

太陽系外惑星撮像装置の開発

○山本広大(京都大学)、
入部正継, 藤田勝(大阪電気通信大),
長田哲也, 栗田光樹夫, 木野勝,
津久井遼(京都大学),
河原創(東京大学),
小谷隆行(ABC/NOAJ),
村上尚史(北海道大学),
田村元秀(東京大学/ABC/NOAJ)

<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・キャラクタリ
ゼーションを目指した観測装置
SEITグループ

Okayama Observatory, Kyoto University

SEIMEI
TELESCOPE



せいめい望遠鏡
ナスミス台(青)占有予定

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

◆ 目的:系外惑星直接撮像

1. 0".2秒角以遠(2AU@10pc)で**木星質量の惑星の検出/キャラクターゼーション**

2. 惑星撮像装置(for TMT)に搭載する**先進技術開発・検証**

熱放射

技術

補償光学

- ◆ FPGA controller for ExAO
- ◆ 直接位相計測型波面センサ

コロナグラフ

- ◆ ナリング干渉計型

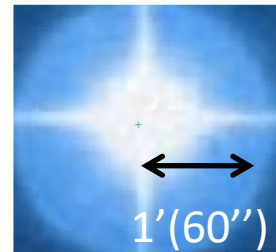
ポスト-
コロナグラフ

- ◆ スペックルナリング
- ◆ 瞳再配置撮像
- ◆ 高分散分光器

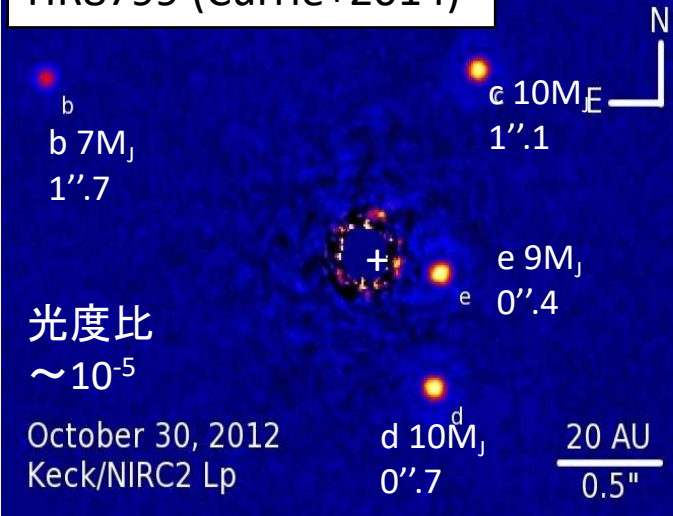
- ◆ 分割主鏡ならではの
高コントラスト技術 等....

