

# CTA 報告64:

## CTA 大口径望遠鏡用AMCの

## アクチュエータ制御開発

野里明香<sup>A</sup>, 千川道幸<sup>A</sup>, 奥村暁<sup>F,G</sup>, 加賀谷美佳<sup>E</sup>,  
片桐秀明<sup>E</sup>, 齋藤浩二<sup>B</sup>, 田中駿也<sup>E</sup>, 手嶋政廣<sup>B,C</sup>,  
中嶋大輔<sup>C</sup>, 野田浩司<sup>C</sup>, 林田将明<sup>B</sup>, 馬場浩則<sup>E</sup>,  
花畑義隆<sup>B</sup>, 柳田昭平<sup>E</sup>, 山本常夏<sup>D</sup>, 吉田龍生<sup>E</sup>,  
他 CTA-Japan consortium,

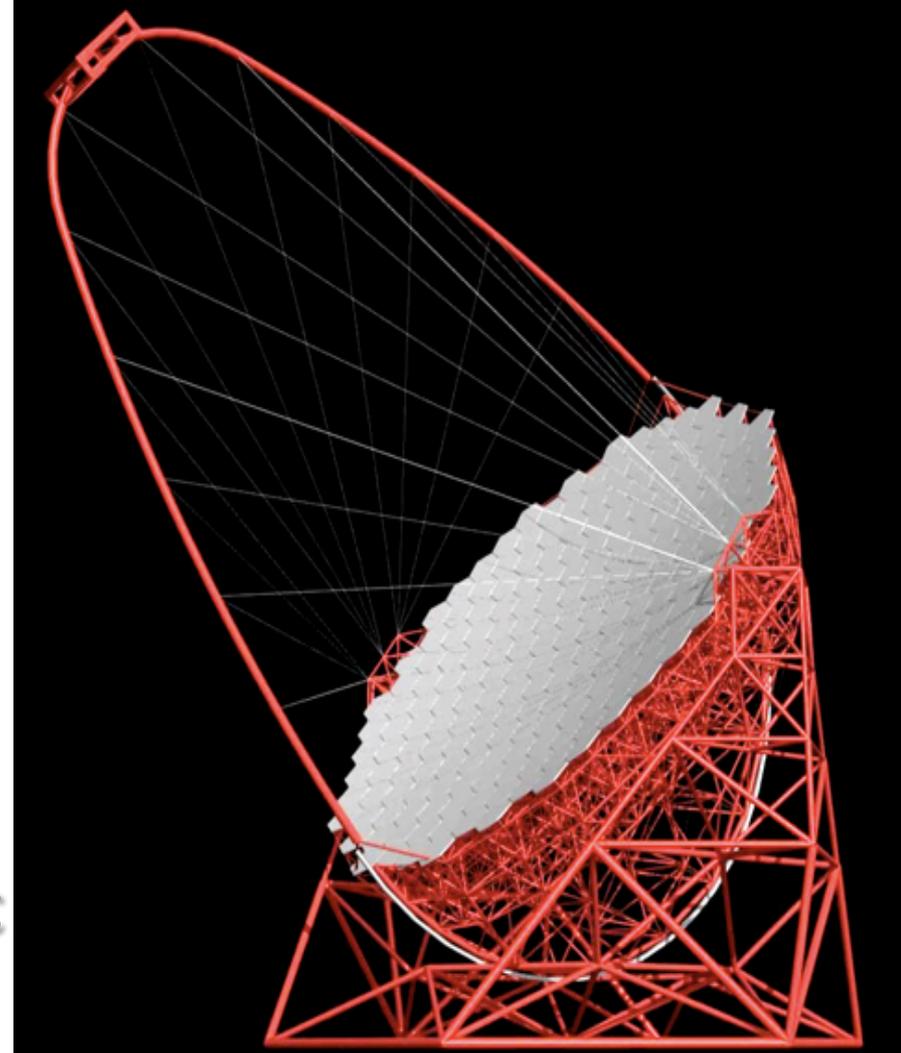
近畿大理工<sup>A</sup>, 東大宇宙線研<sup>B</sup>, Max-Planck-Inst. fuer Phys.<sup>C</sup>,  
甲南大理工<sup>D</sup>, 茨城大理<sup>E</sup>, 名大STE研<sup>F</sup>, レスター大<sup>G</sup>

# 目次

- LST要求仕様
- AMC(Active Mirror Control)システムのR&D
  - 実験目的
  - アクチュエータ
    - 概要
    - Zurich大学製作アクチュエータ
    - 無線モジュールXBee
    - アクチュエータ制御システム開発
- まとめ
- 今後の展望

# LST要求仕様

- 口径: 23m
- 鏡総面積: 407 m<sup>2</sup>
- 焦点距離: 28m , F/D = 1.2
- 総重量: 50t
- 鏡形状: Parabolic
- Active Mirror Control
- 鏡枚数: 198枚
- 回転速度 < 180 deg/20 sec
- Life time > 10 years



