

極限補償光学装置の進捗

山本広大(京都大学)

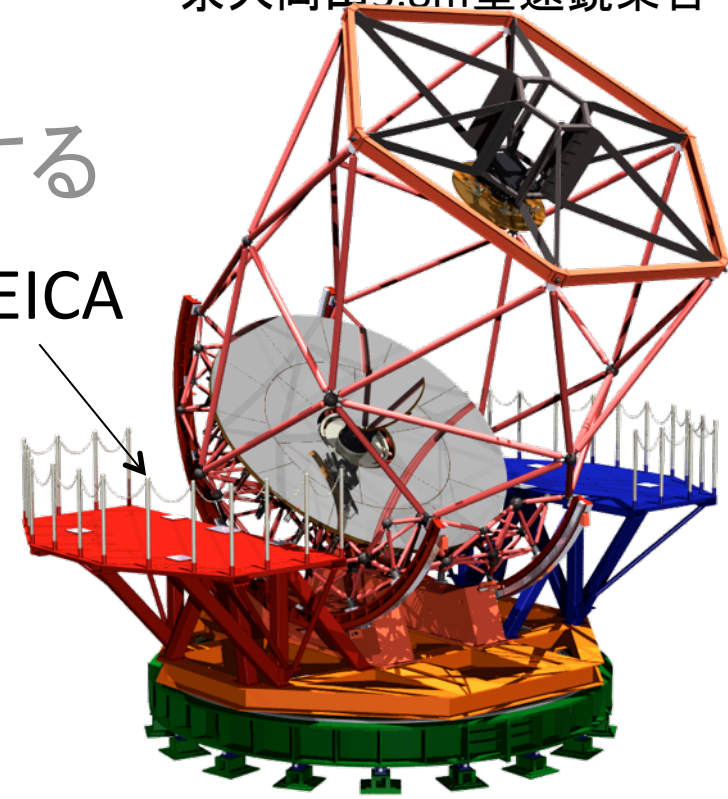
SEICA開発チーム

0.1—0.5秒角の木星型惑星を
3.8m望遠鏡を使って直接撮像する

1. 開発項目
2. 開発スケジュール

京大岡山3.8m望遠鏡架台

SEICA

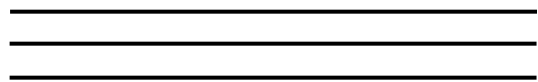




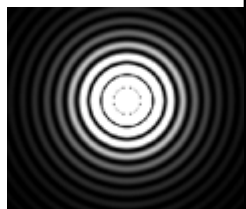
恒星

補償光学(1/2)

[瞳面] 綺麗な平面波



エアリー像



主星像



惑星像

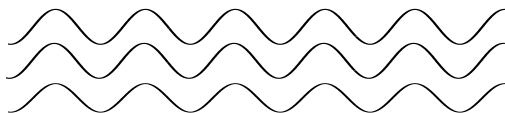


[像面] 強度分布



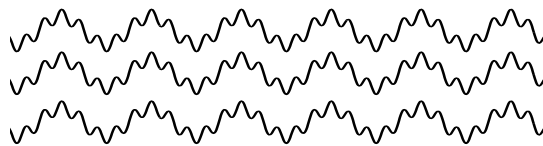
星像+惑星像

平面波+波面エラー(低次)



星像+惑星像
+ スペックル(低次)

平面波+波面エラー(低次+高次)

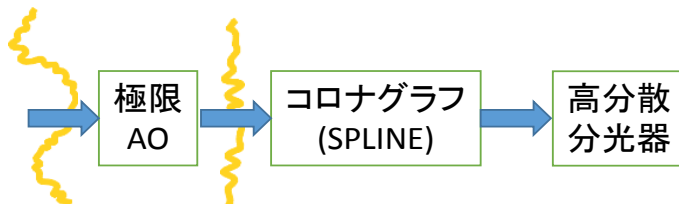
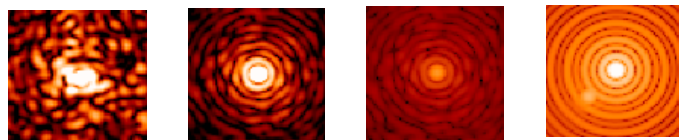


惑星像と
スペックル
が重なる



星像+惑星像+スペックル(低次)
+ スペックル(高次)

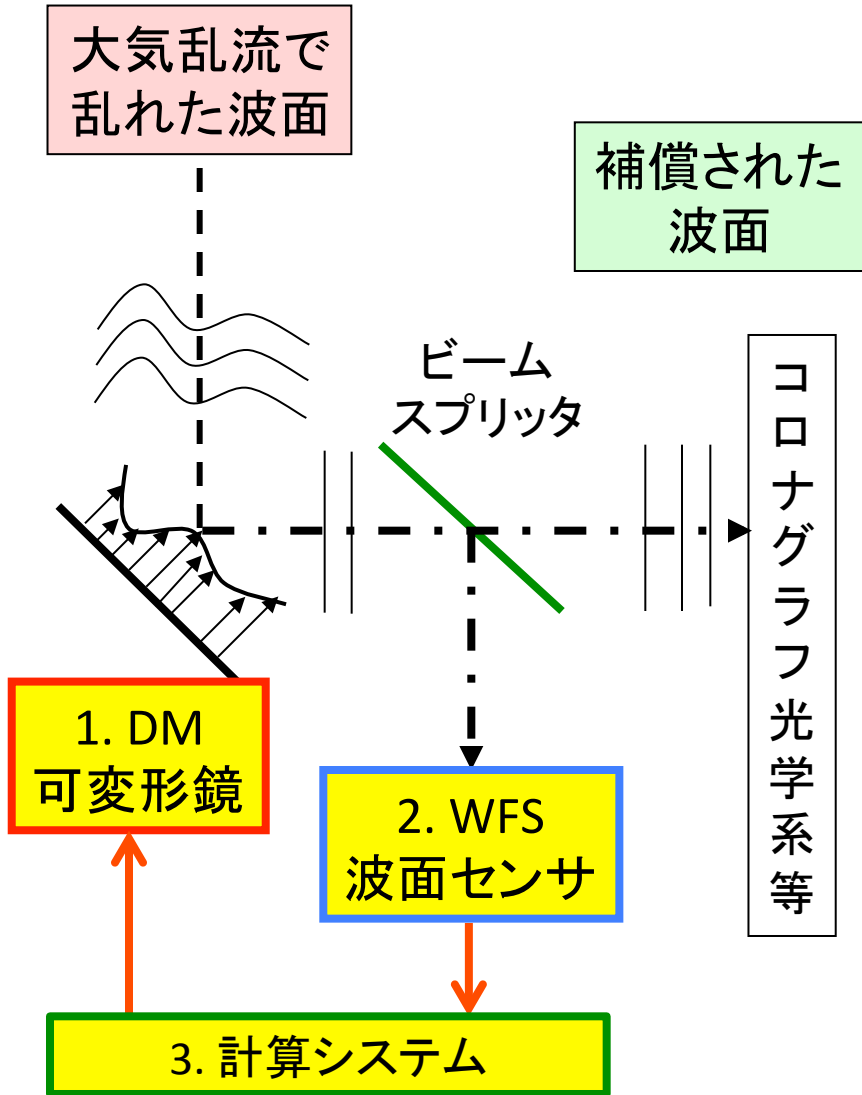
- 平面波は綺麗なPSFに結像。
- 波面エラーが入ると**スペックル**が形成。
- 動的なスペックルが惑星検出の邪魔
→ 波面エラーの除去が必要



