

惑星撮像装置SEICAの開発状況: I

○山本広大(京都大学)、
入部正継, 藤田勝(大阪電気通信大),
木野勝, 西岡秀樹(京都大学),
河原創(東京大学)、小谷隆行(ABC/
NOAJ)、松尾太郎(大阪大学)、
村上尚史(北海道大学)、
田村元秀(東京大学/ABC/NOAJ)

惑星撮像装置SEICA[Second-generation
Exoplanet Imager with Coronagraphic Ao]

<http://www.tmt.org/>



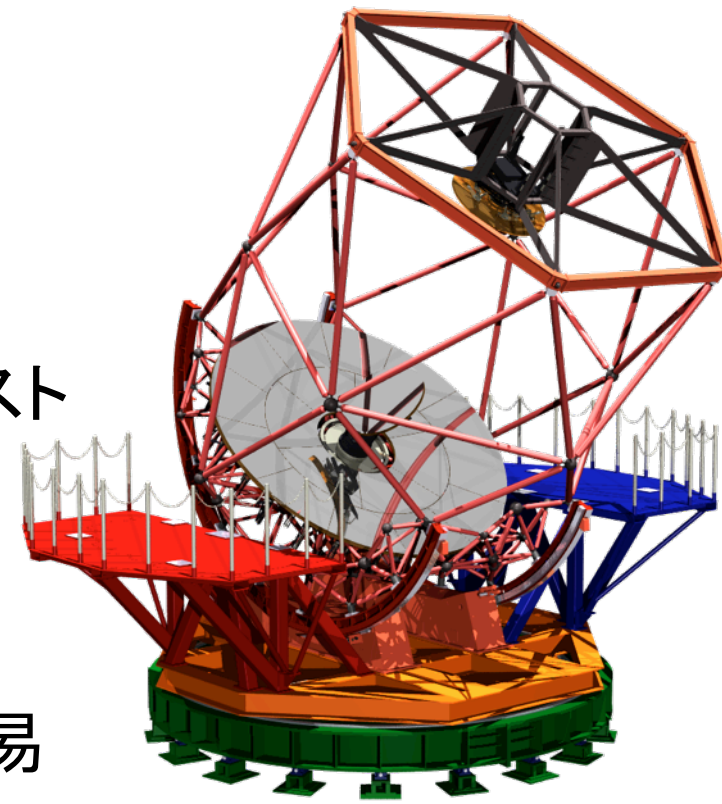
TMTによるハビタブルゾーン
内の地球型惑星の検出・キャ
ラクターゼーションを目指した
観測装置SEIT (Second Earth
Imager for TMT)

SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics)

◆ 目的:

- ◆ $0''.2$ (2AU@10pc) 以遠で木星型ガス惑星の検出 / キャラクターゼーション
- ◆ SEITに接続可能な(先進的)技術のテストベッド
 - ◆ FPGAによる補償光学制御
 - ◆ 位相計測型波面センサ
 - ◆ ナル干渉型コロナグラフ
 - ◆ スペックルナリング
 - ◆ 干渉撮像計
 - ◆ 分割鏡における高コントラスト技術の獲得 etc....
- ◆ 京大岡山3.8m望遠鏡に搭載予定
 - ◆ TMTと同じく分割主鏡(18枚)
 - ◆ 国内設置のためアクセスが容易

京大岡山3.8m望遠鏡



SEICAの基本構成

- ◆ 極限補償光学: 波面補正
- ◆ コロナグラフ (ナル干渉計):
主星光を強く低減
- ◆ ポストプロセス装置
(干渉計撮像/高分散分光装置
など): コントラストのさらなる改善
および惑星光のキャラクタリ
ゼーション

惑星系の再構成

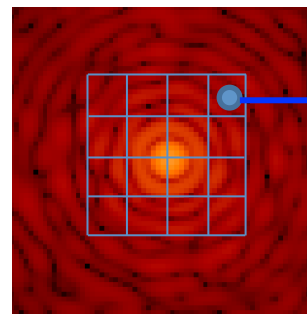


獲得できる情報

- ◆ Planetary radial velocity (質量, 軌道)
- ◆ Planet spectrum
- ◆ Atmospheric characterization
- ◆ Albedo, etc

干渉撮像

空間分解・
高分散分光



望遠鏡より

極限補償光学

コロナグラフ
(SPLINE)

Stellar & Terrucic spectrum

Doppler shifted planet spectrum

Wavelength

SEICA: 開発スケジュール

- ◆これまで～
 - ExAO: WooferAOの制御/実機設計
位相測定波面センサ開発
 - コロナグラフ: ナル干渉計開発

 - ◆FY2017(H29)
 - [本年度]
 - ExAO: TweeterAOの開発(～H31中)
FPGAによるAO制御 etc...
 - コロナグラフ: 実機設計製作
 - ポストプロセス開発(～)

