



## TMT 次世代装置の提案

# **TMT-AGE:** **TMT Analyzer for Galaxies in the Early universe**

超広視野多天体補償光学系の要素開発

[http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/index\\_Res\\_TMTinst.html](http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/index_Res_TMTinst.html)

秋山 正幸 (東北大学)

2013/12/17

第3回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

## 8.2m すばる望遠鏡から 30m 望遠鏡 TMT へ

16 倍の集光力、  
4 倍の空間分解能、  
背景光限界では 16 倍暗い点源を検出できる。  
(明日の高見講演参照)

## TMT-AGE:メンバー

### 1. 東北大学補償光学系グループ

性能シミュレーション、要素技術開発、RAVEN開発への参加

秋山 正幸、大野 良人 (D1)、増田 貴大 (M2)

### 2. すばる望遠鏡補償光学系グループ

システム検討、光学系基礎設計、RAVEN開発への参加

大屋 真、早野 裕、尾崎 忍夫、岩田 生、高見 英樹

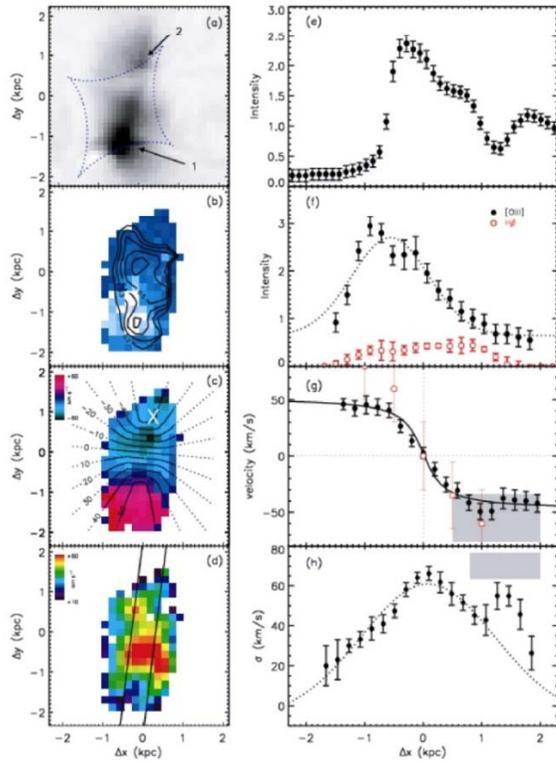
### 3. 東北大学光 MEMS グループ

MEMS 可変形鏡の開発

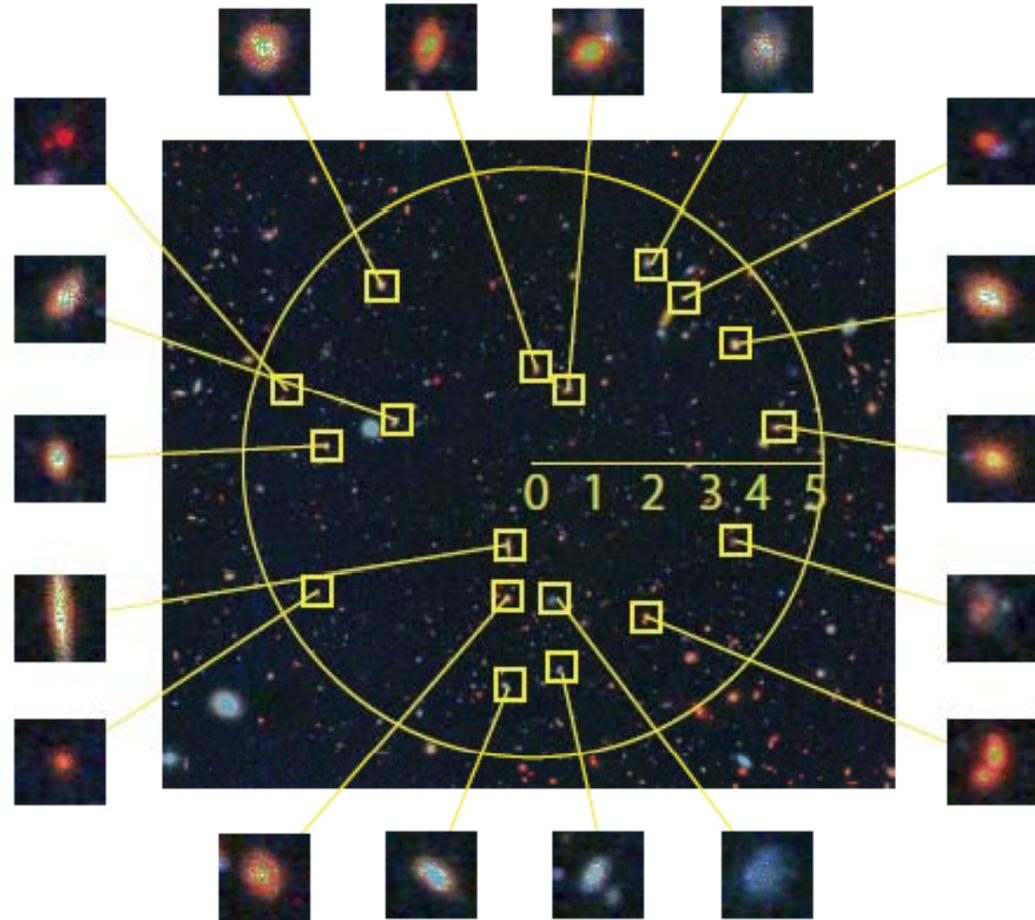
羽根 一博、呉 同 (PD1)