補償光学(2/2)

(主に大気による)波面の乱れを能動的に補正する光学系。

1. 可変形鏡(DM)
2. 波面センサ(WFS)
3. 計算システム



1. DM ↓



2. WFS → (SHWFS)

3. 計算システム



SEICA開発

T/T

Woofers

Tweeter

SPLINE

カメラ

除振台

恒温槽

ADC/Rot

筐体

現在

調整

実験室
試験

H28

実験室
ループ
試験

FPGA
開発

WFS
開発
試験

実機
製作
試験

仕様決
定

H29

完成

実機
製作
調整
試験

実験室
ループ
試験

調整

設計,
製作

設計
製作
試験

設計
製作
試験
?

H30

完成

実機
製作
調整
試験

試験

調整
試験

設計
製作
試験

設計
製作
試験
?

H28

H29

H30

H31

H31

完成

調整

完成

SEICA開発

- SEICAの開発項目洗い出し
 1. 前置光学系 : イメージローター, ADC(京大)
 2. ExAO : 後述 (京大/大電通大)
 3. コロナグラフ : SPLINE (北大)
 4. サイエンスカメラ: J, Hバンド。InGaAs? (?)
 5. 構造体 : 恒温槽, 除振台, 冷却系, 筐体(京大)
 6. (電気系+各種センサ)
- SEICAのリスケジュール
 - H29FL → H31FL?

SEICA光学系

天体から



地球大気



望遠鏡 (主-第三鏡)



SEICA

前置光学系



ExAO



コロナグラフ



赤外カメラ

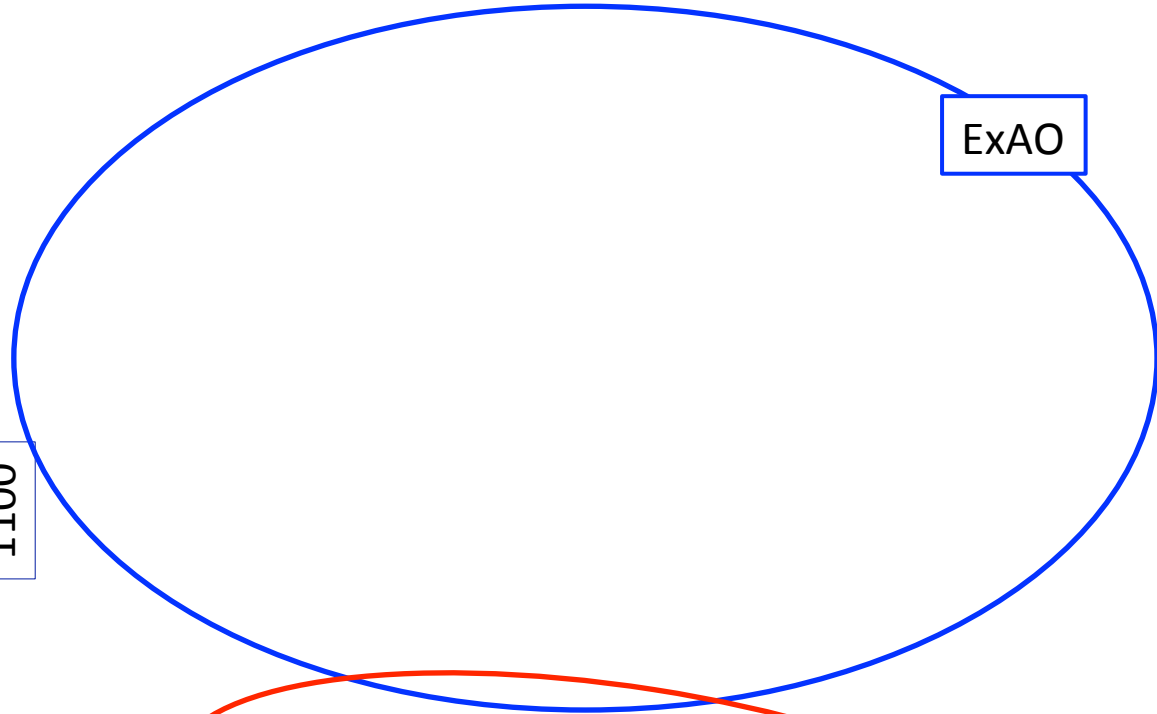


望遠鏡→前置光学系からの入射光線

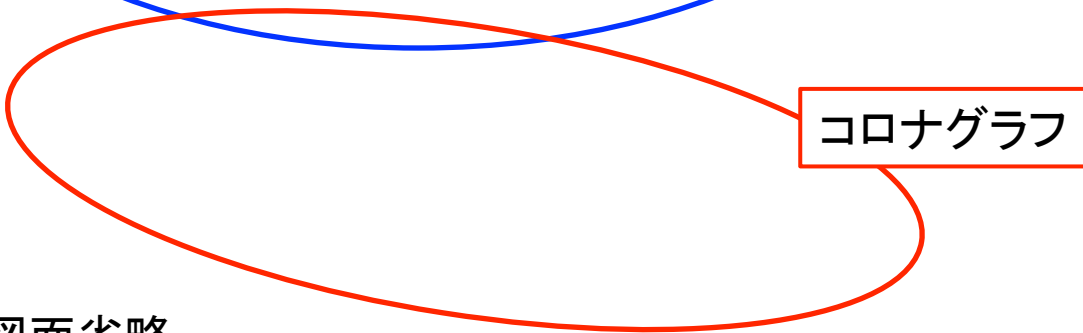
400

800

1100



ExAO



コロナグラフ

図面省略

SEICA: ExAOパート(補償光学系)