Designed by MPI Munich and MERO

# AMC(Active Mirror Control)システムのR&D

## LSTの変形が生じる

### 生じる原因

- ・自重(zenith angle)
- ・風圧
- ・温度依存性

## 実験目的

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を構築する。

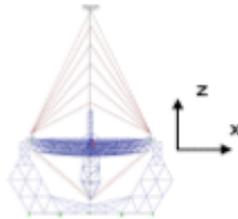
# 重量による歪み量 (シミュレーション)

dish

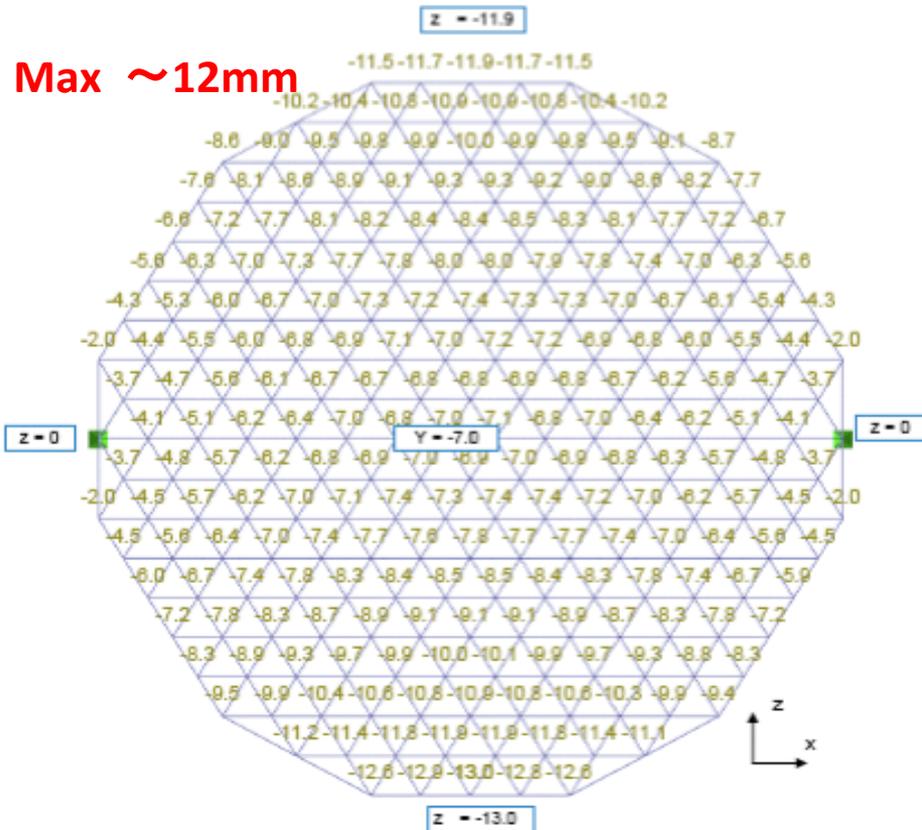
→ Eigengewicht

Achtung: Vertikallager an Drehachse  
gesetzt !!!

Verformung (z) senkrecht zur  
Spiegelebene 1 in [mm]



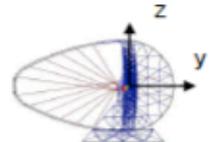
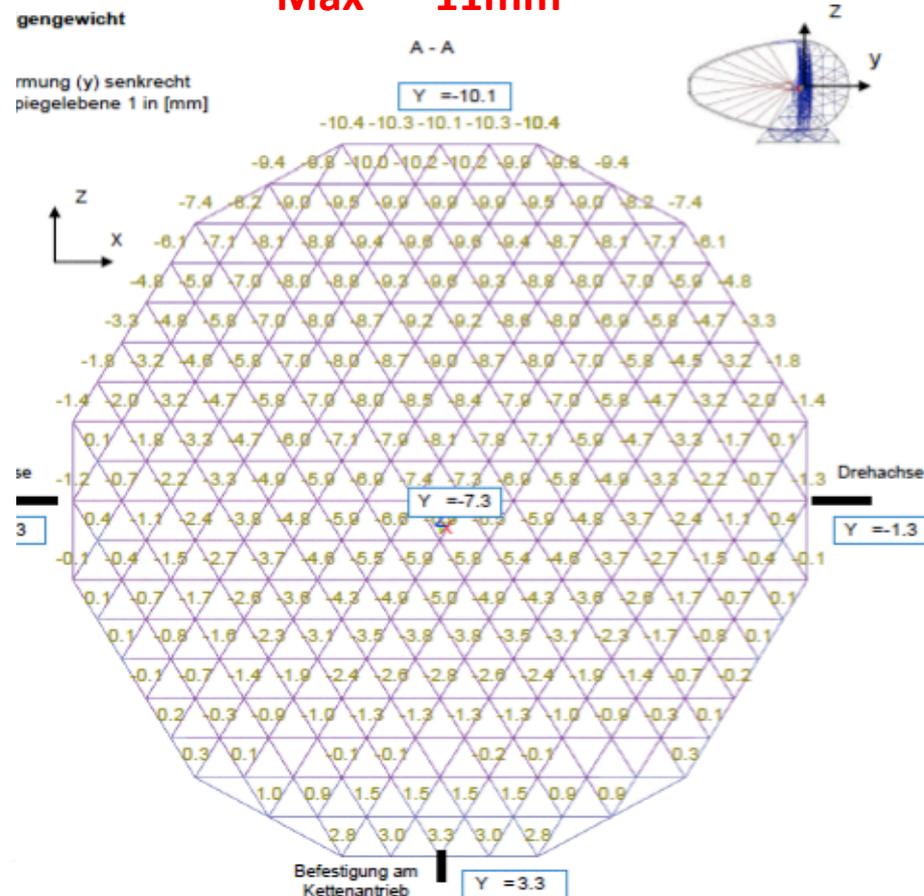
Max ~12mm