◆ 利点:3.8m望遠鏡へ搭載

— 望遠鏡へのアクセスが容易



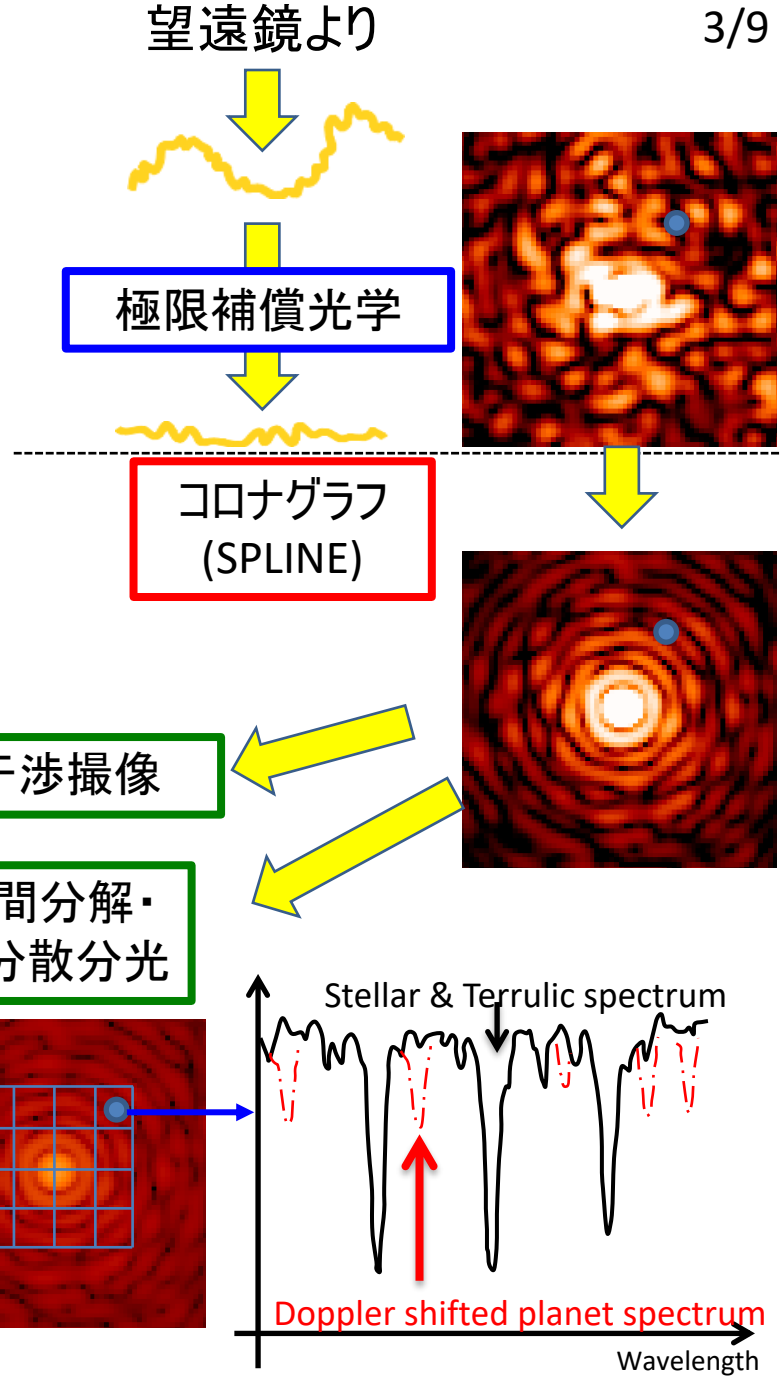
HR8799 (Currie+2014)



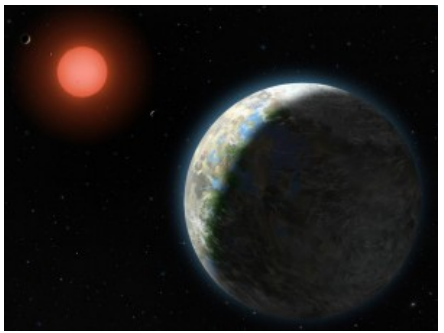
FY.2021 F.L.目標

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

SEICAの要求仕様

スペckルナリング

Image standard deviation (DM flat)

ポストプロセスなし

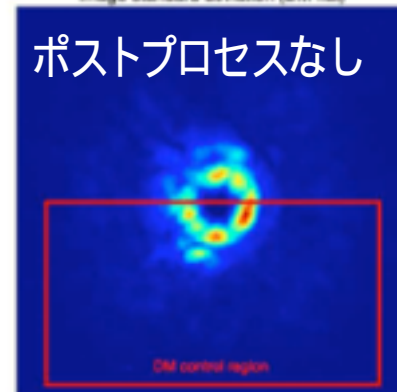
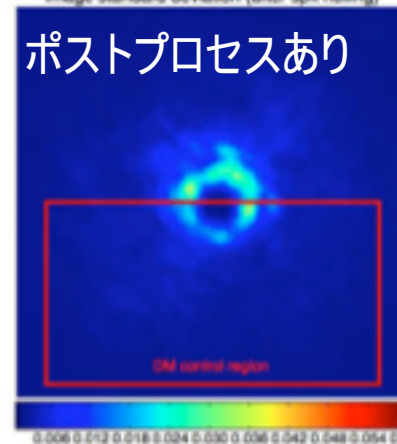


Image standard deviation (after spk nulling)

ポストプロセスあり



SCEXAO: Martinache+2014

◆ 目標 10^5-6 のコントラスト

◆ コロナグラフ: SPLINE:: 瞳面干渉型コロナグラフ

◆ ポストプロセス: スペckルナリング

◆ コロナグラフ + スペckルナリング

– **平面波** で性能を発揮 → 高精度波面補正

– **光軸上** の強度を抑圧 → 高精度星像安定

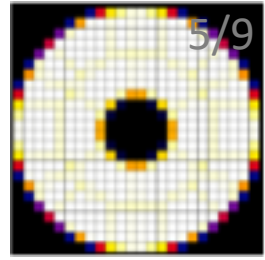
◆ コロナグラフからの要求

◆ 星像安定性: $< 10\text{mas}$

◆ Strehl比: > 0.9 (回折限界は > 0.8)