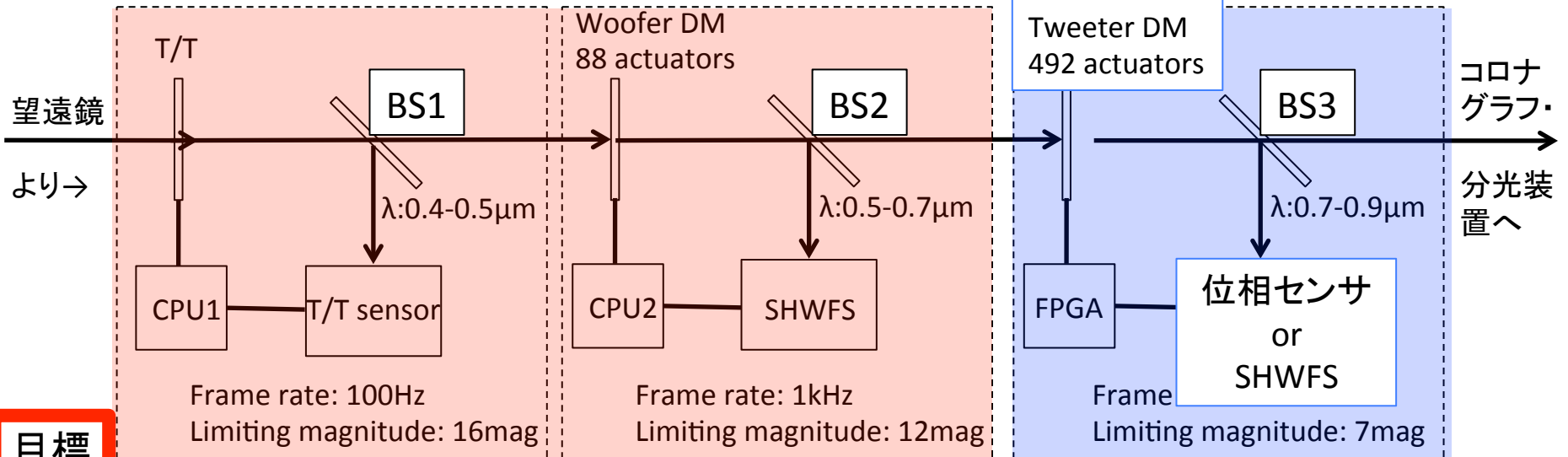
傾斜計測: T/T + Woofer
低速、粗い波面制御

位相計測: Tweeter
高速、高精度波面制御

Tip/Tilt部 視野内で星像を安定させる

Woofer部 $\lambda/4$ 程度まで波面補償する

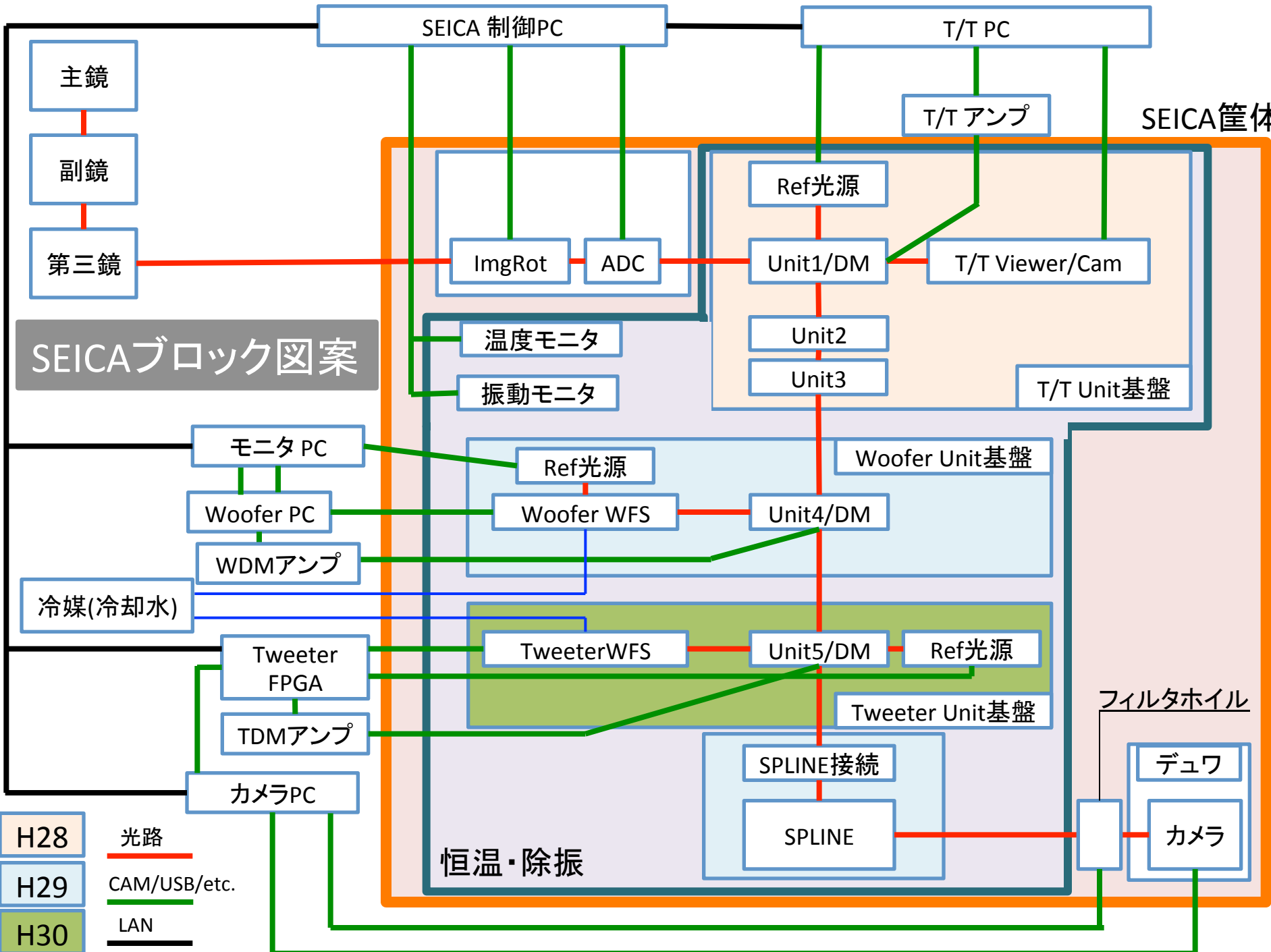
Tweeter部 $\lambda/20$ 程度まで波面補償する

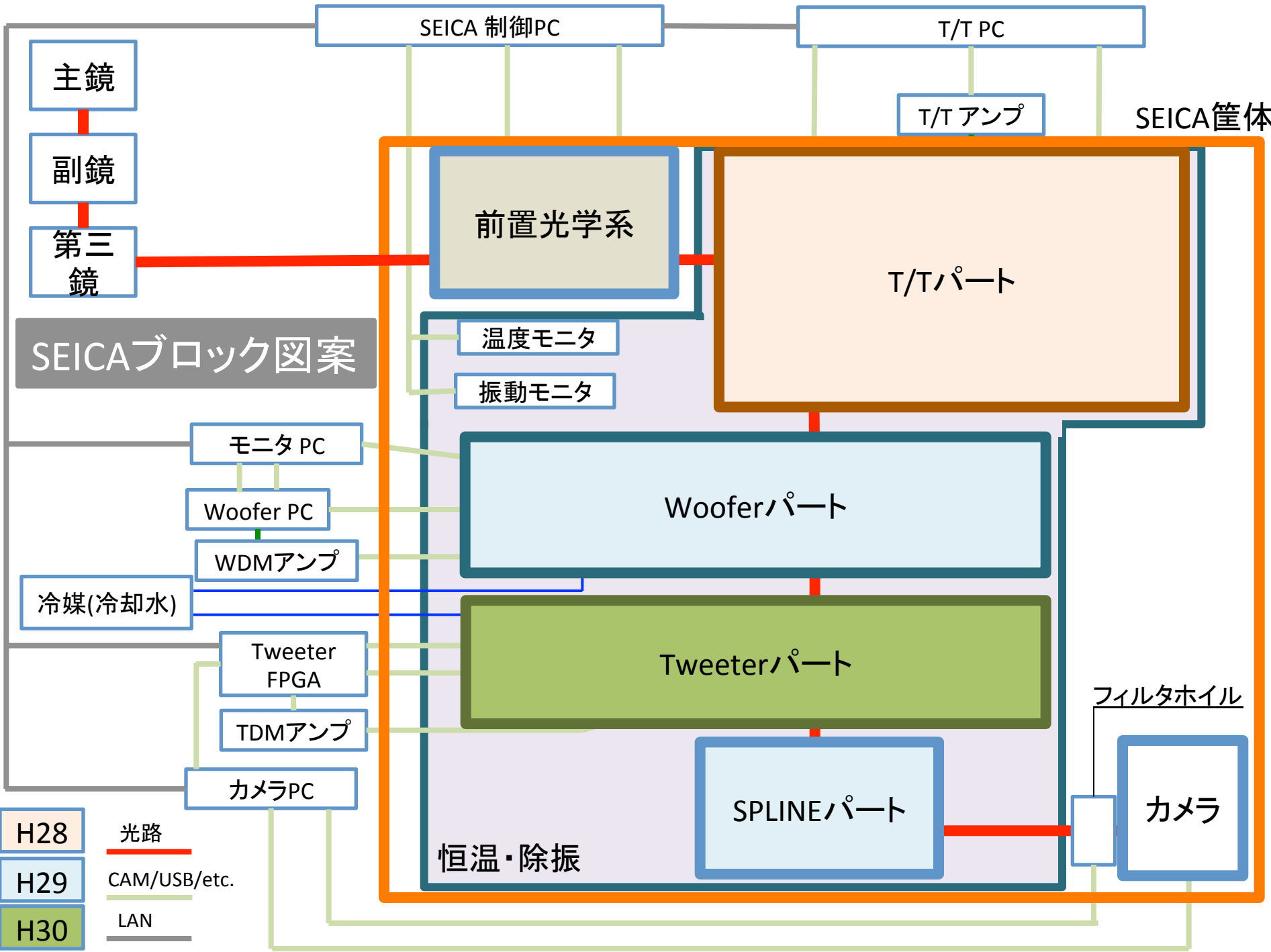


目標

高精度 ($\lambda/20$; P-V)
高頻度 (5-10 kHz)
高空間周波数 (1辺24素子)

←コロナグラフにおいて何処までの精度が必要か再検討中





SEICAブロック図案

- 主鏡
- 副鏡
- 第三鏡

- SEICA 制御PC
- T/T PC

T/T アンプ

SEICA筐体

前置光学系

T/Tパート

温度モニタ

振動モニタ

モニター PC

Woofer PC

WDMアンプ

冷媒(冷却水)

Tweeter FPGA

TDMアンプ

カメラPC

Wooferパート

Tweeterパート

SPLINEパート

フィルタホイール

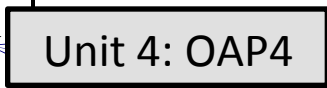