Max ~11mm

gegengewicht

Verformung (y) senkrecht  
piegelebene 1 in [mm]



# Zurich アクチュエータ

アクチュエータ(MST用)で開発中

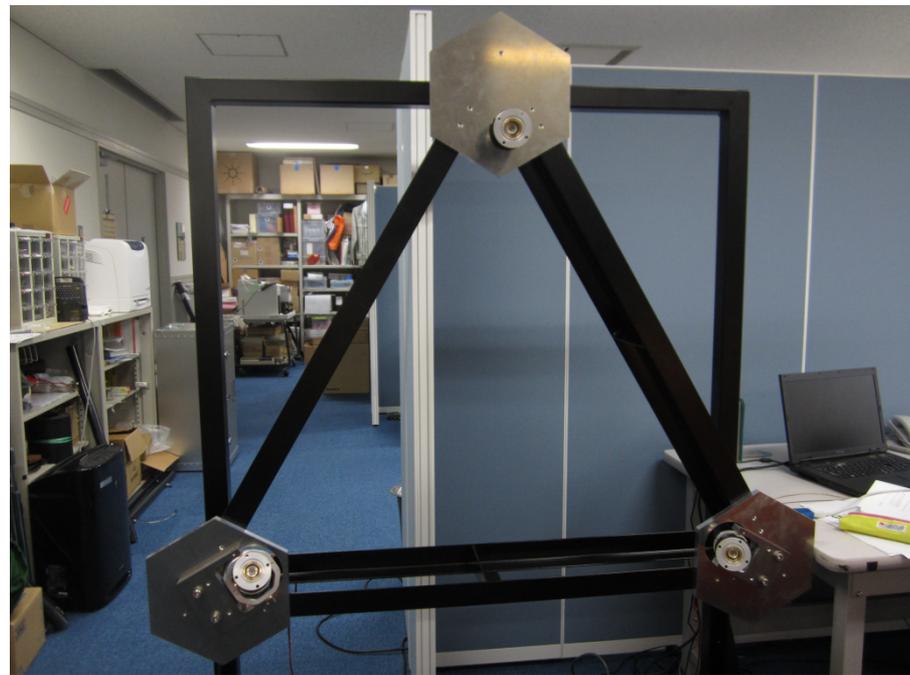
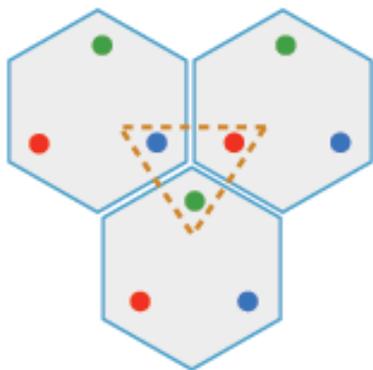
要求精度: +/- 0.005度