 - ◆FY2018(H30)
 - 赤外カメラ(J, H, (+K?))
 - SEICA筐体[恒温/冷却, 除振, 電気系]
 - ◆FY2019(H31)
 - ExAO+SPLINE実験室試験
- ↓
- 望遠鏡でファーストライト

SEICA-ExAO: 進捗1/2

◆低次補償光学(WooferAO)の試験: 波面センサ(WFS)52素子/可変形鏡(DM)88/PC制御

昨年度(2016年12月)

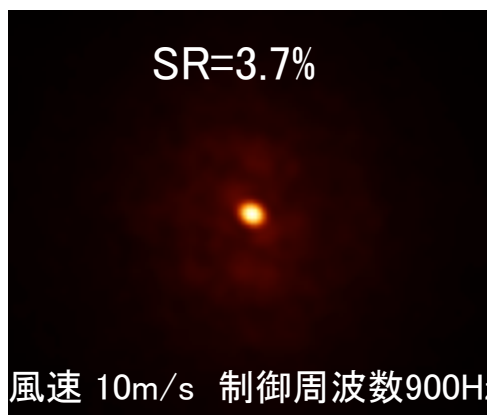
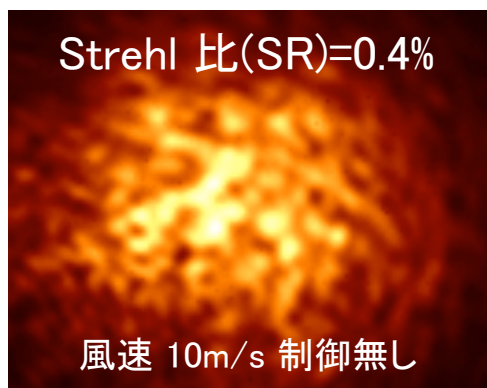
$\lambda = 633\text{nm}$ 風速10m/s
38msec, 416枚(16秒)積分

目標

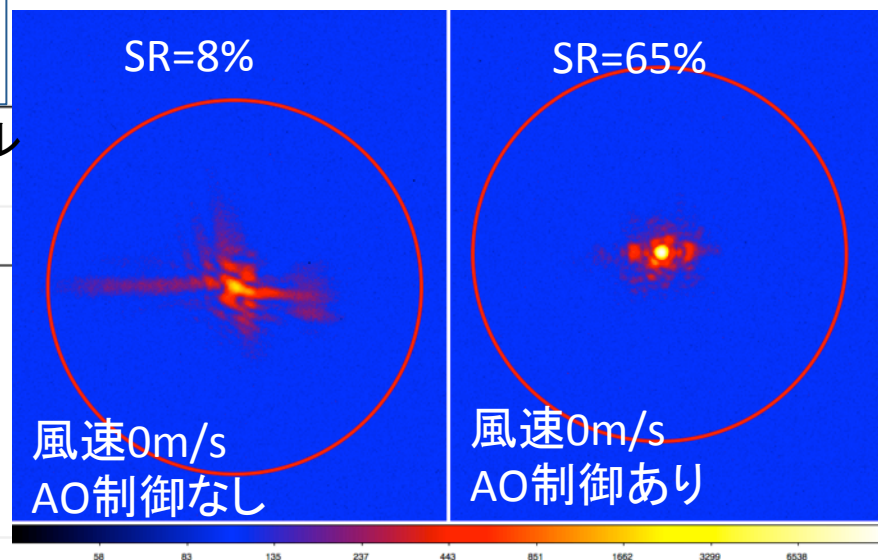
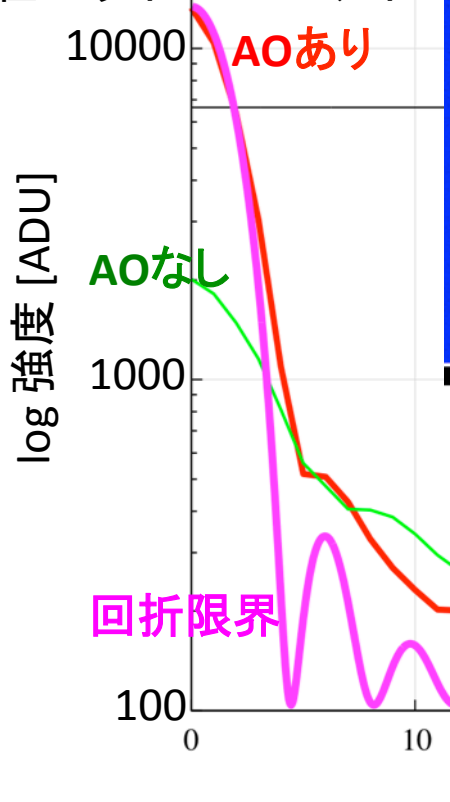
SR=30% (@Jバンド)