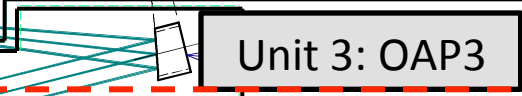
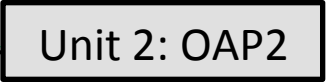
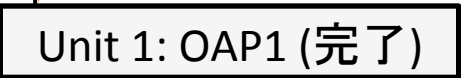
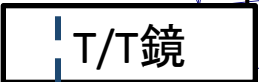
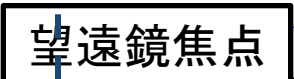
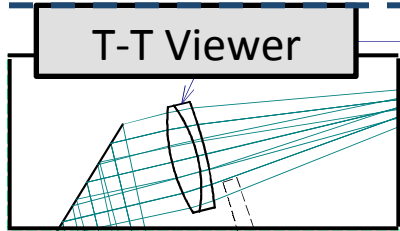
カメラ

恒温・除振

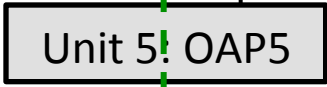
- H28 光路
- H29 CAM/USB/etc.
- H30 LAN

ExAOノード

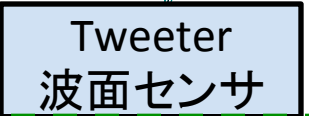
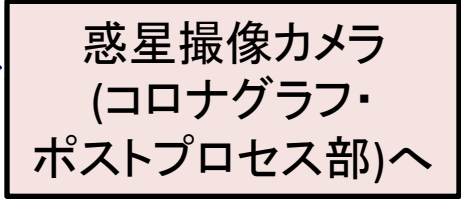
T/Tパート



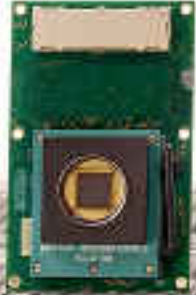
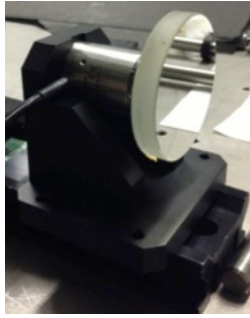
Woofersパート



Woofers
波面センサ(完了)

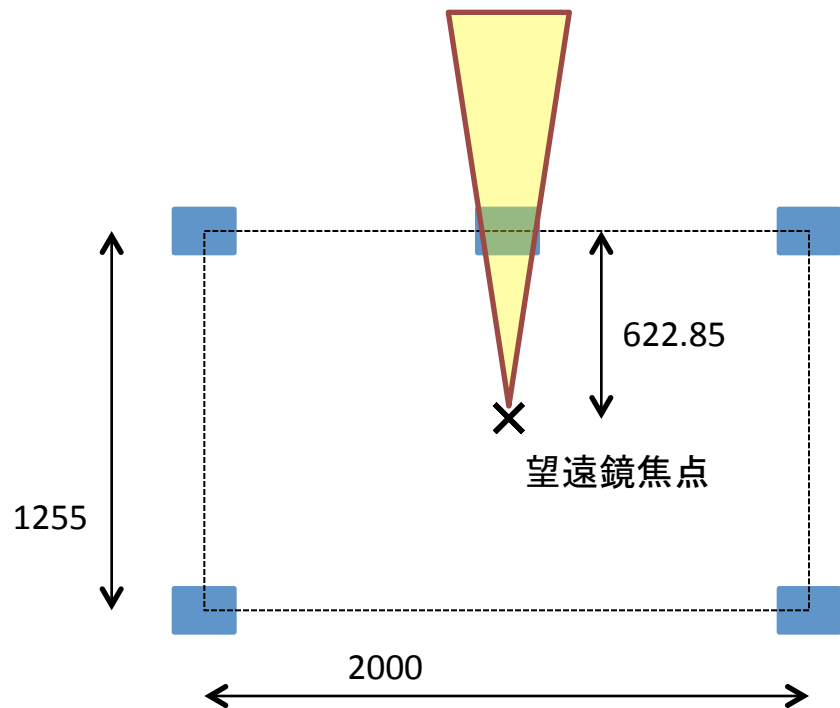


Tweeterパート



ナスミス台ポート(1/2)

