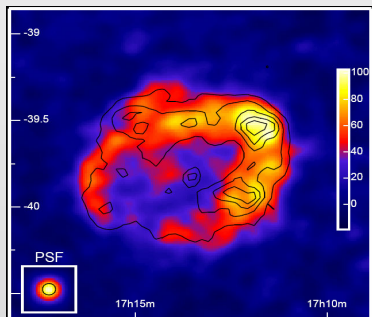
青学大	大平豊、澤田真理、柴田徹、馬場彩、山崎了、吉田篤正	宇宙線研	浅野勝晃、石尾一馬、稻田知大、岩村由樹、井上進、大石理子、大岡秀行、加藤翔、高橋光成、榊直人、田中周太、手嶋政廣、中嶋大輔、野田浩司、林田将明、広谷幸一、深見 哲志、村瀬孔大、吉越貴紀、Daniela Hadasch、Daniel Mazin
茨城大	小野祥弥、加賀谷美佳、片桐秀明、重中茜、長紀仁、本橋大輔、柳田昭平、吉田龍生、Dang Viet Tan	東大天文	川中宣太、戸谷友則
宇宙研	井上芳幸、小山志勇、李兆衡	東大物理	中山和則
大阪大	藤田裕	東北大	當真賢二
北里大	村石浩	徳島大	折戸玲子
京都大	窪秀利、今野裕介、齋藤隆之、田中孝明、谷川俊介、鶴剛、畑中謙一郎、増田 周	名大KMI	松本浩典
近畿大	千川道幸	名大理	佐野栄俊、立原研悟、鳥居和史、早川貴敬、福井康雄、福田達哉、山本宏昭、吉池 智史
熊本大	高橋慶太郎	名大STE	奥村暁、河島孝則、佐藤雄太、田島宏康、日高直哉、山根暢仁
KEK素核研	井岡邦仁、木坂将大、郡和範、田中真伸	広大理	格和純、高橋弘充、深沢泰司
甲南大	猪目祐介、掃部寛隆、岸田柊、高見将太、山本常夏	広大宇宙科学センター	田中康之、水野恒史
国立天文台	井上剛志	宮崎大	森浩二
埼玉大	寺田幸功、永吉勤、松岡俊介	山形大	郡司修一、武田淳希、門叶冬樹、中森健之
東海大	池野祐平、梅津 陽平、櫛田淳子、辻本晋平、友野弥生、西嶋恭司、平井亘、吉田麻佑	山梨学院大	内藤統也、原敏
		理研	長瀧重博
		立教大	内山泰伸
		早大理工	片岡淳

# Cherenkov Telescope Array

## 高エネルギー宇宙ガンマ線 (テラ電子ボルトでの新たな天文学)



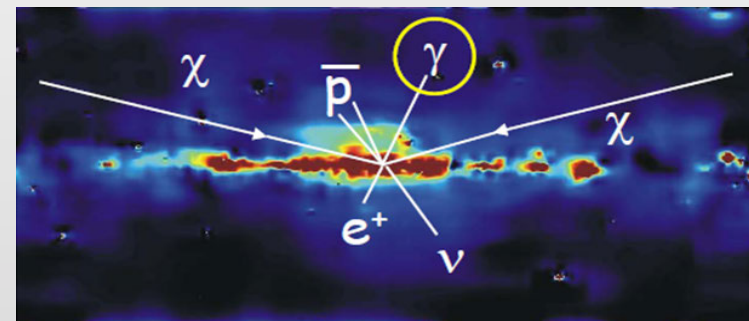
宇宙線の起源



宇宙の巨大加速器

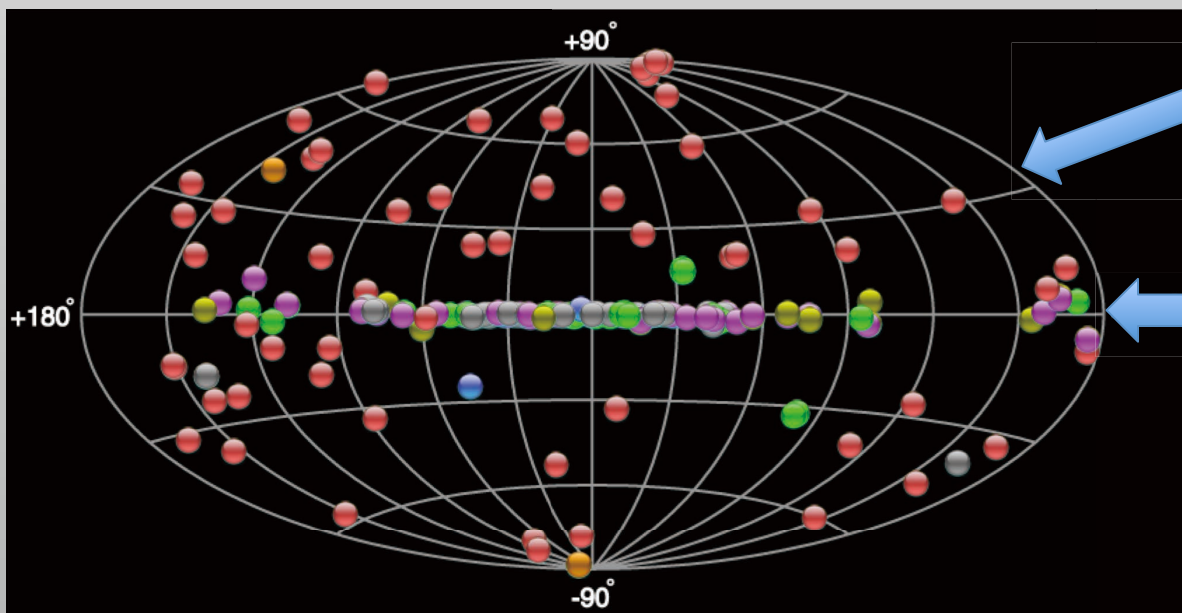


ブラックホールと  
高エネルギー現象

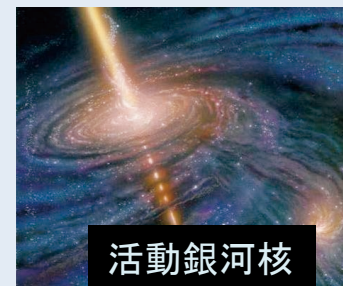


暗黒物質の探索

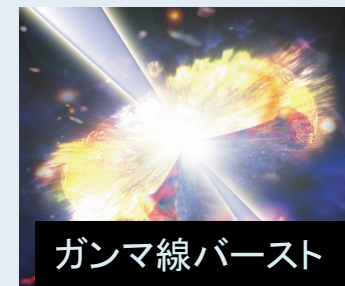
- 宇宙線の起源(宇宙の巨大加速器を探す)
- ブラックホールに伴う宇宙の高エネルギー現象の研究
- 暗黒物質対消滅からのガンマ線の探索



### 系外天体



活動銀河核

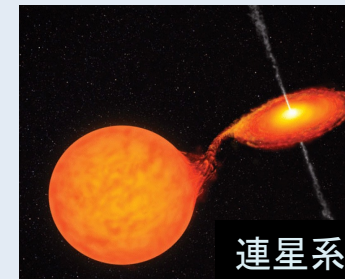


ガンマ線バースト

### 銀河系内天体



超新星残骸



連星系

# CTA 建設計画



- 大型国際共同研究(31カ国1200名)
- 日本からは100名の研究者が参加
- 日本を中心に大口径望遠鏡建設
- 全天観測
  - 北半球アレイ：大(4), 中(15)
  - 南半球アレイ：大(4), 中(25), 小(70)
- 日本の貢献 15% を目指す