◆ → 波面残差 $\lambda/20$

~ 60nm (rms; @Jバンド [$1.2\mu\text{m}$])



SEICA: 開発する技術例

◆ AO制御への要求: $\lambda/20 \rightarrow$ ^{サンプリング} 6.5kHz, ~500グリッド

従来の方式(LinuxPC)



波面センサ
[52測定点]



I/Oボード

転送
200 μ sec

LinuxPC



転送
65 μ sec



I/Oボード

制御計算 35 μ sec

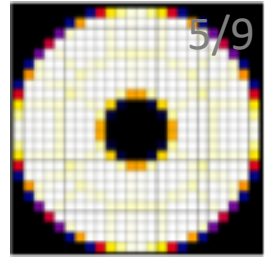
900Hz [1100 μ sec]



可変形鏡
[88制御点]

波面測定から補償まで300 μ secのレイテンシ

\rightarrow 最大でも3kHz



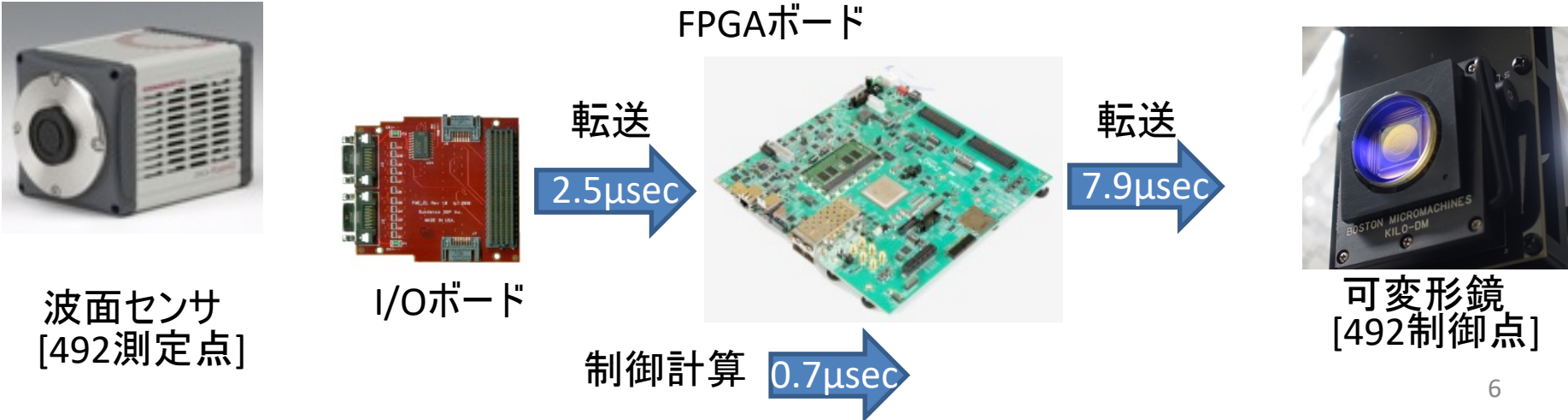
SEICA: 開発する技術例

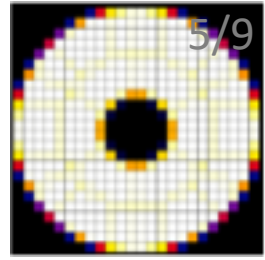
◆ AO制御への要求 : $\lambda/20 \rightarrow$ ^{サンプリング} **6.5kHz, ~500グリッド**

従来の方式(LinuxPC)