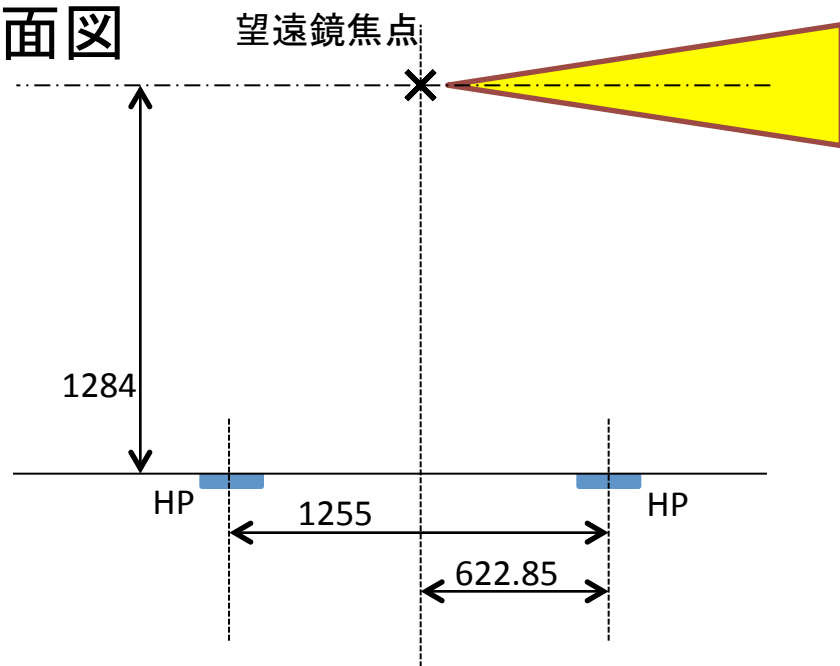
平面図



■ HPサイズ: 250x200

ナスミス台振動特性
観測中での加速度測定が必要
モデル解析？

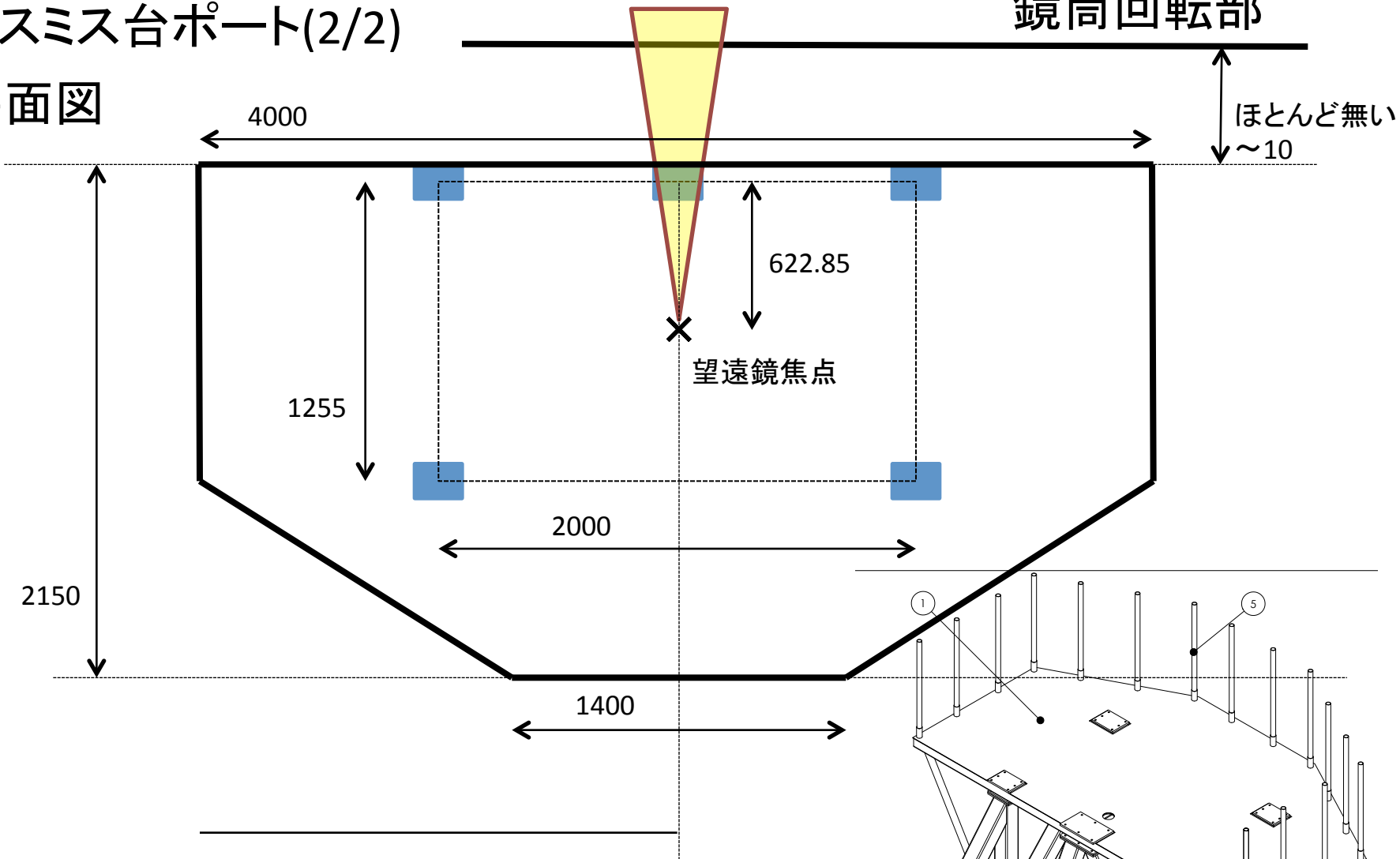
側面図



ナスミス台ポート(2/2)