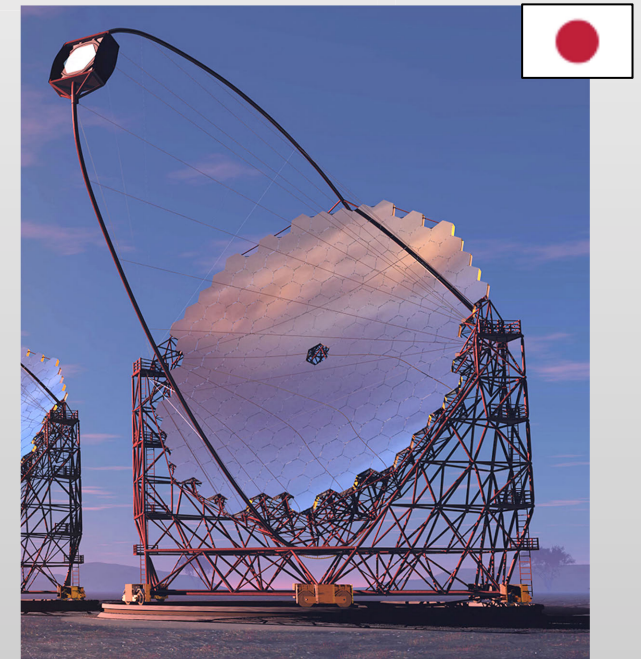
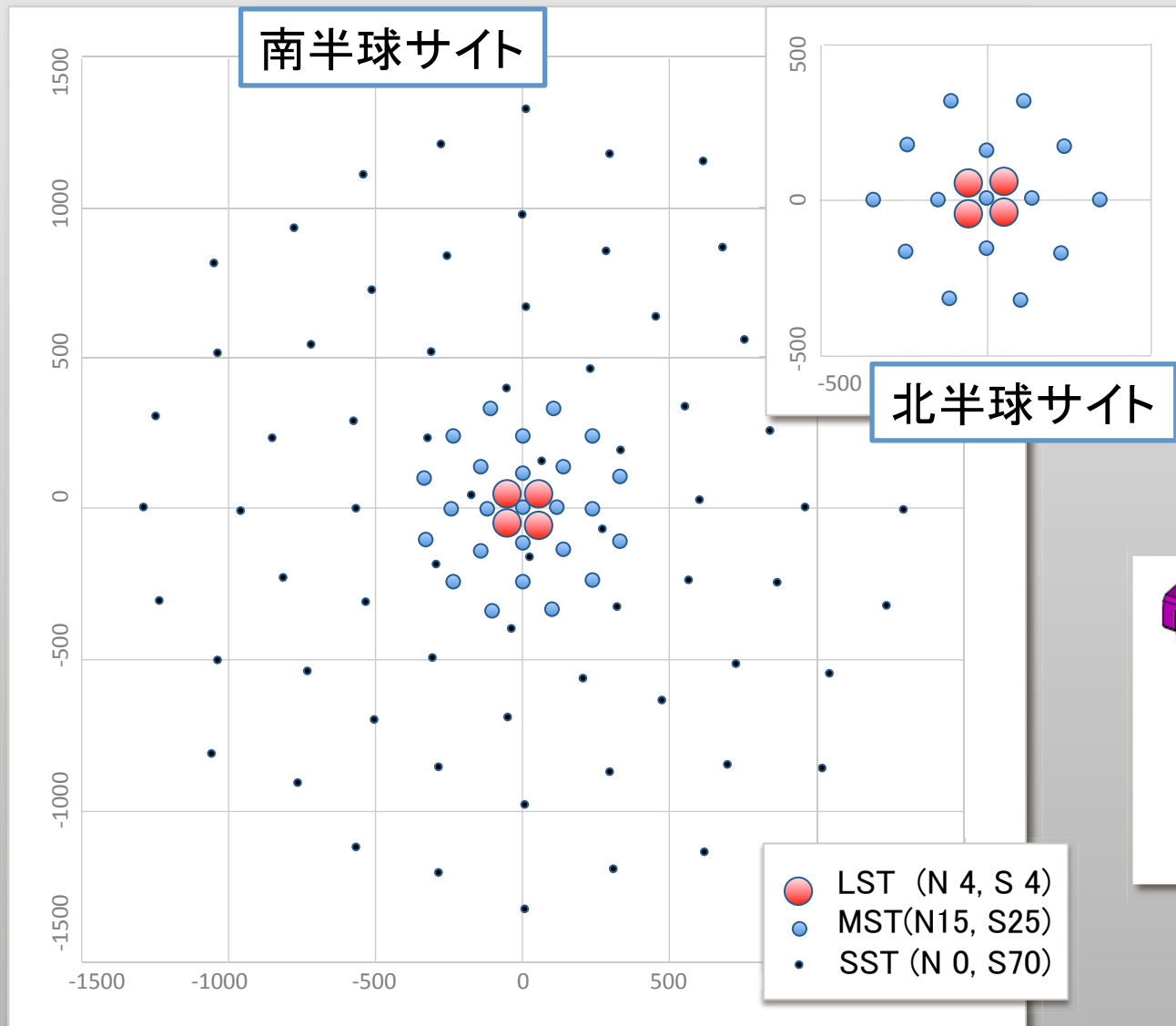
従来の装置(MAGIC, HESS) と比べ

- 感度 10倍
- 角度分解能 3 倍 (1分角)
- エネルギー帯域 10 倍
  - 20GeV-200TeV
- 宇宙論的観測距離 ( $z < 4$ )
- 観測天体数 10 倍以上

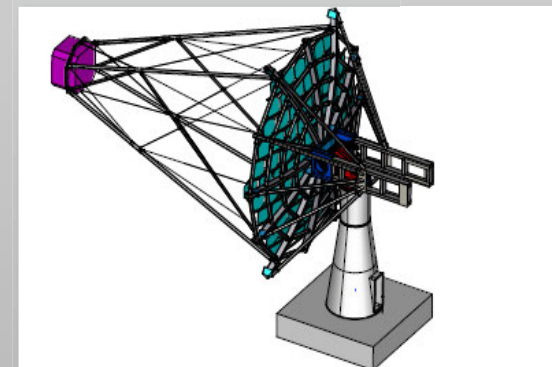


# 計画中のCTA (Cherenkov Telescope Array)

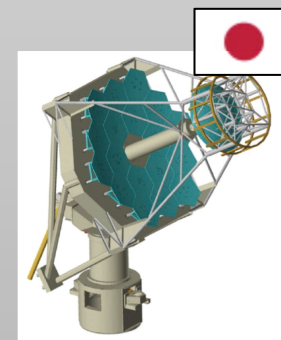
CTA は全天を観測する天文台  
北半球と南半球の2ステーションからなる



LST 23m

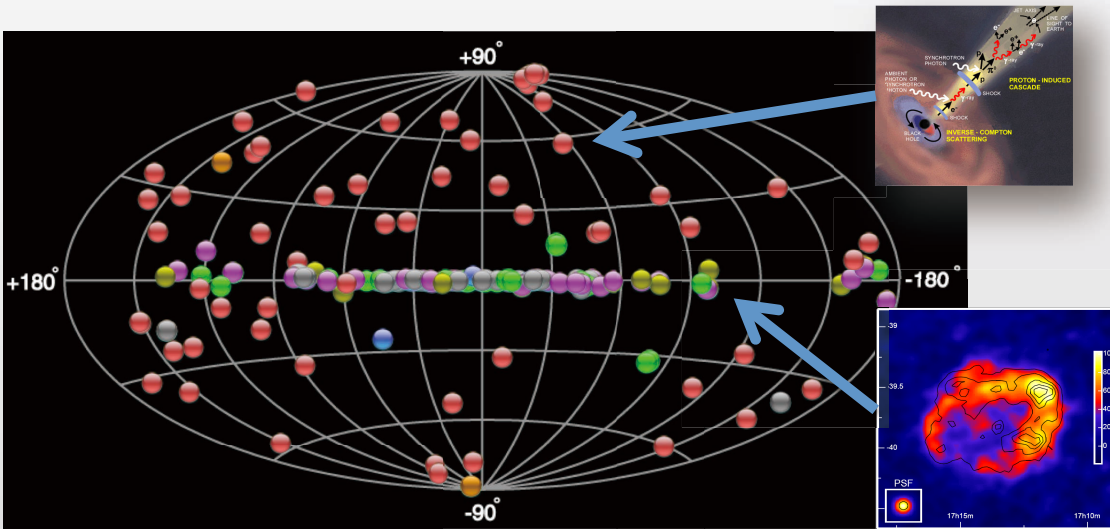


MST 12m

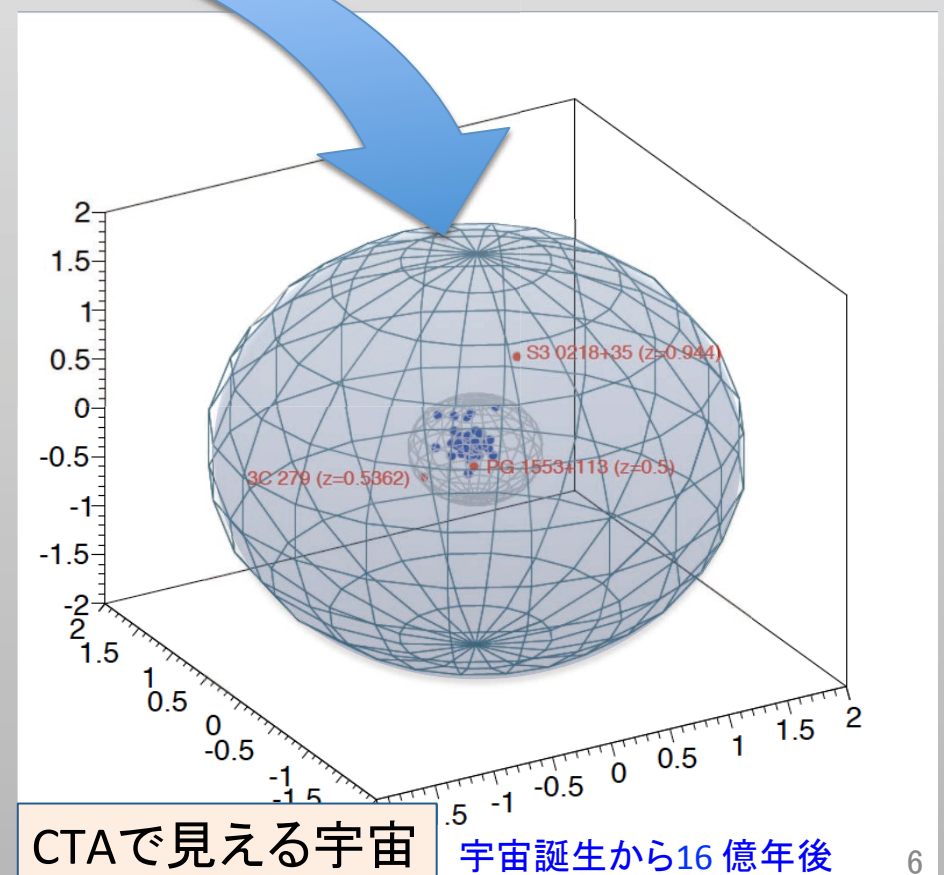
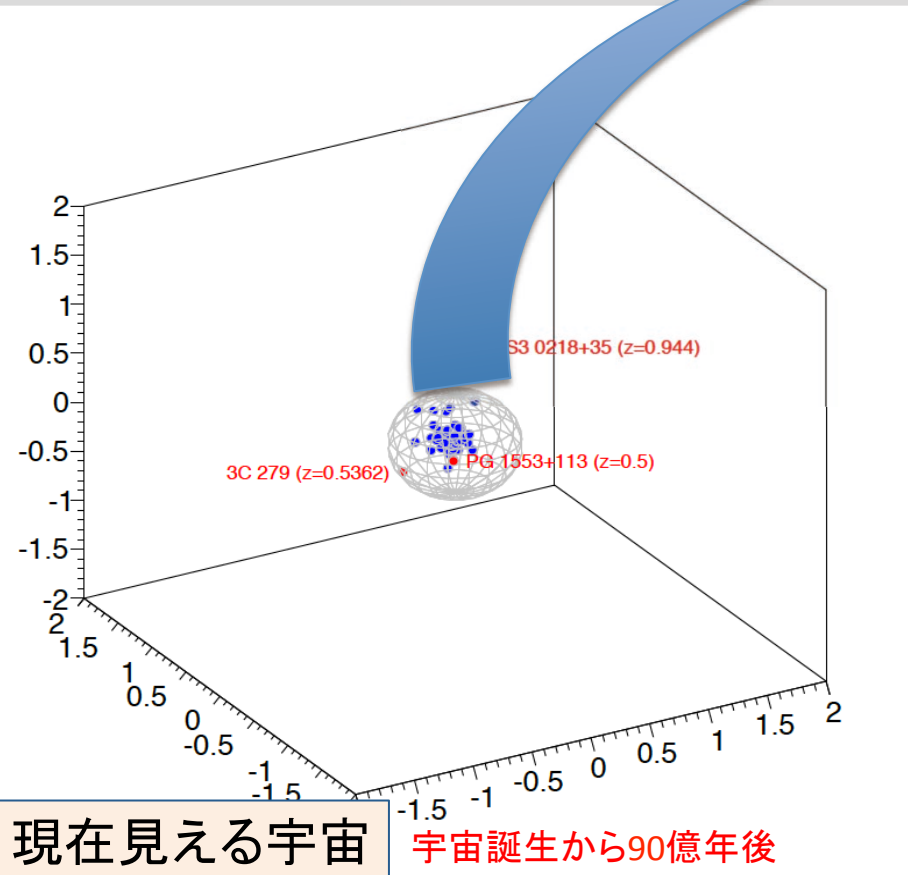