# TMT-AGE: 科学目標

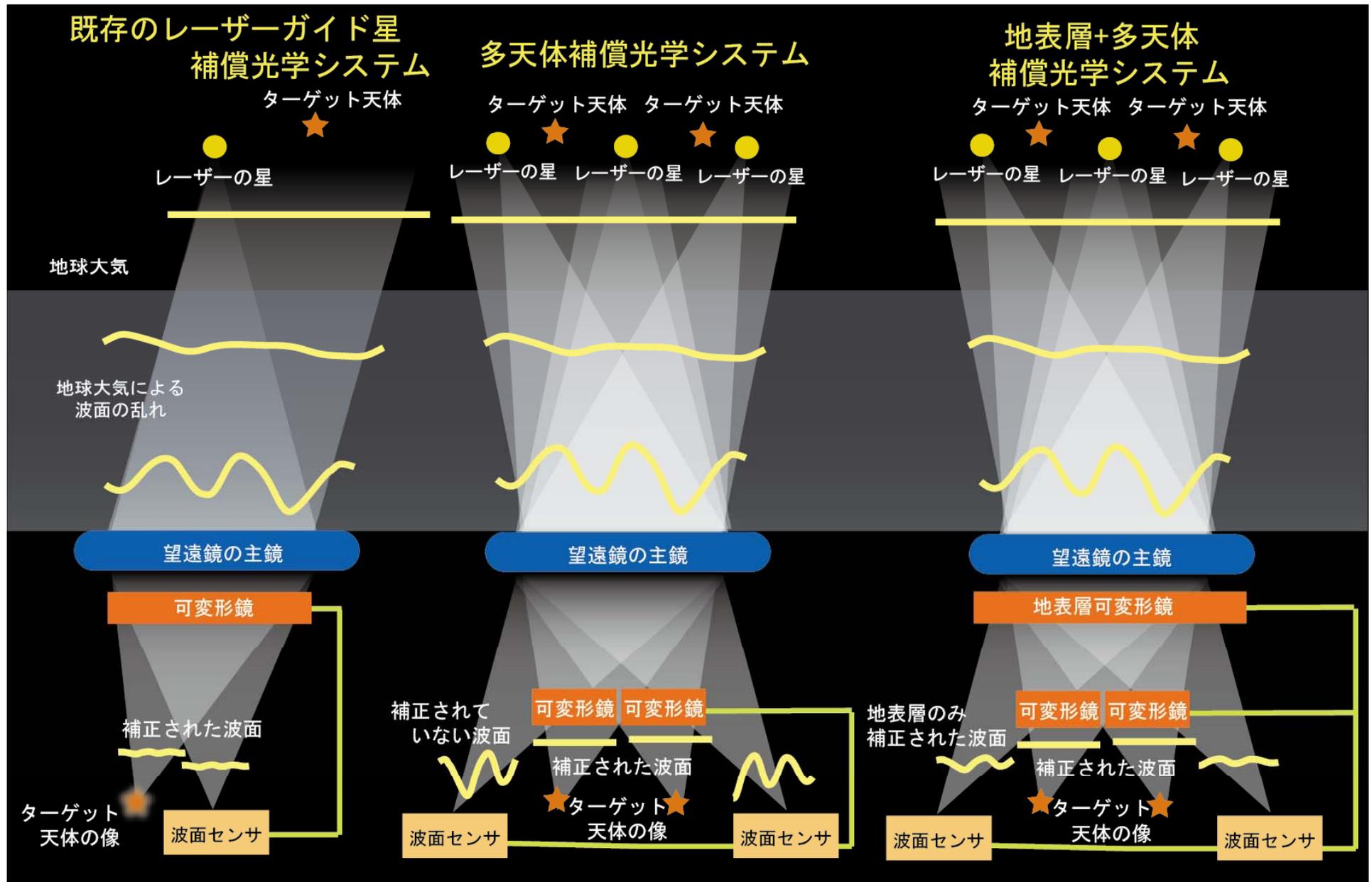
## 多数の銀河を補償光学で同時に観測する



重力レンズを用いて有効的に 100pc (20-40mas) の分解能で  $z=3$  銀河を観測した例 (Stark