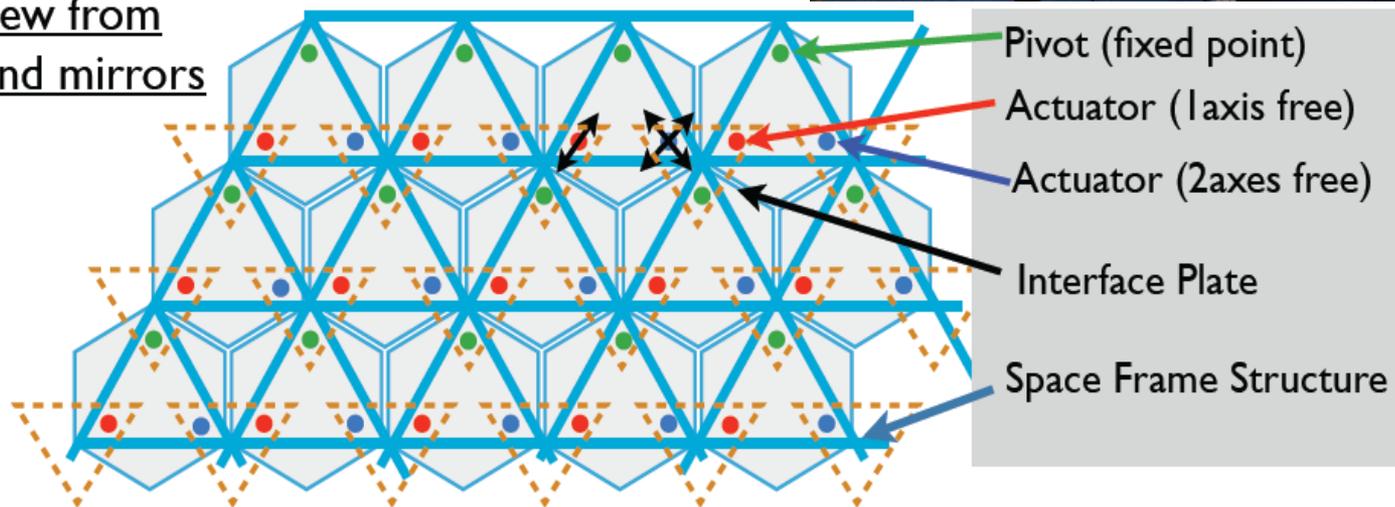
MST: 1/32 of 1mm  
LST: 1/256 of 1mm

LST用アクチュエータとモーターは同じ,  
トルクが異なる

# アクチュエータ、鏡、三角フレーム設置図



View from  
behind mirrors



Pivot (fixed point)

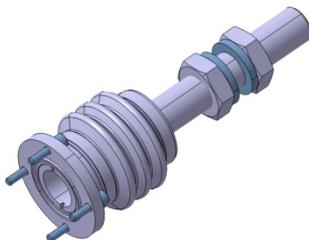
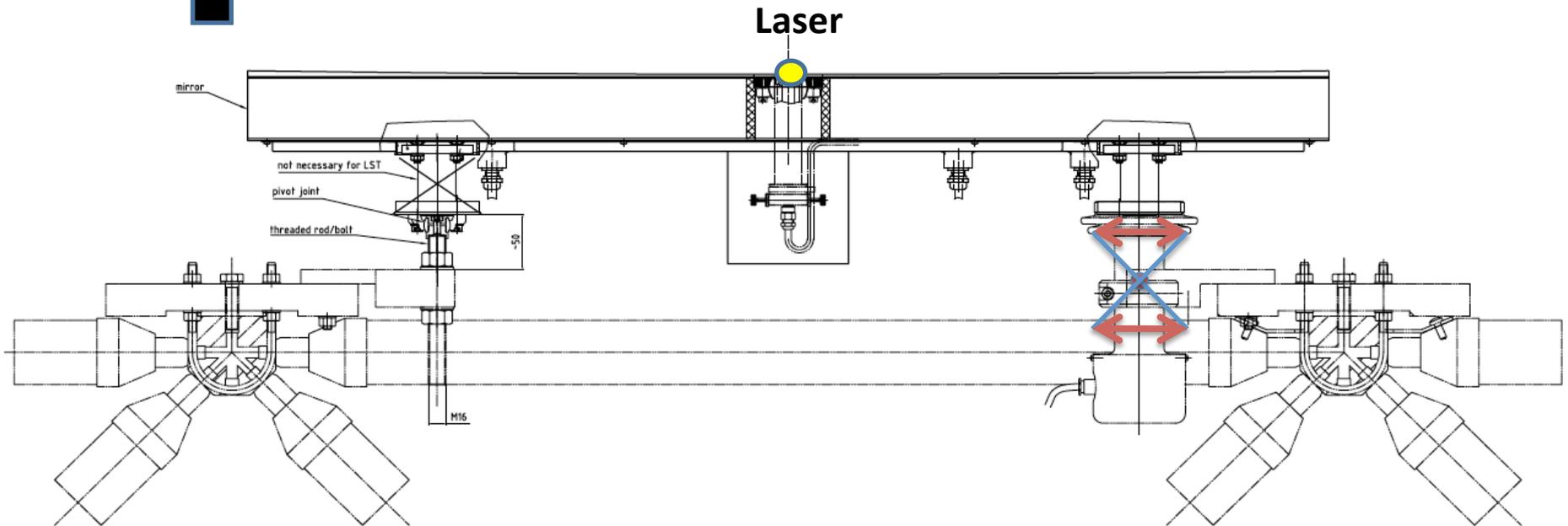
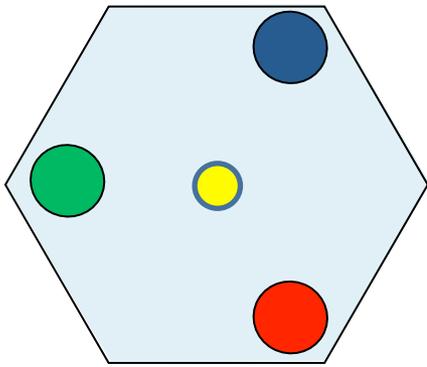
Actuator (1axis free)

Actuator (2axes free)