◆ FPGAによる多入出力の高速・低遅延制御





SEICA: 開発する技術例

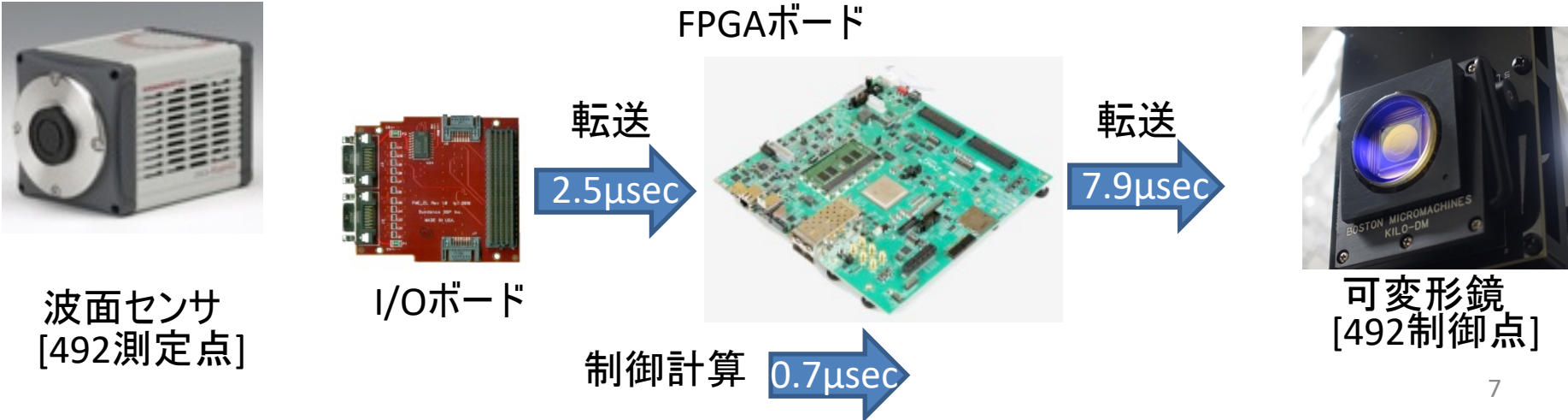
◆ AO制御への要求 : $\lambda/20 \rightarrow$ ^{サンプリング} 6.5kHz, ~500グリッド

従来の方式(LinuxPC)



制御遅延時間が300→11µsecへ

◆ FPGAによる多人出力の高速・低遅延制御



SEICA: 体制

◆ 5機関/9名でそれぞれ開発進行中

◆ 補償光学

- 全体光学系:
- 波面センサ:
- FPGA制御装置:

京都大学
京都大学
大阪電気通信大学

◆ コロナグラフ

- コロナグラフ系:
- スペックルナリング:
- 惑星RV分光器:

北海道大学
北海道大学
東京大学

◆ ポストコロナグラフ

	原理実証	実験室実験	実機製作	完成
■ 全体光学系	■	■	■	
■ 波面センサ	■			
■ FPGA制御	■	■		
■ コロナグラフ	■	■	■	
■ スペックルナリング	■	■		
■ 惑星RV	■			

サイエンス

ポストコロナグラフ開発

コロナグラフ開発

補償光学開発

東京大学



ABC/NAOJ

北海道大学



京都大学



大阪電気通信大学



SEICA: スケジュール/予算

- ◆ 目標: 2021年度中のFLを目指す
 - '19. ExAO光学系Woofersまで製作、Tweeter設計、コロナグラフ、筐体製作、赤外カメラ調達、PDI原理実証
 - '20. Tweeter製作、PDI評価試験、全体試験、ポストコロナグラフかみ合わせ
 - '21. 全体試験、望遠鏡搭載
- ◆ 予算:
 - a) H31年度 基盤A(長田)2年目1800万
 - ◆ カメラ: ~500万
 - ◆ 光学系: ~500万
 - ◆ 構造系: ~400万
 - ◆ 冷却系: ~400万
 - b) H31年度 TMT戦略経費
 - ◆ FPGA開発: 240万
 - ◆ コロナグラフ: 260万



サイエンス用赤外カメラ
 FIRST LIGHT
 C-RED2 (InGaAs)
 640x512 pix
 15um pitch
 最大600FPS
 RON < 30e-
 水冷+ペルチエ: -40°C

SEICA: 今後の方針

- ◆せいめい望遠鏡への搭載 (後述)
- ◆TMTへの技術採用: FPGA, コロナグラフ, 波面センサ
→SEIT: Second Earth Imager for TMTグループへ発展

～TMTの光赤外撮像分光装置(第2期装置)～

- **PSI-blue**: Planetary System Imager:: SEITグループが合流
- **MICHI**: Mid-Infrared Camera, High-disperser, & IFU
- **MODHIS**: Multi-fiber High-resolution NIR spectrometer
- ◆光赤外線天文連絡会の将来連絡会からWhite Paper (WP)提出の要請
 - 7月末: WP前段階のLOI要請→PSI-blueとして提出
 - 8～10月: LOIを元に類似する計画の統合提案(予想)
 - 12月末: WPの提出

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PSI-blueが提案されている
- ◆PSI-blue/SEIT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...
- ◆PSI-blue/SEITのプロトタイプとしてSEICAをせいめい望遠鏡用に、2021年度のF.L.を目標に開発中