平面図

鏡筒回転部



最大筐体サイズは~2000x2000

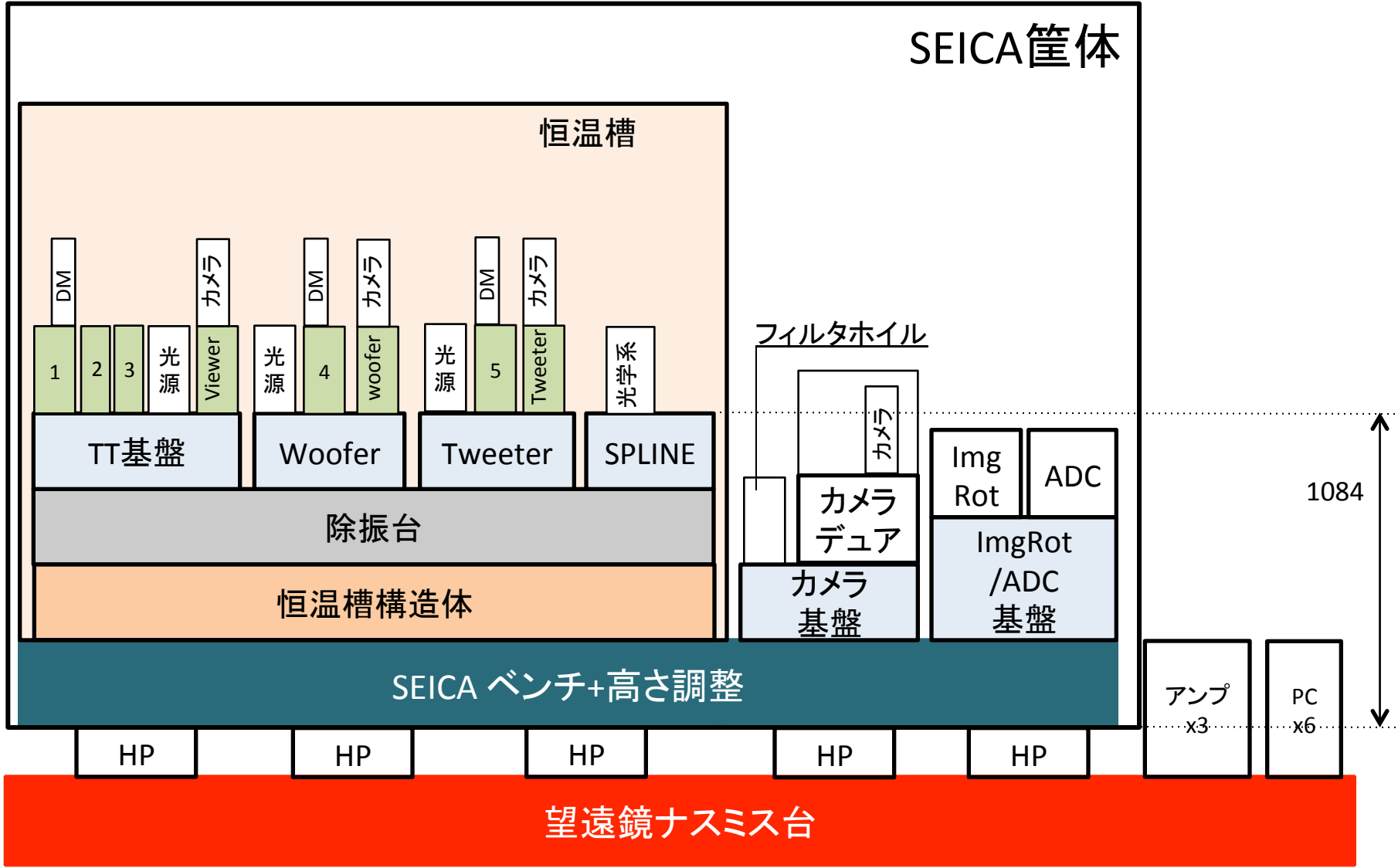
■ HPサイズ: 250x200



左右対称1組

各パートの接触関係案

※実際の高さを表しているわけではない
各ユニット上の光学系は省略



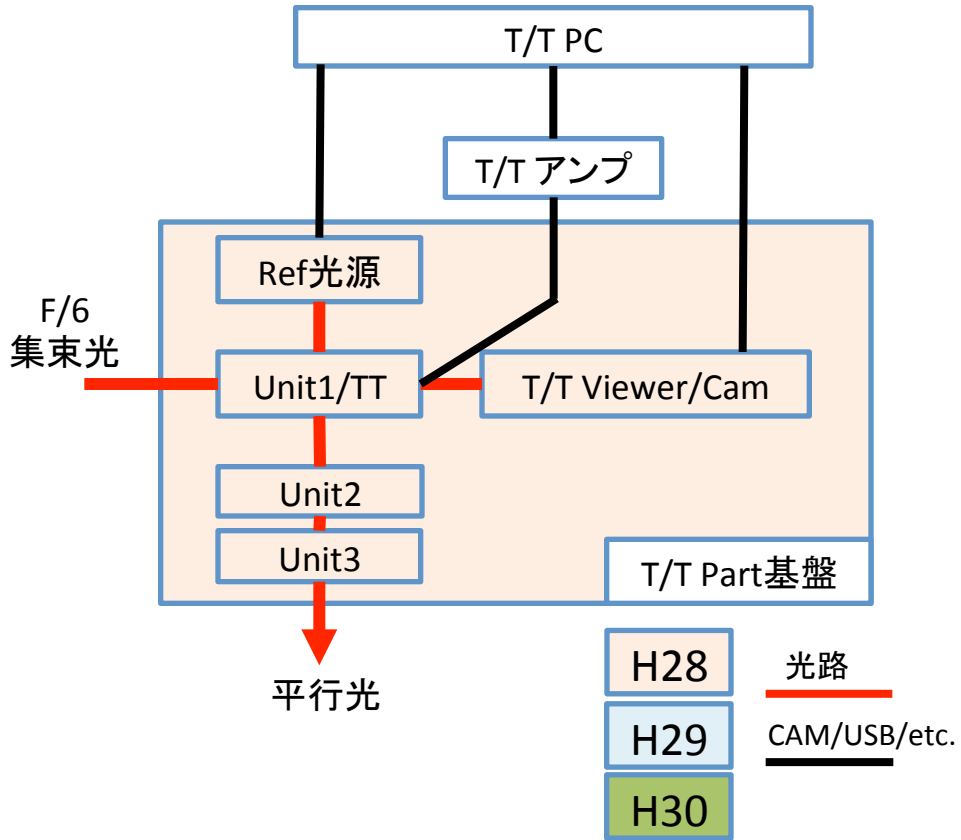
基盤(板)

光学ユニット

最大筐体サイズは~2000x2000x1500

T/Tパート開発

構成要素	項目	状況
Unit1	設計・製作・組み立て	完了
Unit2	設計・製作・組み立て	×
Unit3	設計・製作・組み立て	×
T/T鏡	調達	○
T/Tアクチュエータ	調達・制御	○
T/TViewer	設計・製作・組み立て	×
T/Tカメラ	調達 (Andor Zyla5.5)	○
T/T制御	制御・アルゴリズム	×
光源	調達	×
基板	設計・製作	×
ダイクロイックBS	仕様決定	×
	調達	×
	[Ref:-0.5um, Thr: 0.5- um]	



- ### 開発課題
- **ユニット内調整の手法確立**
 - 精度: 位置100um, 角度1分角
 - **ユニット間調整の手法確立**
 - Unit1-Unit2 (瞳共有)
 - Unit2-Unit3 (焦点共有)
 - **カメラの水冷化**
 - **T/Tループで星像の安定性**
 - 100Hzで0.01arcsec(P-V)