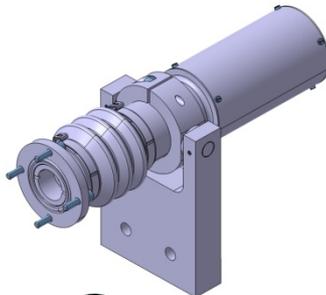
Interface Plate

Space Frame Structure

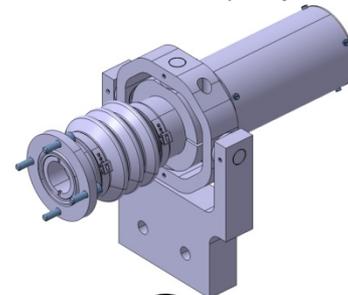
# Zurich大学 アクチュエータ設置(MST用)



 Universal joint



 1 axis free



 2 axis free

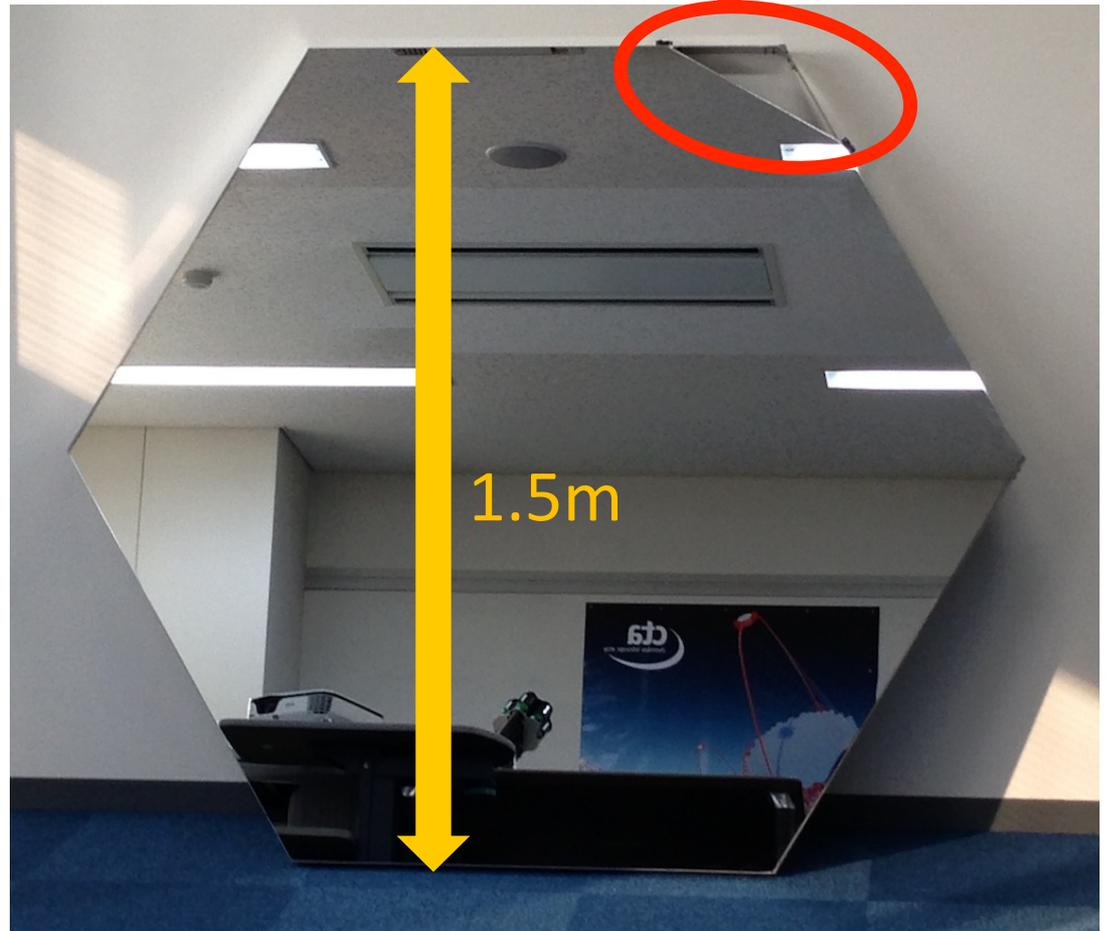
MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PHYSIK  
Werner-Heisenberg-Institut  
Föhlinger Ring 5  
80805 München  
M 1:5  
Datum: 01.12.2019  
Projekt: CTA  
Zeichnungen: Mirror support M-1  
Sachbearbeiter: H. Wehreskind