FWHM=8".0

2017年8月 (結果検討中)



現在のラインプロファイル

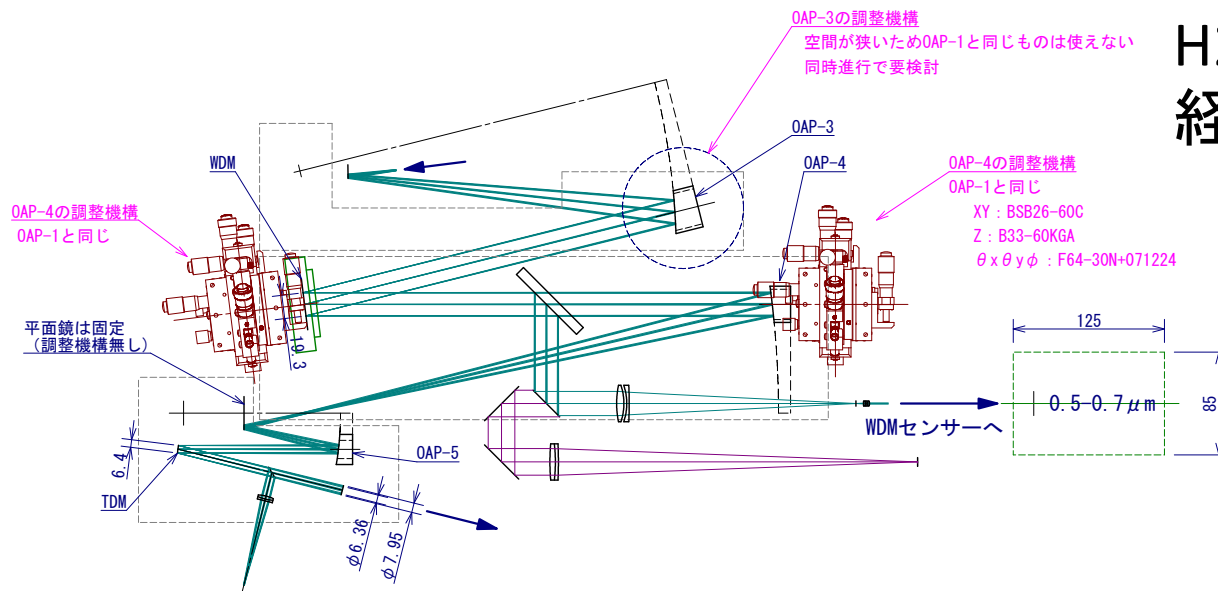


改善した要因(検討中)

- ◆ 試験用光源の高精度化 (SR50% → 90%)
- ◆ DM素子の最適化(52→68)
- ◆ 風速 0m/s

SEICA-ExAO: 進捗2/2

◆低次補償光学(WooferAO)の実機設計:

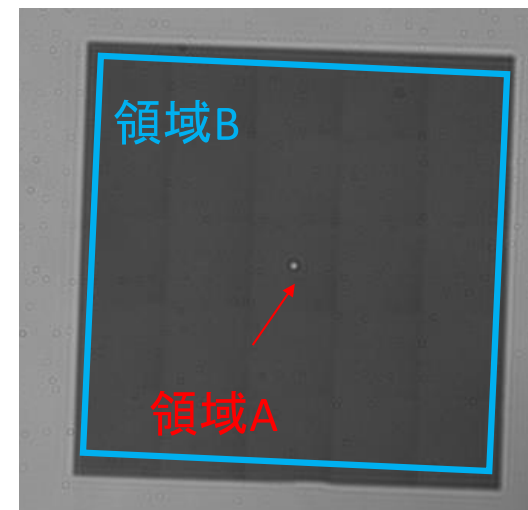


H29年度ABCプロジェクト
経費で設計・製作

◆高次補償光学(TweeterAO)