SST 4.3m

# CTA: 究極のサーベイ装置 宇宙初期の天体が観測される 宇宙誕生から16億年後の宇宙



現在～170の天体が観測されている





## ❖ Dual mirror design with small pixel photon sensor

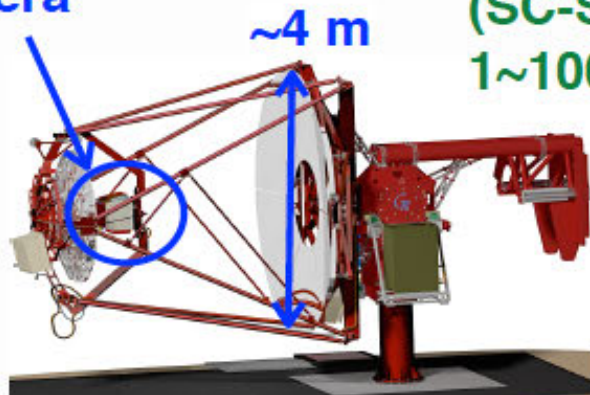
- ❖ Small pixel ( $\sim 6$  mm) photon sensor to reduce camera cost

- ◆ Multi-anode photomultiplier or SiPM
- ◆ High density readout electronics (ASIC)

- ❖ Schwarzschild-Couder (SC) optics

- ◆ Short focal length to realize small plate scale
  - Technically challenging
- ◆ Large field of view
  - Longer telescope spacing (larger collection area)