# 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

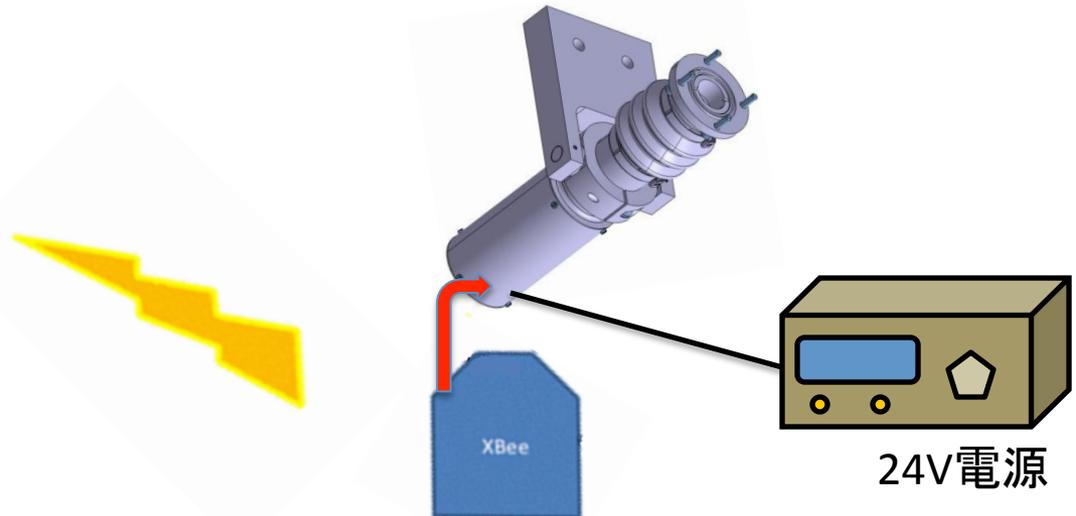
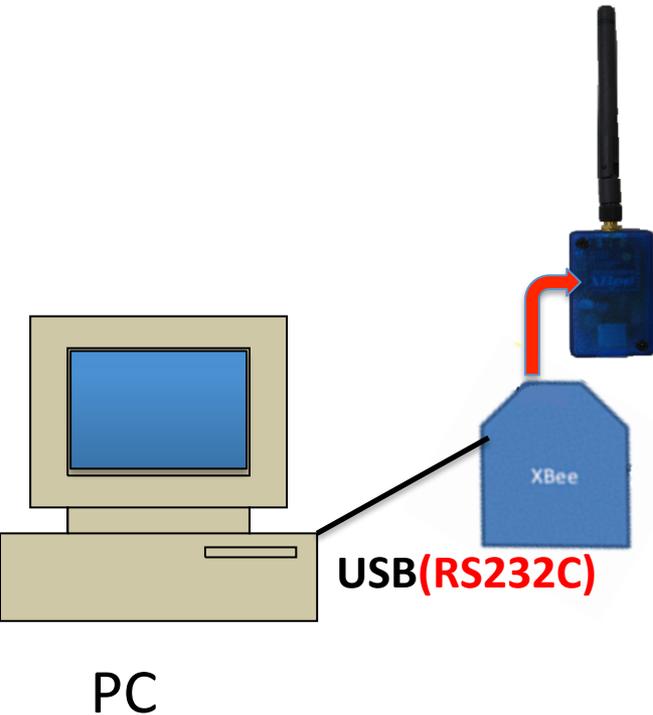
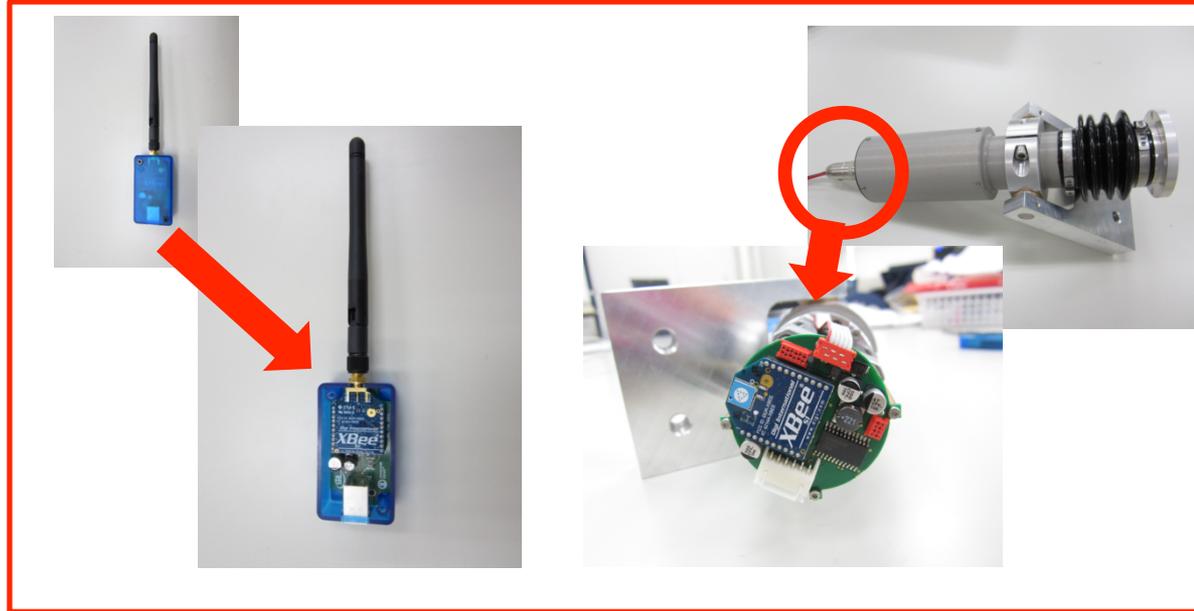