◆位相計測波面センサ(点源回折干渉計:
PDI)の原理実証試験/性能評価中

◆FPGA(Field Programmable Gate Array)
制御器(試験器)の開発開始



Tweeter波面センサのため
のピンホール型偏光
ビームスプリッタ

SEICA-コロナグラフ: 進捗

◆ 共通光路シアリング干渉計: アクロマティック/安定

◆ SEICA搭載用実機的设计/試験中

◆ 方解石プリズムによる偏光2チャネル構成 → スループット向上

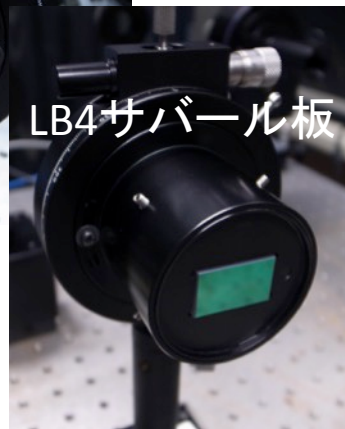
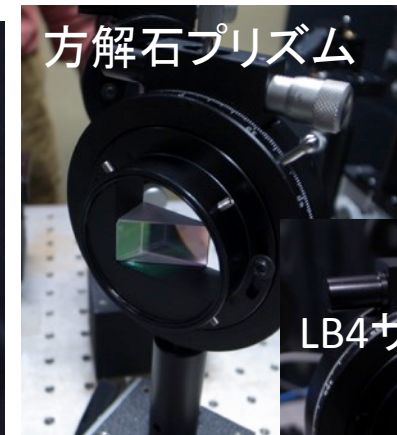
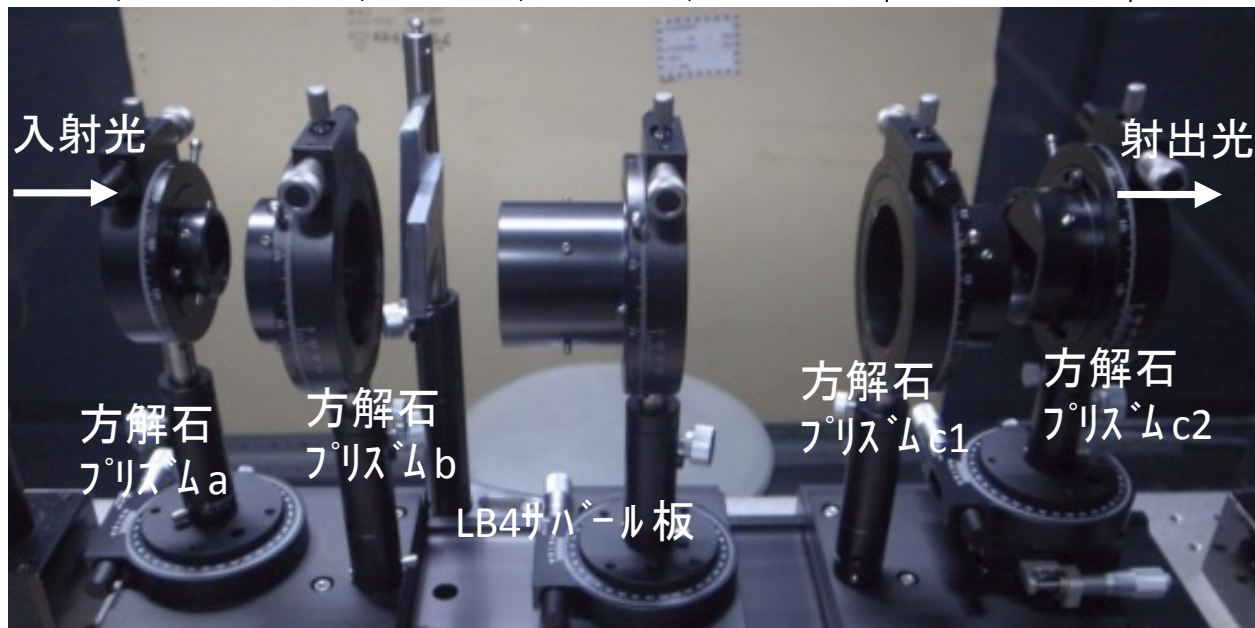
◆ SEICA補償光学と組み合わせた目標コントラスト: およそ $10^{-1.5}$