T/Tパート開発

Unit1

Unit2

Unit3

Viewer

基盤

T/T

光源

ダイクロ

現在

調整

Cam
動作

H28

設計,
製作

調整

設計,
製作

調整

設計,
製作

調整

設計,
製作

調整

調整
ループ
試験

調整
試験

動作
試験

ダイクロイックBSは
後段のAOIに導入する

H29

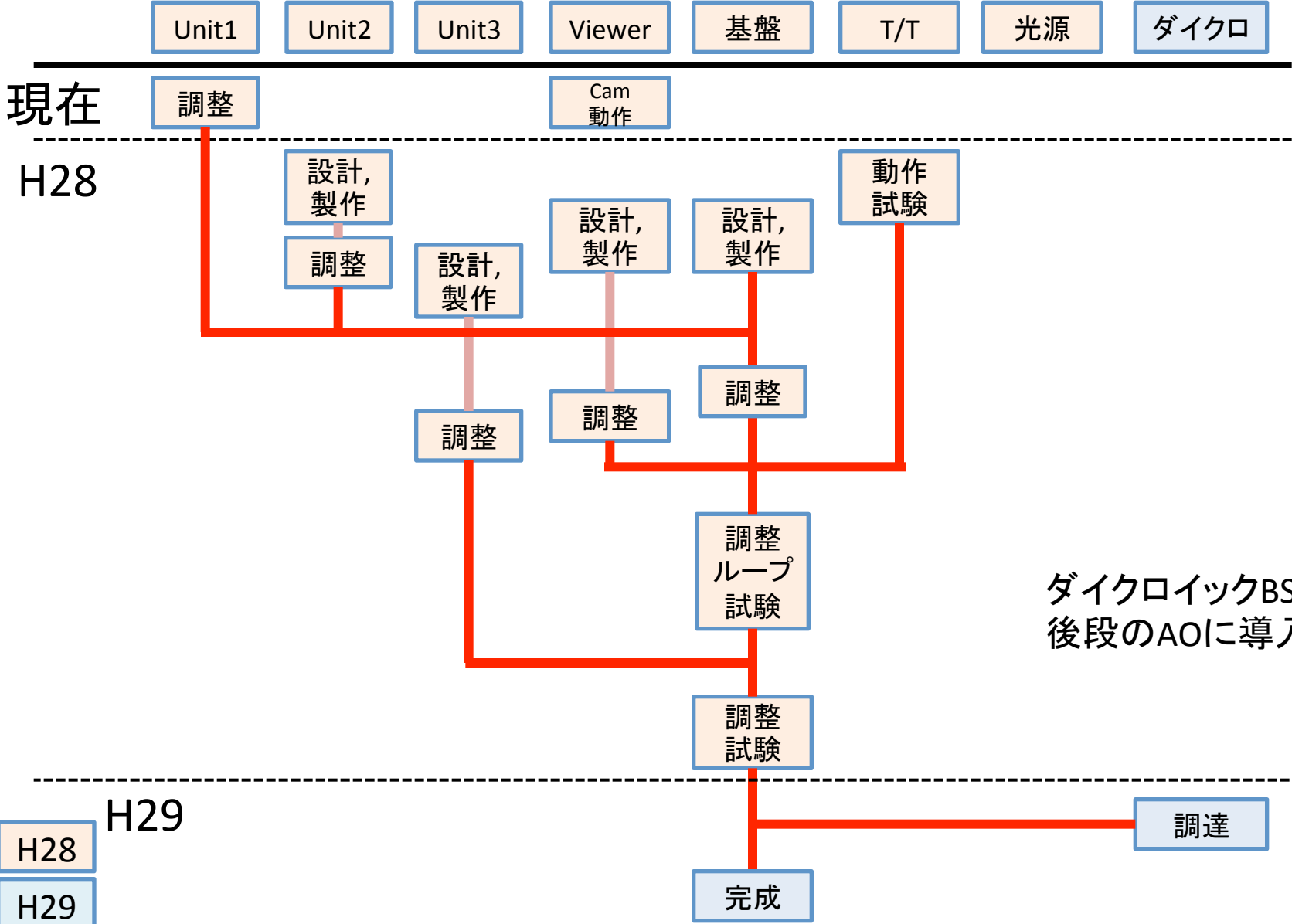
H28

H29

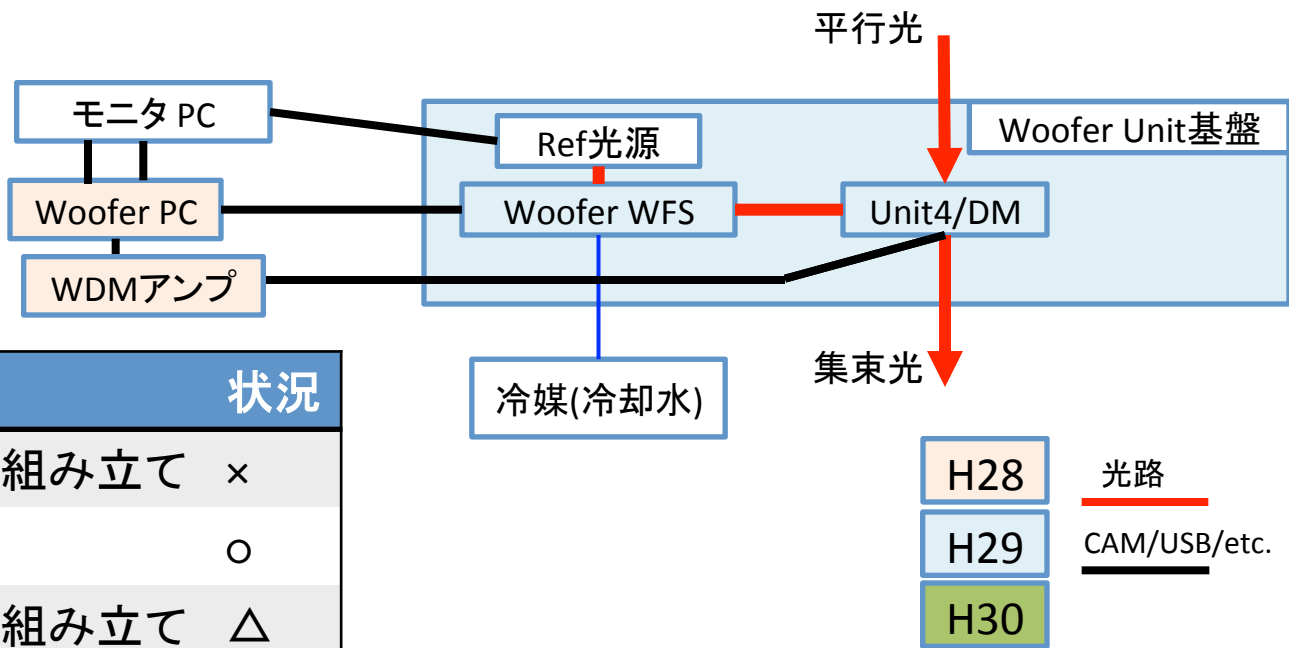
H30

調達

完成



Woofersパート開発



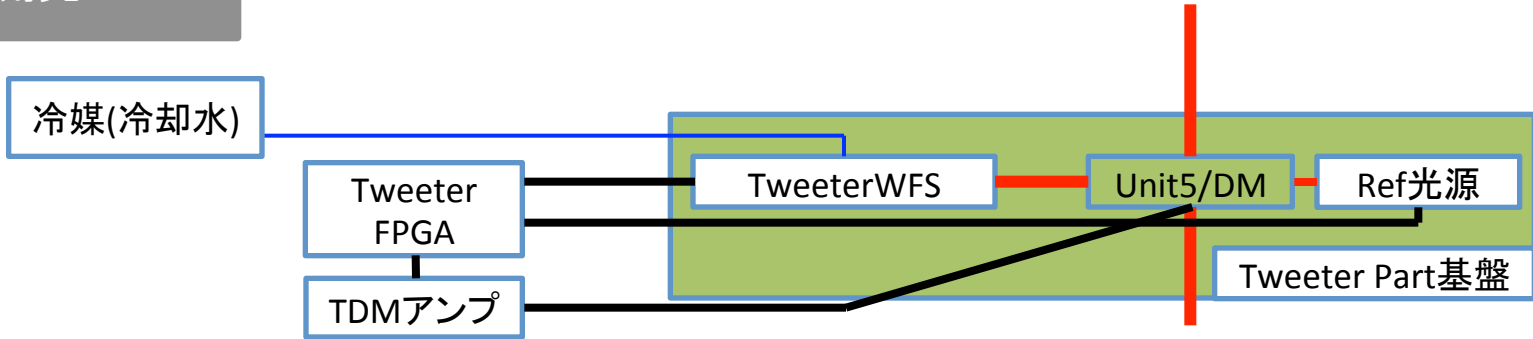
構成要素	課題	状況
Unit4	設計・製作・組み立て	×
DM (Alpao)	調達	○
WFS光学系	設計・調達・組み立て	△
WFSカメラ	調達 (ORCA4.0v2)	○
WFS Unit	設計・製作・組み立て	×
Woofers制御	制御・アルゴリズム最適化	△
光源	調達	×
基板	設計・製作	×
ダイクロイックBS [Ref: -0.5um, Thr: 0.5-um]	仕様決定 調達	×
画像読みだし	調達	×

- 開発課題
- AOループ
 - ループ制御は成功(中村君)
 - 制御パラメータの最適化
 - 最適なWFS素子数
 - 最適なDM素子数
 - WFSカメラ画像読み出し手法
 - (WoofersPCは制御のみ)
 - パラメータとAO性能の試験

Woofers AO: 試験項目

- AOの設計手順の確立:
 - 制御帯域、ゲイン/位相の最適化方法、FBループの最適化など
- DMの測定: 振る舞い
 - アクチュエータのストローク、光学系由来、その他?
- AOの性能評価試験:
 - 試験項目は次ページ

Tweeterパート開発



構成要素	項目	状況
Unit5	設計・製作・組み立て	×
DM (BMC)	調達	○
位相WFS	要素試験・設計・調達・組み立て	×
WFSカメラ	調達 (ORCA4.0)	○
WFSユニット	設計・製作・組み立て	×
Woofer制御	制御・アルゴリズム	×
光源	調達	×
基板	設計・製作	×
ダイクロイックBS[Ref:-0.9um, Thr: 0.9- um]	仕様決定 調達	×

- H28
- H29
- H30

光路

CAM/USB/etc.

開発課題

- FPGA制御の開発
- 位相WFSの開発 (木野さん)
- 最適なWFS素子数
- 最適なDM素子数
- パラメータとAO性能の試験
- SPLINEとの組み合わせ方法
- WooferAOとの組み合わせ

Woofler パート性能評価

パラメータ

vs

測定値

- R [等級] 光源の明るさ
- v [風速], r0 [フリード長]
大気位相板
- Teff [R-J, R-H等]
- 環境温度 [中心温度, rms]
- 振動 [周波数, 振幅]
- T/T安定性 [rms]
- ...

ユニット単位

- σ [波面残差rms]
Strehl ratio $\doteq \sigma$
- 星像安定度 [P-V?]
- radial profile

- 静的: 主鏡形状残差
- 動的: 主鏡制御残差

望遠鏡かみ合わせ後?

SEICA全体: スケジュールと課題(1/4)

- 前置光学系[イメージローテータとADCパート]:
 - H29? H30? H31?、AO完成までに設計と実験完了
 - 筐体内である必要はあるか→あり
 - ImgRotの追随精度とコロナグラフ性能の関係
 - AO試験時の、疑似望遠鏡瞳を設置するか
- T/Tパート: -H28
 - ユニット製作と調整、ユニット間調整の確立
 - TTループ制御、星像安定性
 - ダイクロイックの透過率
 - 内部光源の設計 [白色?,]

SEICA全体: スケジュールと課題(2/4)

- Wooferパート: H29
 - AOループのアルゴリズム・パラメータの最適化
 - AO性能とパラメータの関係性を明らかに
 - 波面センサ画像の取得方法
 - 試験内容
- Tweeterパート: H30, [恒温・?除振?]
 - 制御方式の最適化とFPGA開発
 - PDI波面センサの開発
 - Woofer AOとのくみあわせ方法
 - 試験内容
 - 最終的なAO性能の評価方法検討

SEICA全体: スケジュールと課題(3/4)

- SPLINEパート: H28-29 [恒温・除振必須]
 - AOとの光学的かみ合わせ(Tweeter後だとH30以降)
 - AO性能とコロナグラフ性能の試験
- カメラパート: ?H29-31? ~10,000k円?
 - カメラの調達、[波長域(J, H?)、ノイズetc....]
 - ポストプロセス手法 [SN: FBはtweeterのみ?, TTまで遡るか]
- 筐体:
 - H30? H31? H32?
 - サイズ, 形状, 内部アクセス方法[開放型?/引き出し型?]

SEICA全体: スケジュールと課題(4/4)

- 除振台: H29-31? 優先度はそれほど高くない?
 - 望遠鏡の振動特性→光学系への影響を検討
 - ExAOの試験からFBしたいがH30以降になってしまう
- 恒温槽: ?H29-31? 必須
 - 調整温度範囲($20 \pm 0.05^\circ\text{C}$?), 方式
 - 恒温槽に入れる範囲(必須[AO+SPLINE], AOはtweeterのみ? カメラも必要か?)の検討
- 冷却系: ?H30-31?
 - WFS×2の冷却が必要。望遠鏡側から冷却水・LHeの供給あり(検討中)
- 温度・振動モニタ:
 - 箇所、個数。他の環境モニタは必要か? (湿度など)

SEICA予算状況

獲得

- 科研費: Tweeter用WFS 木野さん

応募中

- ABC サテライト研究: ExAO実機 (光学系) 山本
- TMT経費: SPLINE 実機 (コロナグラフ) 村上さん (北大)

必要

- Tweeter制御用FPGA開発: 2000万? 科研費?
- SEICA筐体: SEICA構造(恒温槽、除振、ベンチ) 2-3000万? 科研費?
- 赤外カメラ: 1000万? 科研費?

SEICA開発

T/T

Woofers

Tweeter

SPLINE

カメラ

除振台

恒温槽

ADC/Rot

筐体

現在

調整

実験室
試験

H28

実験室
ループ
試験

FPGA
開発

WFS
開発
試験

実機
製作
試験

仕様決
定

H29

完成

実機
製作
調整
試験

実験室
ループ
試験

調整

設計,
製作

設計
製作
試験

設計
製作
試験
?

H30

完成

実機
製作
調整
試験

試験

調整
試験

設計
製作
試験
?

H28

H29

H30

H31

H31

完成

調整

完成