総重量: ~46kg

Mirror Area: 1.96m<sup>2</sup>

# アクチュエータ制御方法

コントローラとアクチュエータに組み込まれている無線モジュールによりアクチュエータを制御する。



# 無線モジュールを使用する利点

- 1つのコントローラで約200個のアクチュエータを同時に制御することができる。
- 今までRS232通信を前提にPC⇔マイコン通信に書いてきたソフトウェアを、そのまま流用することができる。



## 無線モジュールXBee

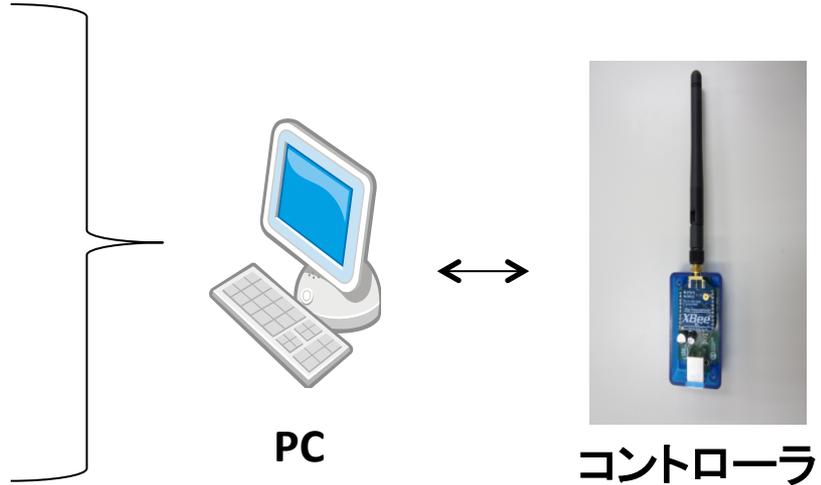
- 短距離無線通信の規格の一つ‘ZigBee’規格に基づいて通信を行うモジュール
- PCとの通信方法は、シリアル通信
- 無線通信距離は、屋内で30m、屋外で100m程度

## the Zurich Actuator Command Set Version 2.03

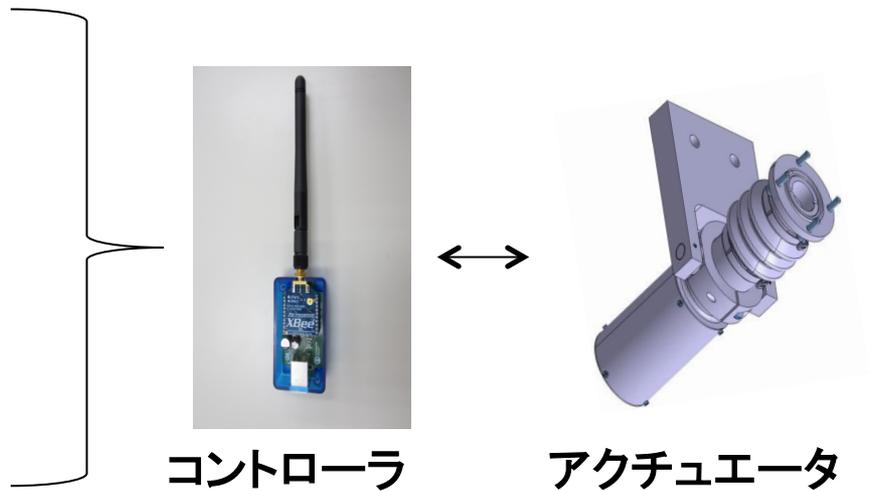
| command syntax | Description                                       |
|----------------|---|
| l/L            | 1 step/turn left(in)                              |
| r/R            | 1 step/turn right(out)                            |
| Pxxyy          | go to [xx]mm,[yy] gray code (enter hex value!)    |
| p              | return current position                           |
| </>            | Drive inwards/outwards until jammed               |
| C              | 3mm(turn) left ,3mm right                         |
| Dxx            | set delay to [xx]ms (enter hex value!)            |
| d              | get delay   |
| #              | perform sensor calibration and store in EEPROM    |
| V              | print Version                                     |
| Mxxyyzz        | Memory write: elev: xx position: yy gray code: zz |
| mxx            | Memory read: elev xx                              |
| T              | Temperature readout                               |
| Gxx            | go to elevation xx according to LUT               |
| !              | toggle DEBUG mode                                 |
| \$             | read out complete memory                          |