◆ Xeランプ ($\lambda=500-700\text{nm}$) で 1.7×10^{-2} のコントラストを実証

偏光分離1

横シア

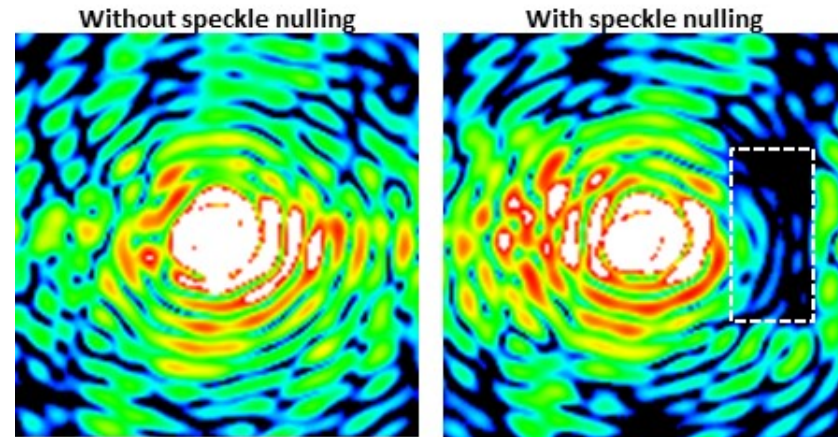
偏光分離2



SEICA-ポストプロセス: 進捗

◆ Speckle nulling技術

- ◆ コロナグラフの残留スペックルを光波面制御により低減 (ダークホール形成)
- ◆ 液晶空間光変調器 (LCSLM) および可変形鏡 (DM) による室内試験を推進 (東大/NAOJ)



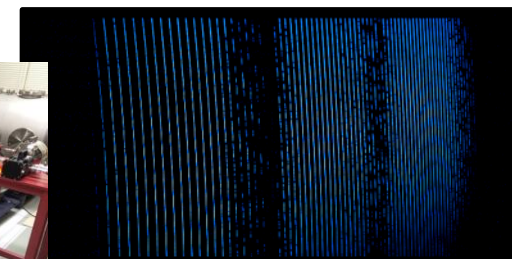
LCSLMによるspeckle nulling実験。ダークホール形成により、1桁以上コントラストが向上

◆ 高分散分光器

- ◆ IRDのHeritageを活用
- ◆ 新しいアイデアに基づく空間分解能を持つ高分散分光器の実証試験中

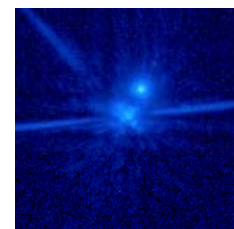
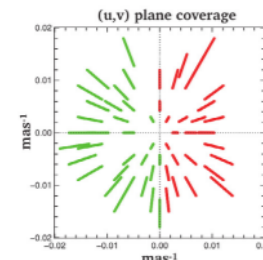
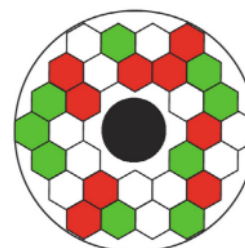


IRD装置



◆ 干渉撮像計 (瞳再配置法)

- ◆ 光干渉計技術によるポストプロセス技術。三鷹実験室実験や、SCEXAO/FIRSTで実証試験中



SEICAの実機構成/予算

設計/製作済

◆ 入射光学系 (～H28)