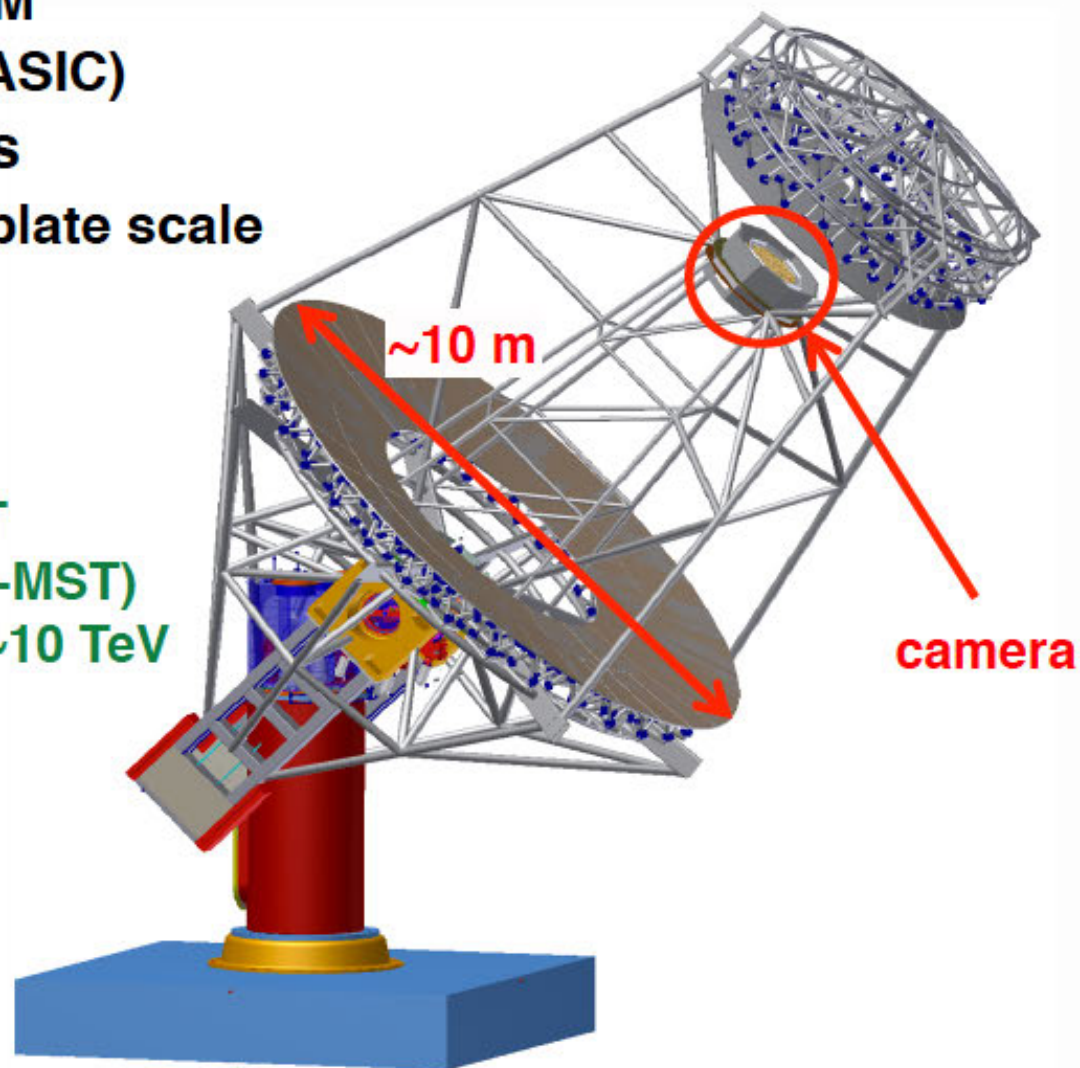
camera



$\sim 4$  m

GCT  
(SC-SST)  
1~100 TeV

SCT  
(SC-MST)  
0.1~10 TeV

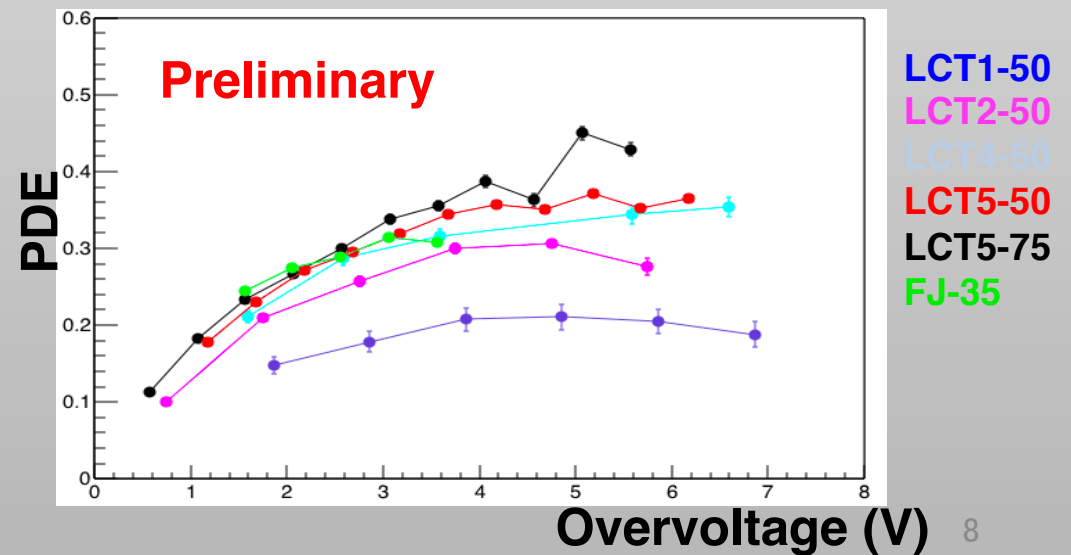
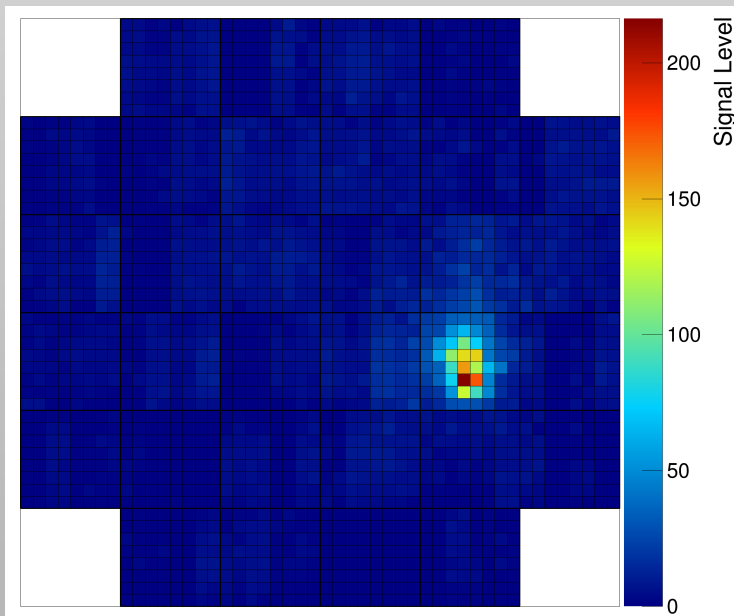
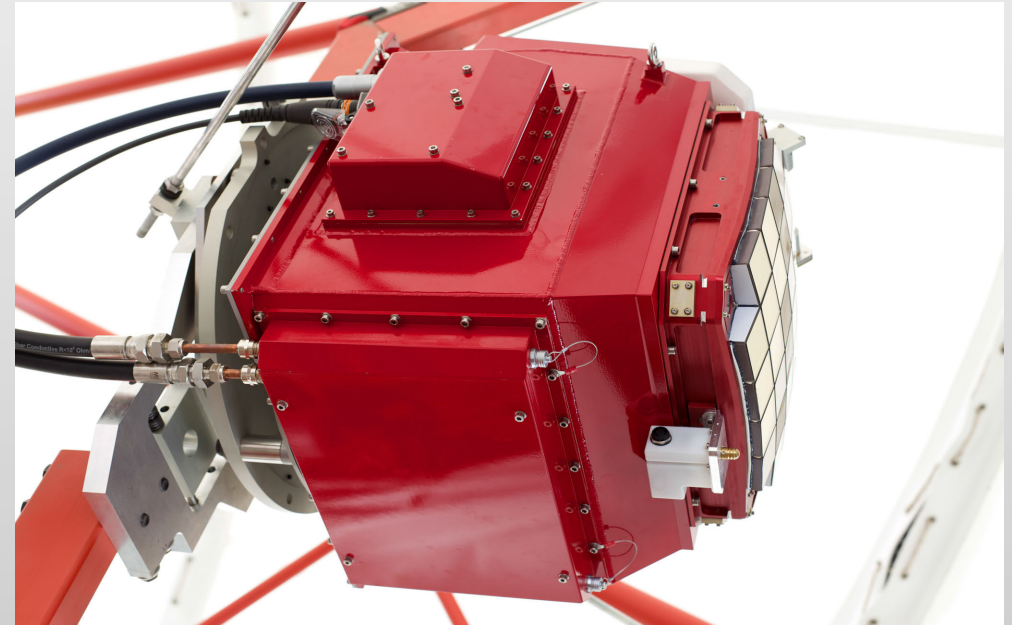


$\sim 10$  m

camera

# SST: GCT Inauguration

## 名大グループ, FrontEnd Elec, Software





# 大口径望遠鏡：国際チーム

ドイツ(40), スペイン(82), フランス(21), イタリア(28), 日本(60),  
ブラジル, スイス, インド, スウェーデン, クロアチア

FPI/Elec (日、伊)  
Camera body (西)

CSS (仏、伊)

Flywheel, UPS (独、西)  
Comp. (独、伊)



## 望遠鏡主要パラメーター

口径	23m
望遠鏡重量	100トン
高速回転	180°/20秒
追尾精度	14秒角

MIR (日)

Interface PL (独、伯、日)

Actuator (日、瑞)

CMOS-Cam (独、日)

StarGuider (瑞典)

CalibBox (印、伊)

Structure (独)

Access Tower (独)

Drive (独/仏/西)

Bogie (独/西)

Rail (独/西)

Found. (独/西)

# CTA LST-1 進捗状況

- 2015 March ICRR-IAC 覚書、LST 覚書
  - LST 1 号基 La Palma 建設の手続き完了
  - 地盤調査完了
  - 現地政府に建設許可申請中
- 2015 March ラパルマ・スペイン 宇宙線研究所海外研究拠点化
  - 宇宙線研究所共同利用
- 2015 April 16-17 LST External Engineering Review
  - 外部のエンジニアによる最終デザイン確認
- 2015 June 24-26 Critical Design Review
- 2015 July, MPI 望遠鏡構造体を発注
- 2015 July 15-16 Resource Board Meeting
  - 北サイト Spain La Palma, 南サイト Chile Paranal ----- LST-1 建設が容易
  - 日本(東京大学) CTAO 法人に正式参加 (2%貢献→将来15%へ拡張)
- 2015 Oct 9 CTA LST-1 着工記念式 La Palma

# LST-IAC MoU の調印 March 2015

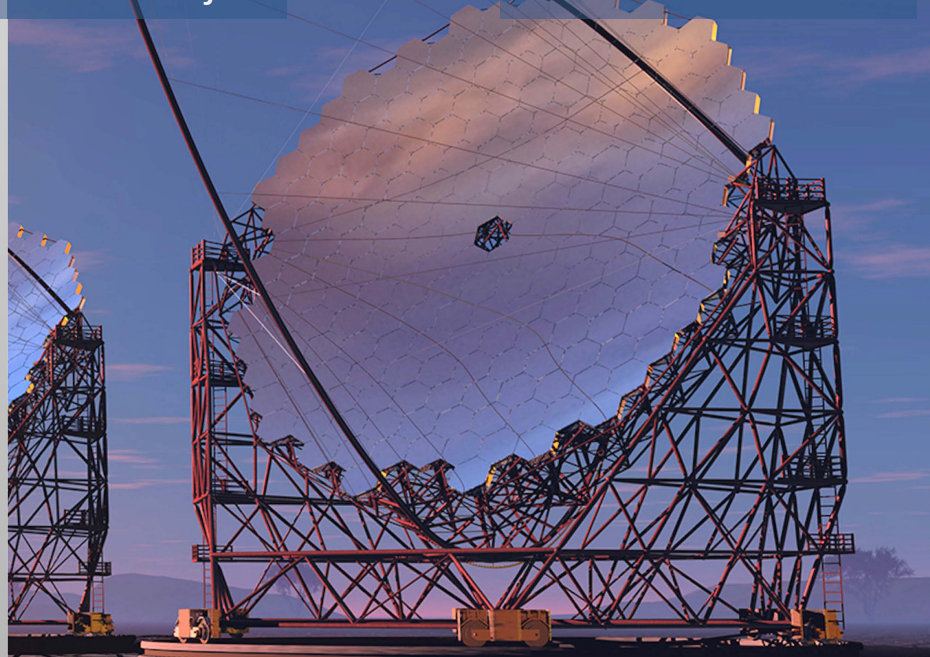
## 東大宇宙線研究所ーカナリー宇宙物理研究所



ICRR Director  
Prof. Takaaki Kajita



IAC Director  
Prof. Rafael Rebolo



**AGREEMENT**  
**BETWEEN THE**  
**CTA-LST COLLABORATION**  
**AND THE**  
**INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE**  
**CANARIAS**  
**ON THE INSTALLATION AND THE OPERATION**  
**OF**  
**A CTA-LST PROTOTYPE**  
**CHERENKOV TELESCOPE**  
**AT THE**  
**ROQUE DE LOS MUCHACHOS**  
**OBSERVATORY**

Signed in six copies, two in English, two in Spanish and two in Japanese, each of them having the same authority, on March 12<sup>th</sup>, 2015.

Signed for the Instituto de Astrofísica de Canarias, by the Director, Professor Rafael Rebolo.

Signed for the Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, by the Director, Professor Takaaki Kajita.

# The corner stone ceremony at RMO La Palma 2015 Oct

Many politicians and MT



IAC Director Rafael Rebolo



These include the study of the origin of cosmic rays and their impact on the constituents of the Universe and the study of the ultimate nature of matter and physics beyond the Standard Model, searching for dark matter and effects of quantum gravity.

Prof. Takaaki Kajita  
ICRR Director



## Los Cherenkov, la gran llave para despejar los enigmas del Universo

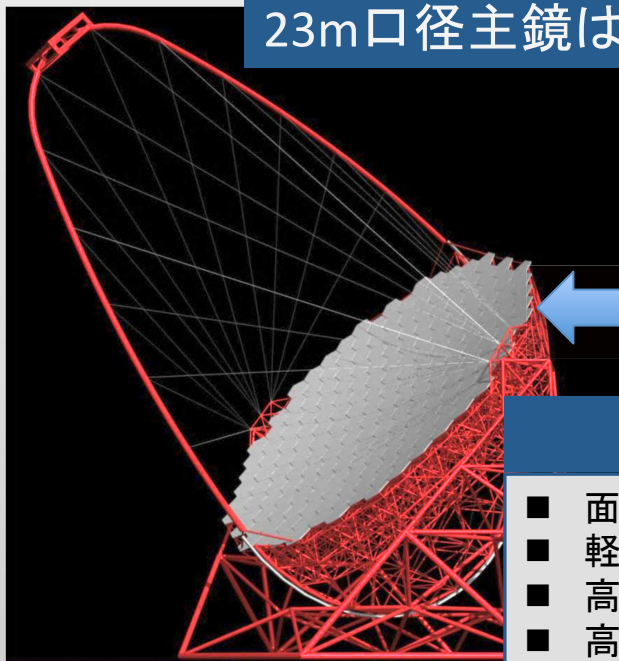
La hoja de ruta de 31 países para construir 20 telescopios de rayos gamma se inicia en **El Roque** con la colocación de la **primera piedra** del prototipo del LST