# コマンド送信

シリアル通信を無線化



Zurichコマンド送信

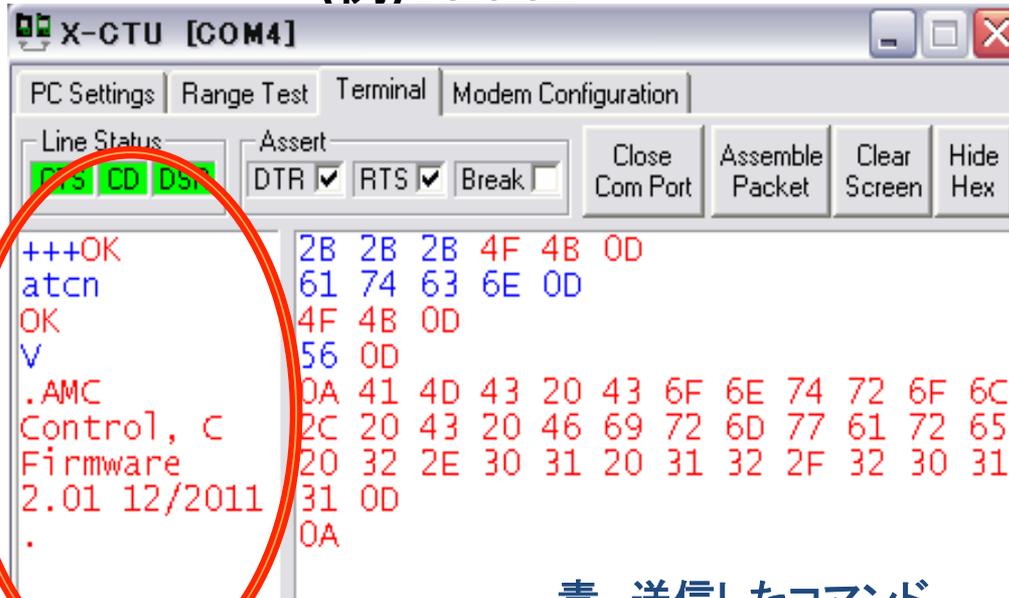


アクチュエータ作動

# Digi社が提供するX-CTU(アプリケーション)

- XBeeとシリアル通信を行い、飛距離のテスト、ファームウェアやパラメータの変更、更新を行うためのWindows用のソフトウェア

(例)Version



The screenshot shows the X-CTU application window with the 'Terminal' tab selected. The terminal displays the following text:

```
+++OK
atcn
OK
V
.AMC
Control, C
Firmware
2.01 12/2011
.
```

The first three lines (+++OK, atcn, OK) are circled in red. The response 'V' is blue, and the subsequent lines are red. The hex data is shown in blue for the command and red for the response.

同じように、LやRなどのコマンドを送信すると、実際にアクチュエータが動作した。

青...送信したコマンド  
赤...返ってきた値

X-CTU内のターミナルでアクチュエータを制御することに成功した

# LinuxPCを用いてアクチュエータを制御する開発

- C言語のプログラム作成(ubuntu 12.04)

```
----- Change Status -----  
9600 bps  
8 bit  
No Parity  
Stop Bit 1  
Software Flow Control  
Delimiter(In/Out): CR/CR LF
```

Press Enter

```
=====  
Control Program  
zurich Actuator Command Set Version 2.03  
=====
```

|      |          |            |        |
|------|----------|------------|--------|
| 01:l | 06:<     | 11:Dxx     | 16:Gxx |
| 02:L | 07:>     | 12:d       | 17:!   |
| 03:r | 08:Pxxyy | 13:Mxxyyzz | 18:p   |
| 04:R | 09:#     | 14:mxx     | 19:\$  |
| 05:C | 10:V     | 15:T       |        |

Please Enter [q:quit] : █

ターミナル上で、メニュー  
を選び制御可能にする

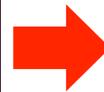
# アクチュエータ制御結果(Linux)

(例)Version number 取得(返り値があるもの)

```
=====  
Control Program  
zurich Actuator Command Set Version 2.03  
=====  
01:l 06:< 11:Dxx 16:Gxx  
02:L 07:> 12:d 17:!  
03:r 08:Pxxyy 13:Mxxyyzz 18:p  
04:R 09:# 14:mxx 19:$  
05:C 10:V 15:T
```

返り値

```
---Print version number---  
OK  
result(++):OK  
OK  
result(atcn):OK  
  
AMC Control, C Firmware 2.01 12/2011  
result(V):  
AMC Control, C Firmware 2.01 12/2011
```



同じように、他のメニューを選択すればアクチュエータを動作させることが可能。

このシステムにより、01,02,...のメニュー(the Zurich Actuator Command)を選びアクチュエータを動作させることに成功した。

# まとめ

- ファームウェアやアクチュエータアドレスをXBeeに書き込んだ。
- アプリケーションソフトを使用し、アクチュエータを制御した。
- Linuxで、アクチュエータを基本的なコマンドで制御するプログラムを開発した。

# 今後の展望

- 複数のアクチュエータを別々に制御する。
- コマンドを複数連続に送り制御する。
- 実際にずれが出た値を読み取り制御する。