最終設計中

◆ Woofer AO

◆ ABCプロジェクト

◆ コロナグラフ

◆ TMT戦略経費

検討/試験中

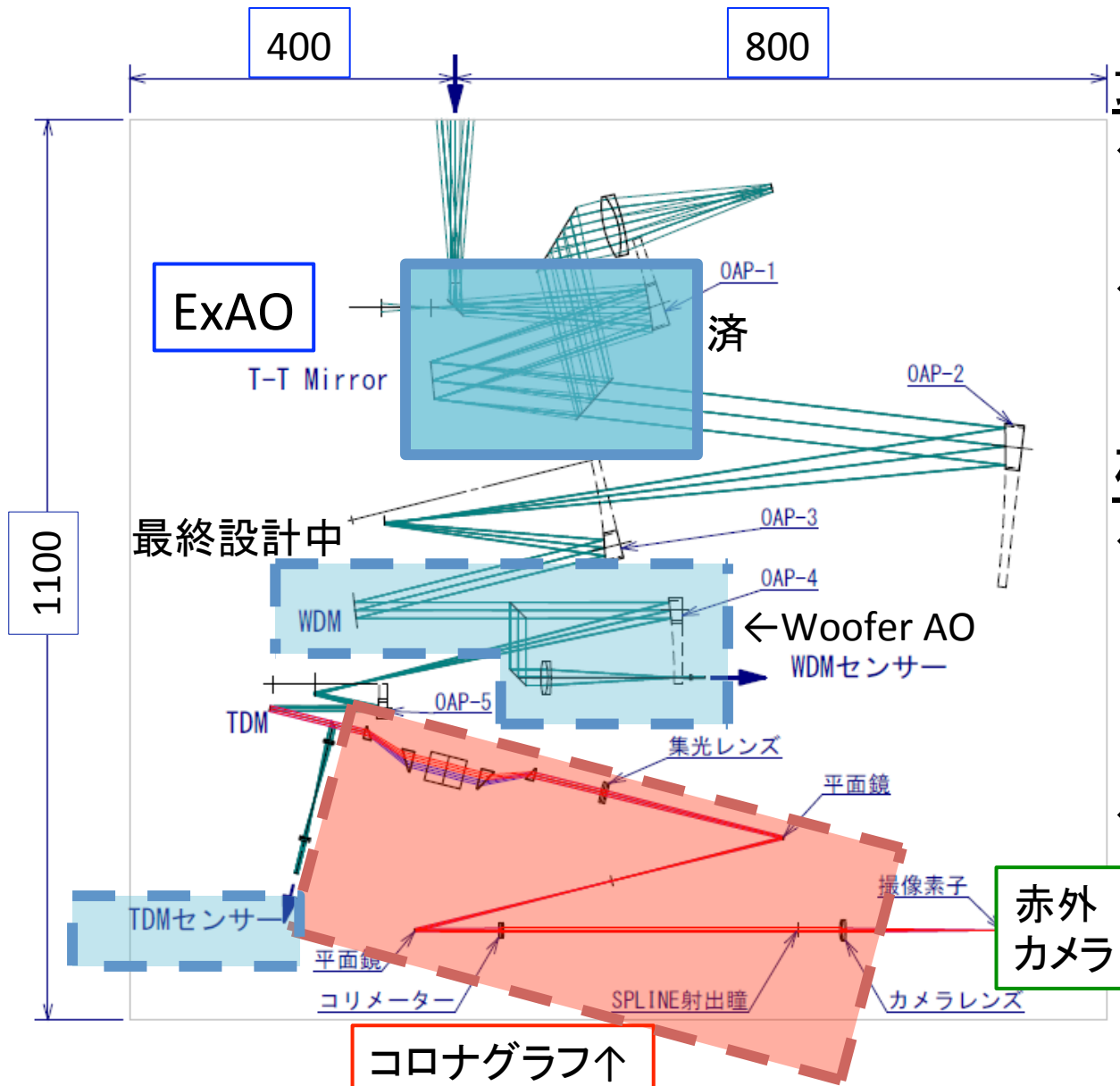
◆ Tweeter AO

◆ 科研費 (波面センサ)

◆ TMT戦略経費
(FPGA開発)