# 日本の分担

## 1510mm ミラー, 能動的光学補償

23m口径主鏡は200枚の分割鏡からなる

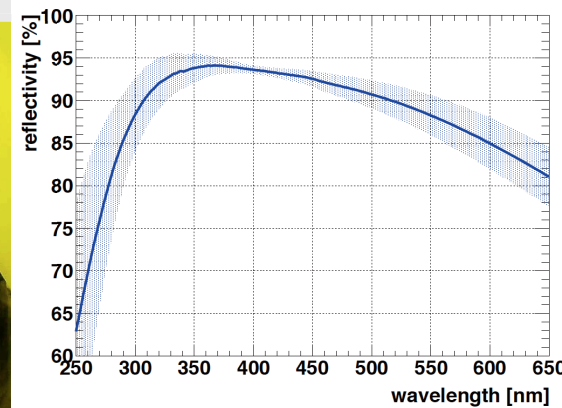


### ミラー諸元

- 面積 2m<sup>2</sup>
- 軽量化 47kg
- 高耐候性 >10年以上
- 高反射率 >93%
- 多層膜コート



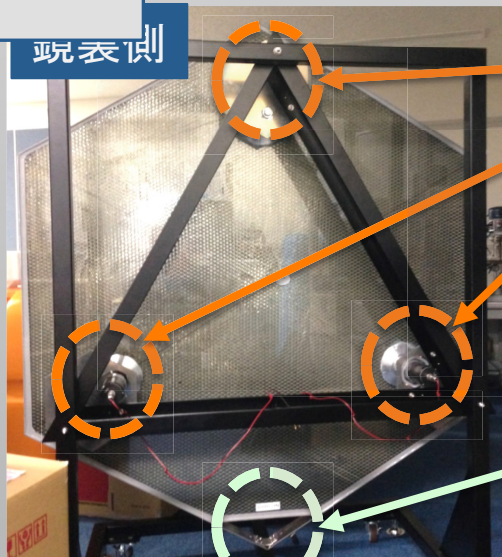
40枚製作完了  
90枚製作中



### 能動的ミラー制御

- 防水型 CMOS Camera で鏡方向を±5秒角で読み出す
- アクチュエーターにより、分割鏡の方向を±5秒角で制御し、主鏡のたわみを補正する

観表側



### アクチュエーター



200 units 製作完了  
ソフトウェア開発中

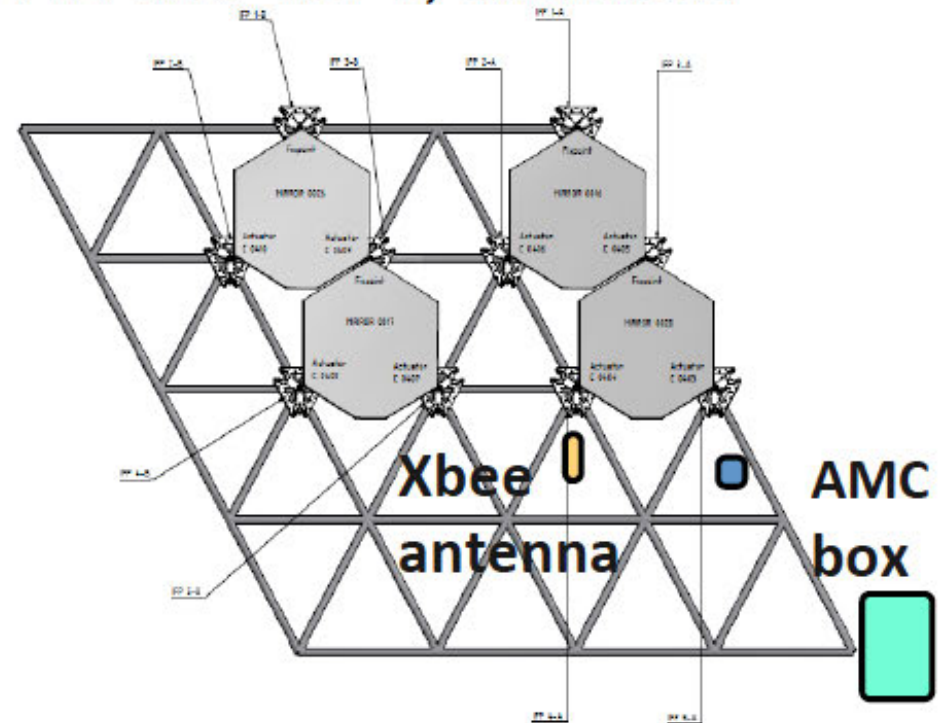
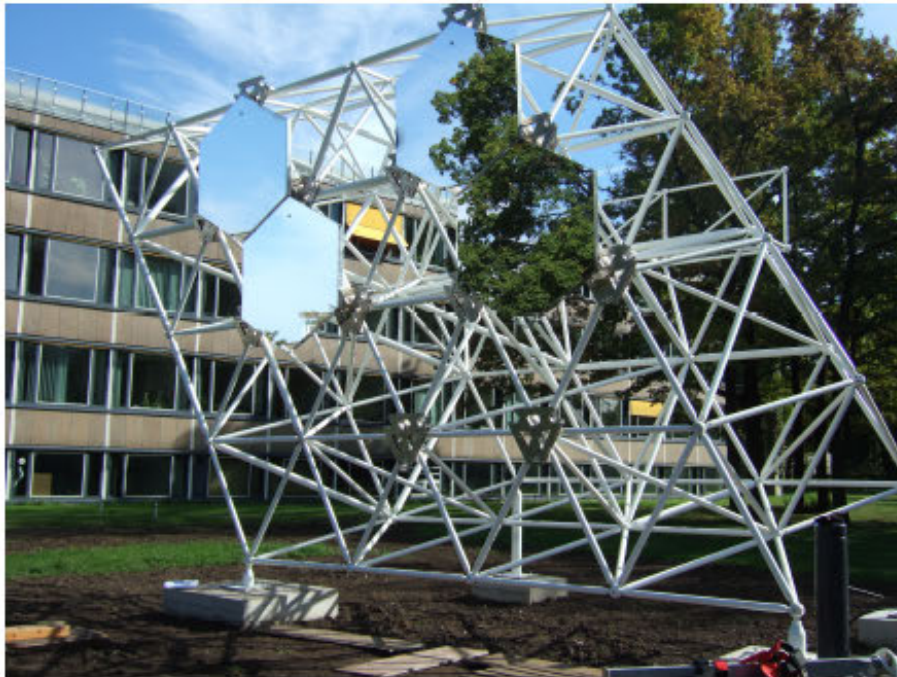
### 防水型 CMOS Camera



防水型Cameraを開発完了  
ソフトウェア開発中

# LST test structure (Fukami, Noda)

1/8 dish section at garden in the MPI, Munich



continuous remote monitoring are implemented by Japanese Students (Fukami)

- The temperature and humidity inside the box
  - CMOS camera
  - actuators communication
- (every 15min-1hour)

# 分割鏡用コンテナ

## 保管、較正、運送

- 5枚の分割鏡／コンテナ
- 3点支持(鏡に無駄な応力を与えない)

- 鉄パイプ構造(コンパクト、軽量、経済的)
- Mirrors ~240kg, Crate ~200kg

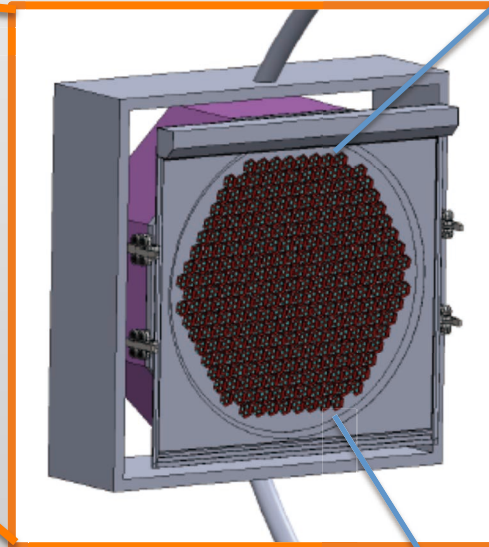
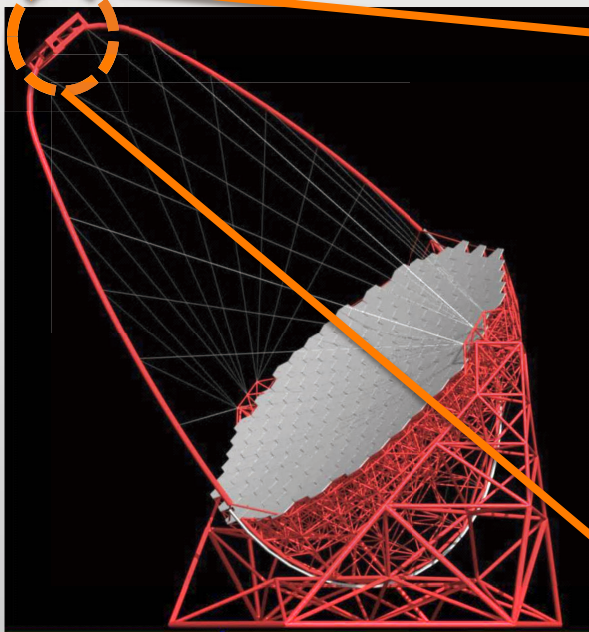