◆ ポストプロセス

◆ RESCUE経費

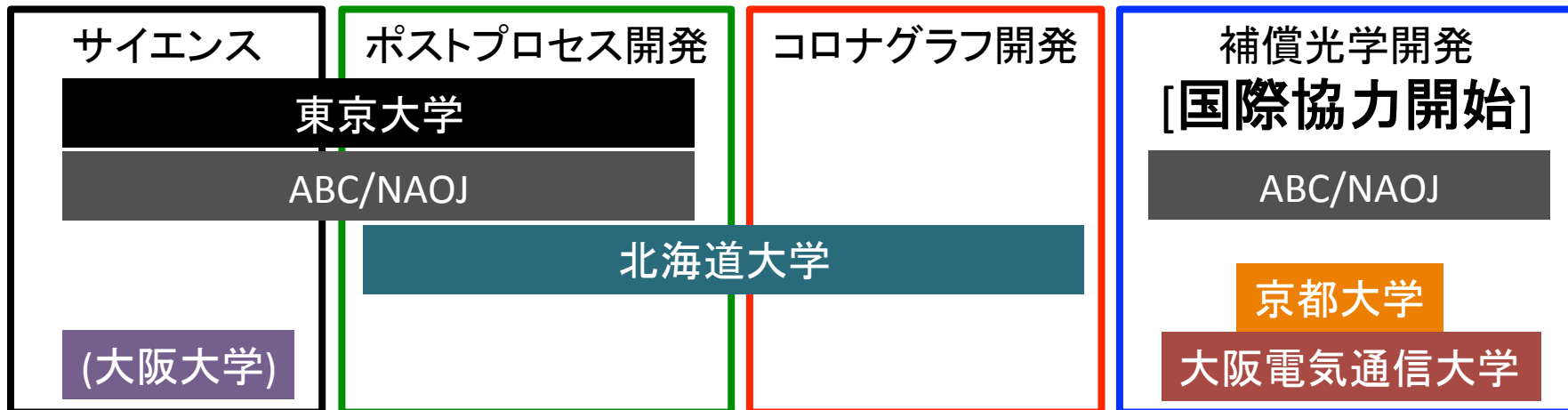


赤外
カメラ

コロナグラフ↑

SEIT/SEICAの国際協力状況と今後

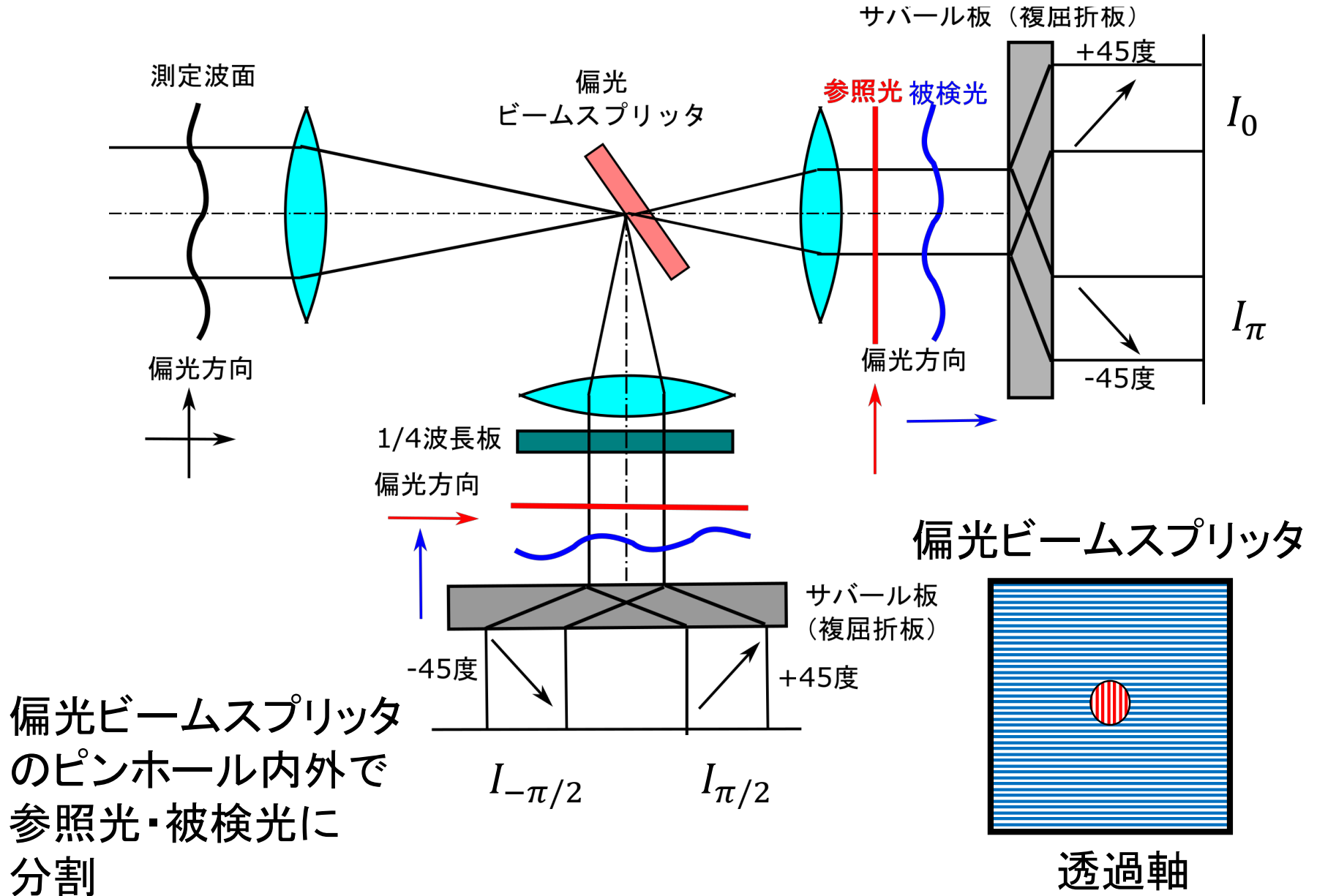
- ◆SEIT/SEICAの国外メンバは現在の所なし
- ◆SEICA-ExAO/FPGA開発でO. Guyon (SCExAO), B. Mazin (UCSB)両氏を共同研究者としてTMT戦略基礎研究費(H29年度)を獲得
 - 採択されたためFPGA開発の共同研究を開始
- ◆SEICA開発をはじめ、SEITと目的の似るSCExAOグループとの合流を検討中



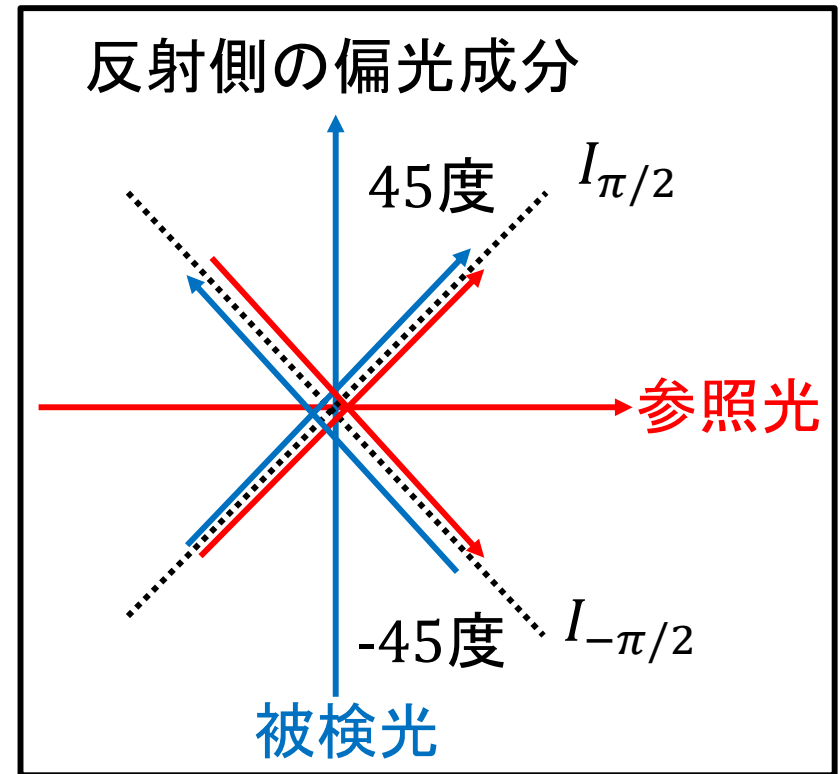
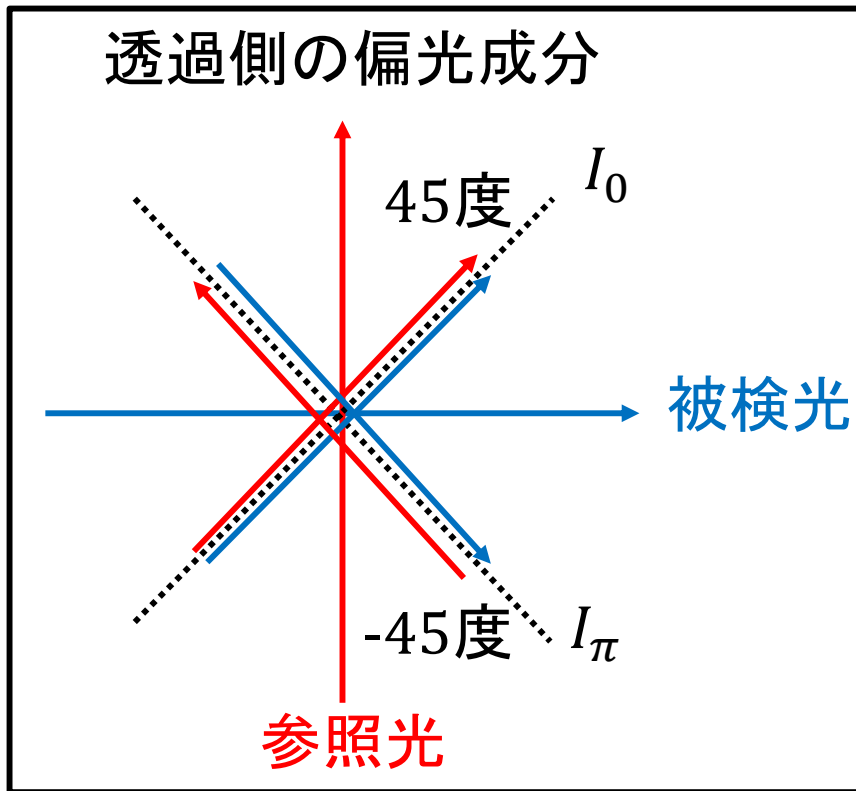
まとめ

- ◆地球近傍のM型星のハビタブルゾーンに存在する地球型惑星の直接撮像/分光観測を目指したSEITを開発中
- ◆SEIT/SEICA実現に必要な各要素技術の開発を複数機関の協力により推進中
 - ◆極限補償光学、コロナグラフ、ポストプロセス
- ◆SEITのプロトタイプとしてSEICAを京大岡山3.8m望遠鏡用の開発中
- ◆SCExAOグループとの共同研究が始まっており、SEICAで培った技術をTMTに活かす際に合流も検討中

点源回折干渉計(PDI)波面センサ



点源回折干渉計波面センサ



参照光と被検光を干渉させて
位相差(波面エラー) ϕ を計算

$$\tan \phi = \frac{I_{\pi/2} - I_{-\pi/2}}{I_0 - I_\pi}$$