x 40 分割鏡生産済み, x 90 分割鏡を生産中

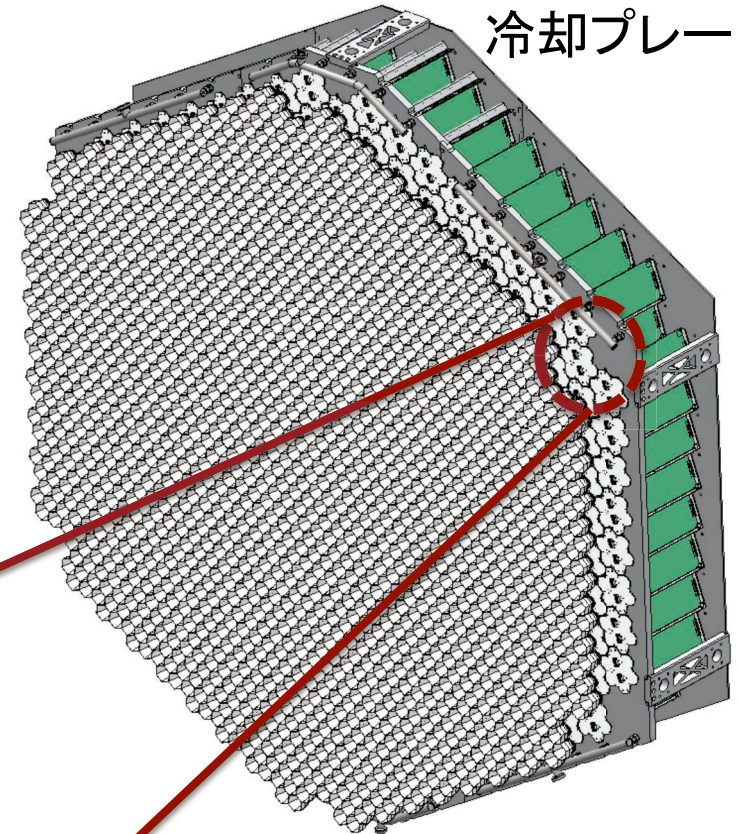
# 日本の分担

## 光センサー、読み出し電子回路

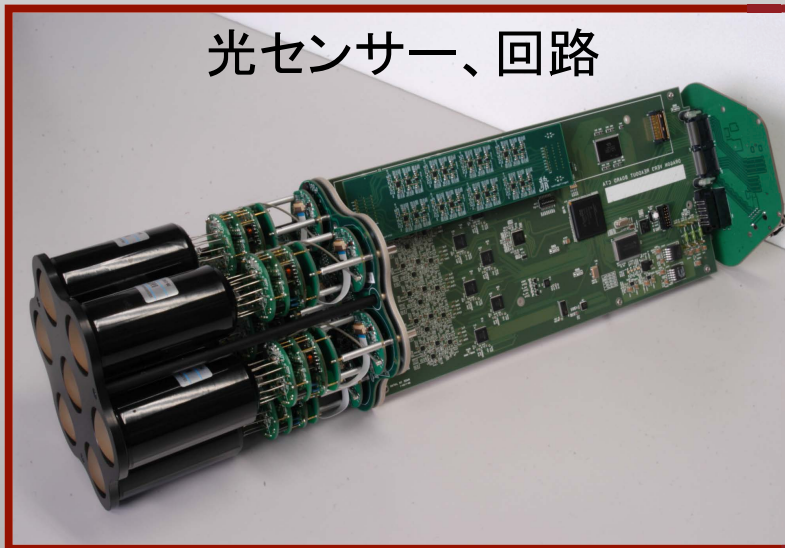
望遠鏡先端部にカメラボックス



冷却プレート



光センサー、回路

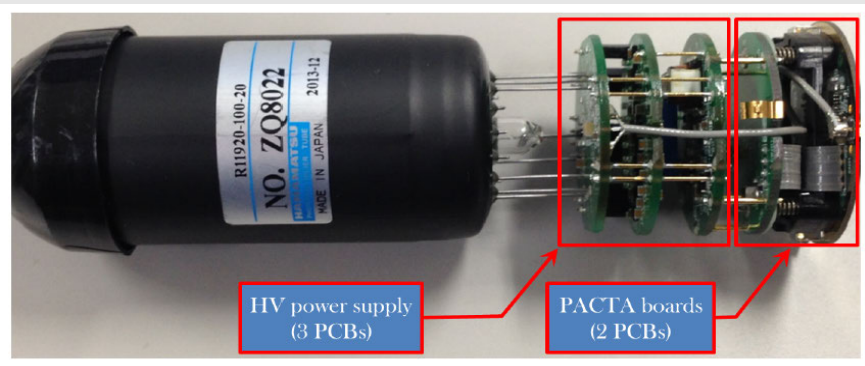


2000本の光電子増倍管  
2000ch 読み出し回路

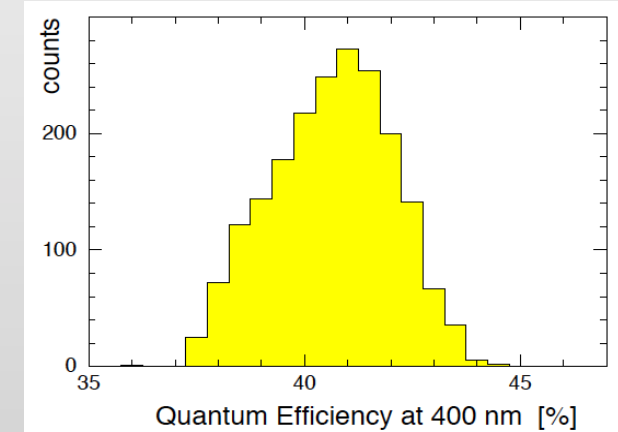
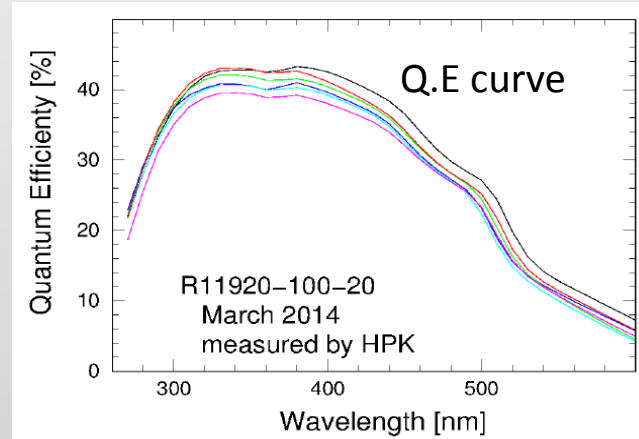


# PMT モジュール量産、較正

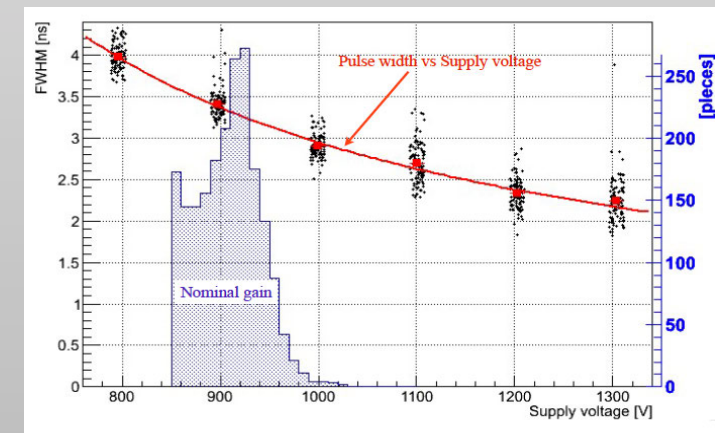
## PMT Module (2019 units 2003 qualified)



PMT + CWHV + PACTA



PACTA



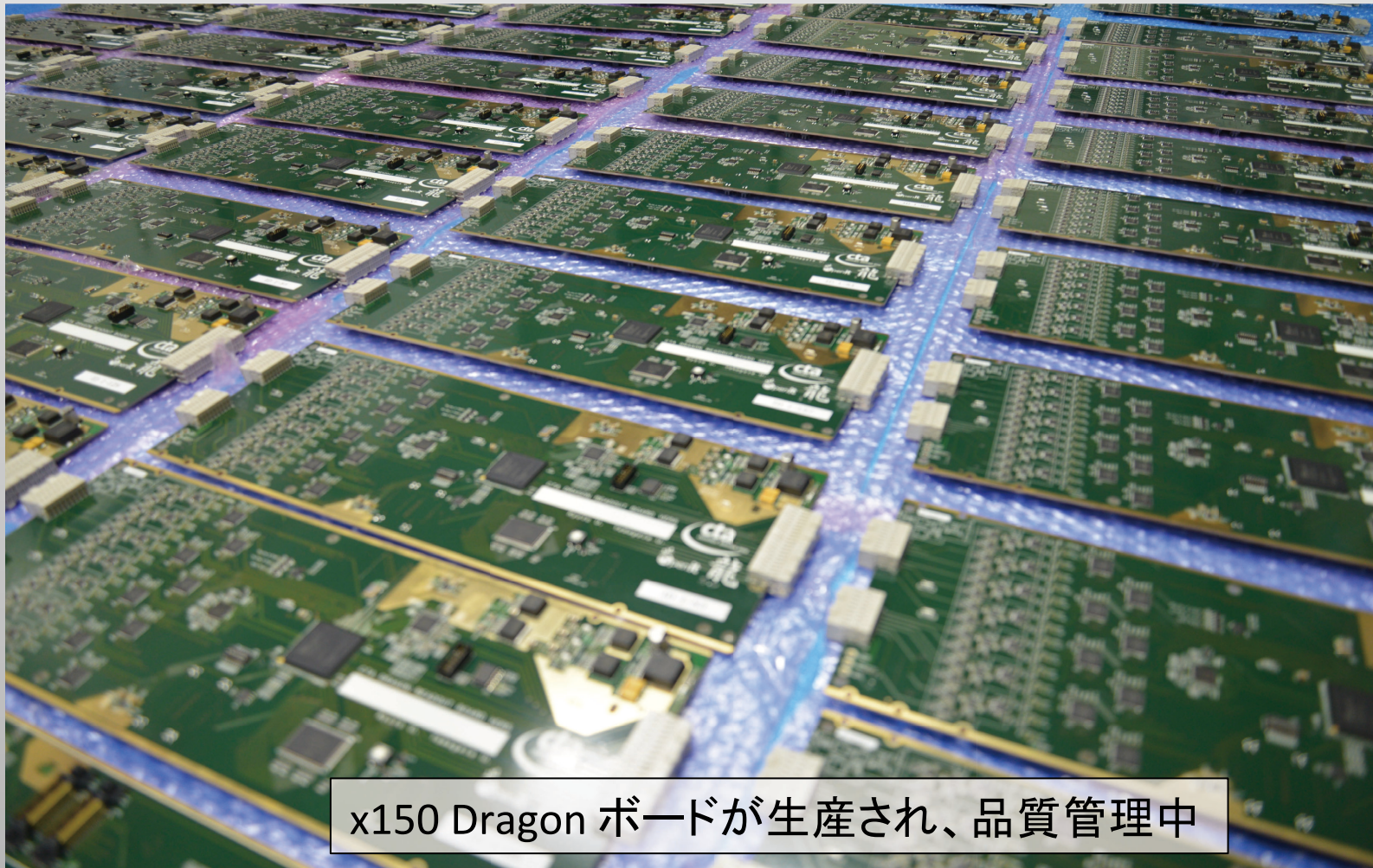
x2003 PMT モジュール組み立て、品質管理

# DRAGON 読み出し回路

## 150枚生産、Quality Control 完了

### ■ 機能

- 7本の光電子増倍管からの信号を1 Gs/secで読み出す
- High Gain, Low Gain ダイナミックレンジ3桁以上
- GbitEther でデータを転送する



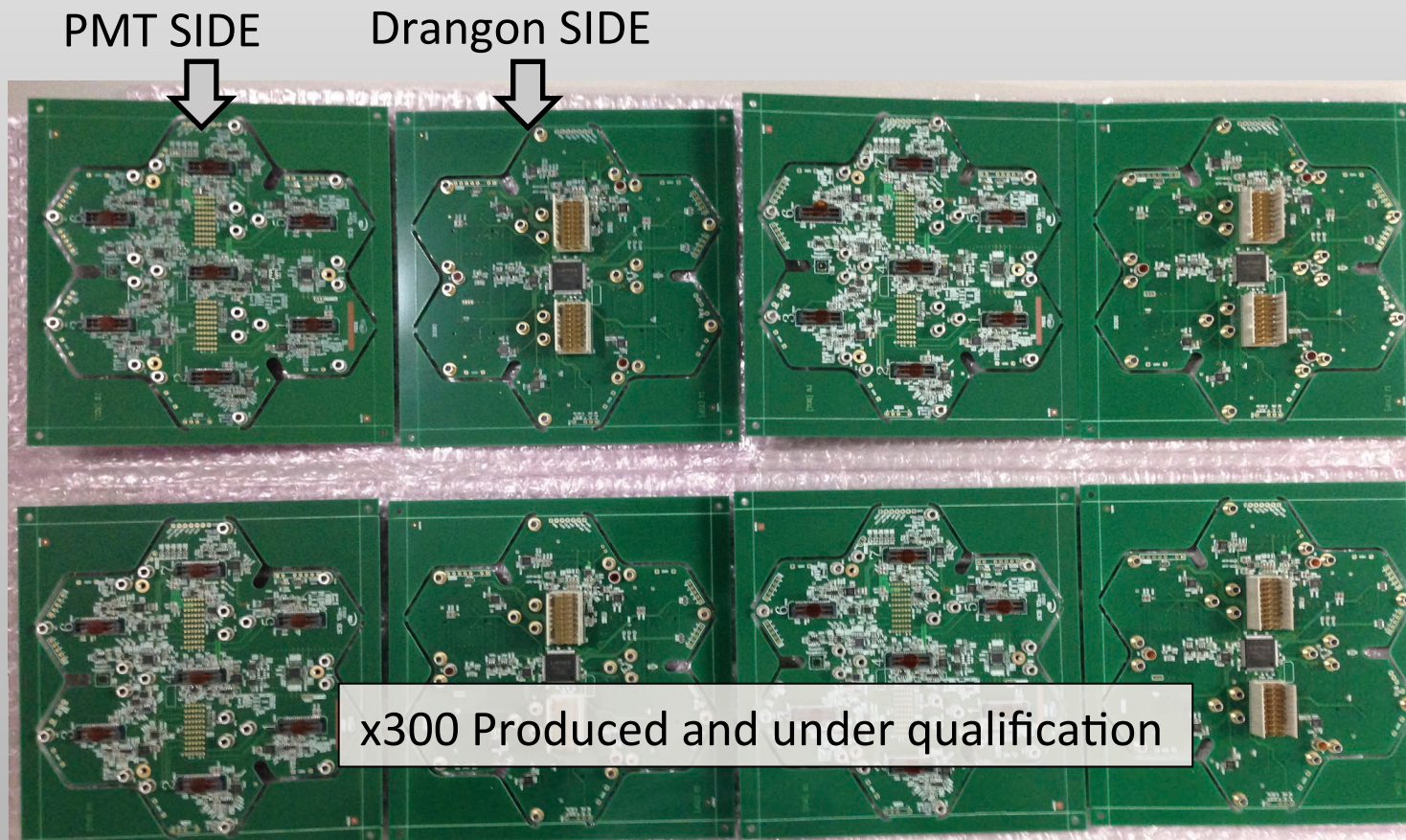
x150 Dragon ボードが生産され、品質管理中

# SCBスローコントロールボード

## x300 SCBが製作

### ■ 機能

- 7本の光電子増倍管 CW-HV を制御
- CW-HV, PMT アノード電流, 温度, DC 電圧モニター
- テストパルス生成 (回路の機能、クロストーク、リニアリティーをチェック)
- Si-ID (ID of SCB), PMT Si-ID (ID of PMTs)を読み出す



数週間前に納品  
現在、機能試験、  
品質管理中

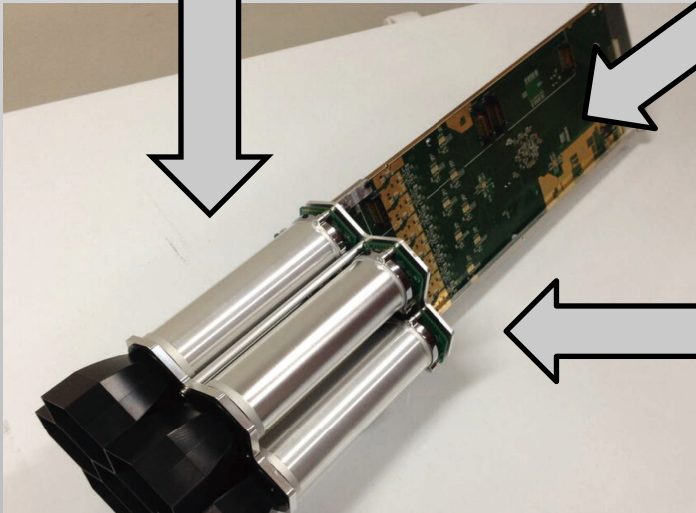
# クラスターの組み上げ、品質管理



calibrated and qualified PMTs



qualified Dragon Cards



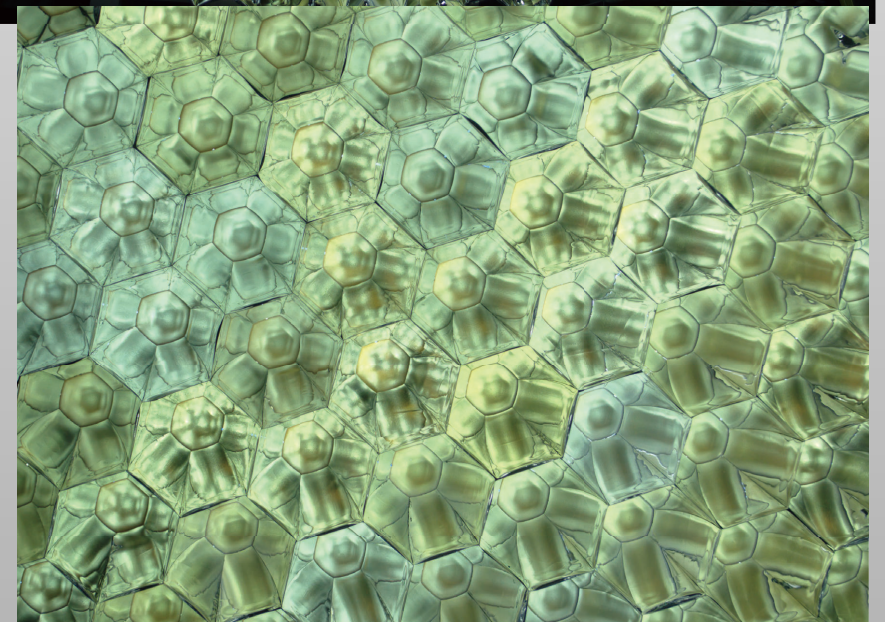
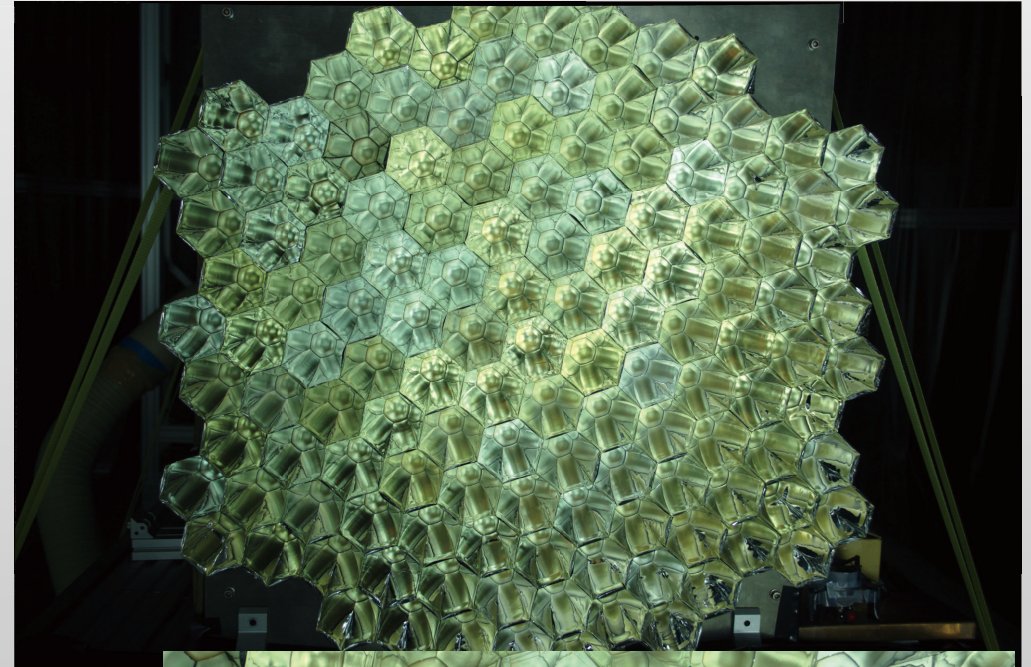
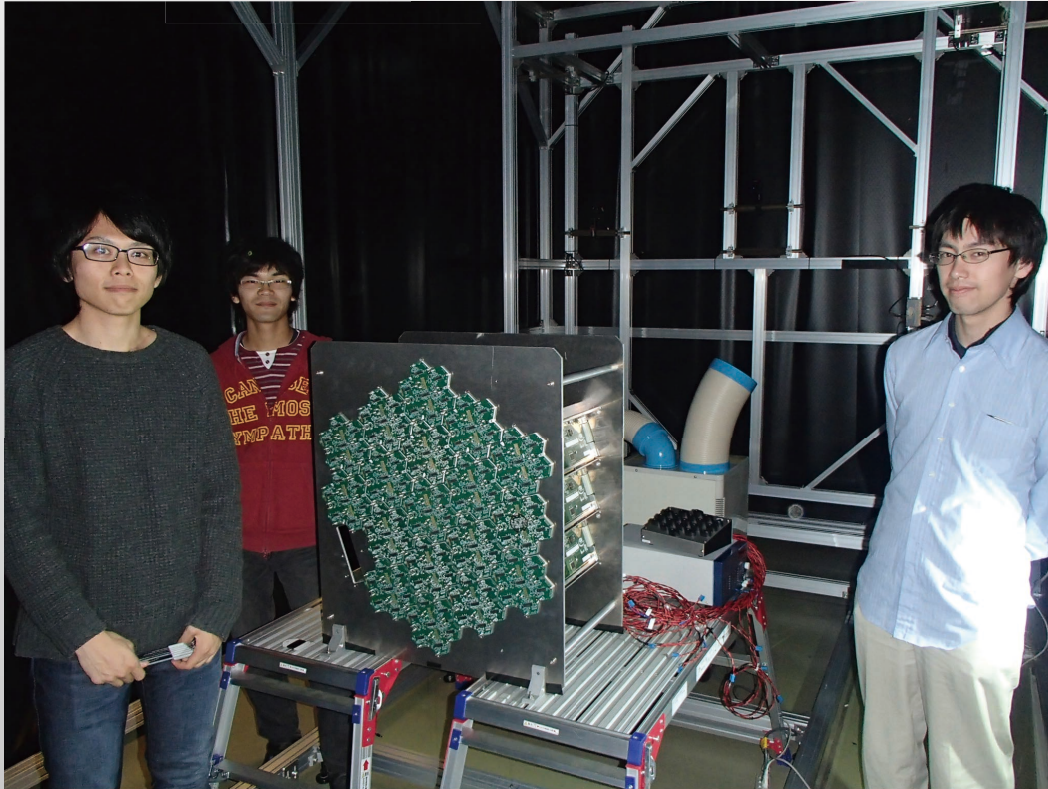
x300 assembled and qualified this year



qualified SCBs

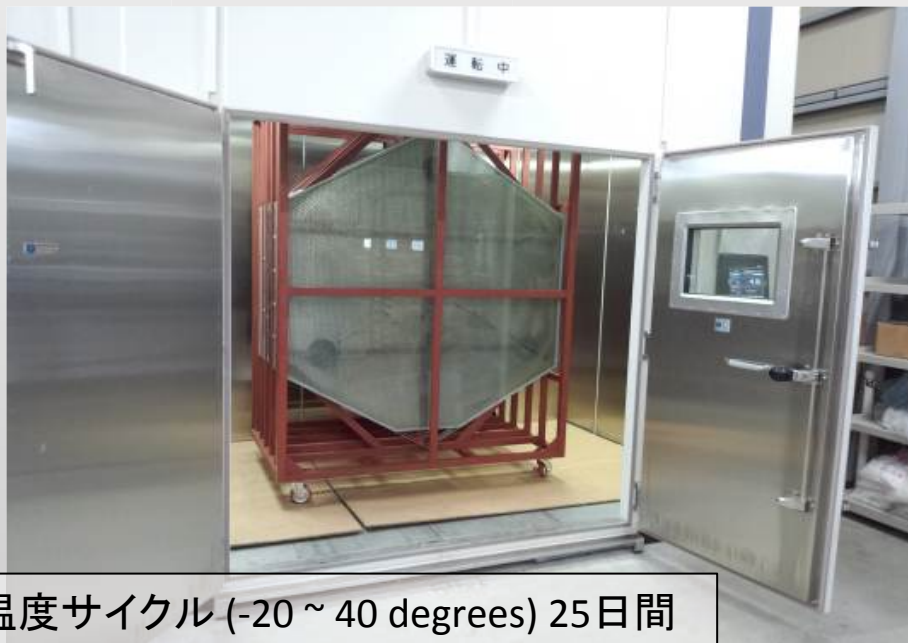
Winston cones(製造中), Shielding tubes(製造完了)

# QC and DAQ with Mini-camera (1/14 model, 80cm $\phi$ )



Mini-camera, 19 clusters, 133 ch  
Full Camera, 265 cluster 1855ch

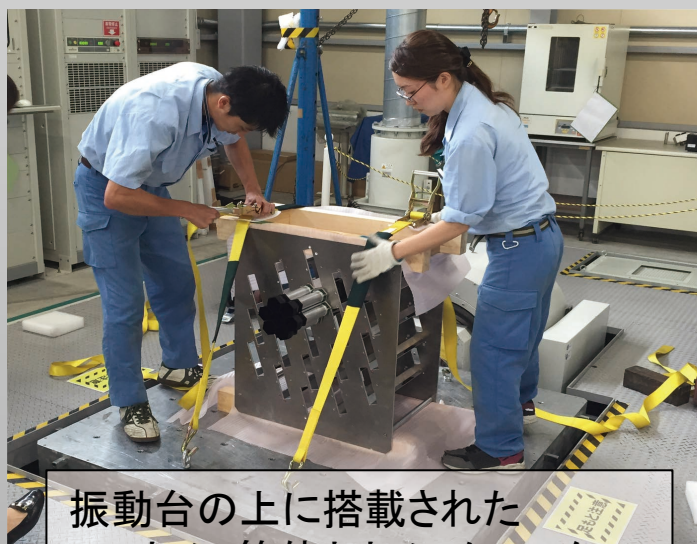
# 分割鏡の温度サイクル試験、振動試験 クラスターの振動試験



温度サイクル (-20 ~ 40 degrees) 25日間



振動台に搭載された  
ミラー5枚を挿入したコンテナ



振動台の上に搭載された  
ミニカメラ筐体とカメラクラスター

モデルスペクトルに従ったランダムな振動  
0.56G in RMS 60分

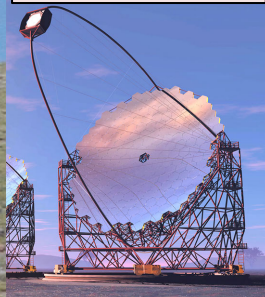
# 建設予定：CTA 大口径望遠鏡 4 基

## スペイン・ラパルマ、ロケ・ムチャチョス天文台

東京大学宇宙線研究所  
海外研究拠点

特別推進研究

LST-1 2016

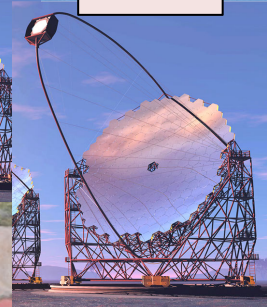


2017-2020 に3基建設予定(概算要求中)  
南半球チリ・パラナルにさらに4基建設

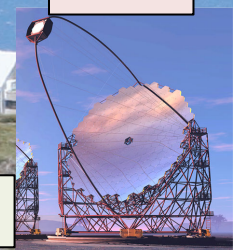
LST-2



LST-4



LST-3



MAGIC-II



MAGIC-I



2015年10月9日着工記念式典

# まとめ

- サイエンス
  - 従来の装置と比べ10倍の感度を達成する
  - 宇宙線の起源、ブラックホールの物理、暗黒物質の探索等
  - LST: ガンマ線で見える地平線を  $z=4$  まで広げる(宇宙誕生から16億年後)
- CTAの開発研究
  - CTA大口径望遠鏡1号基の建設を主導的に進めている
  - 日本グループは主に、光センサー、読み出し回路、主鏡の開発、建設
  - CTA大口径望遠鏡1号基をラパルマに建設決定、2016年末ファーストライト
  - スペイン・ラパルマを宇宙線研海外研究拠点とする
  - CTA北半球スペイン・ラパルマ、南半球チリ・パラナルに決定