et al. 2008 Nature, 455, 755)。この空間分解能を達成することで遠方の銀河が回転している様子が始めて確実に捉えられた。



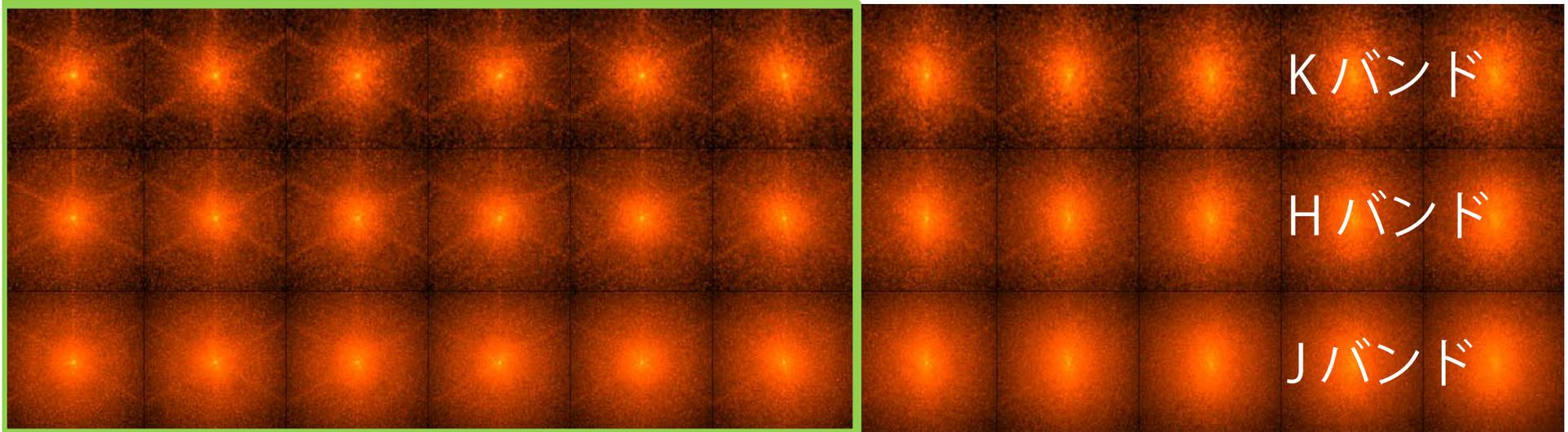
# TMT-AGE: 多天体補償光学系



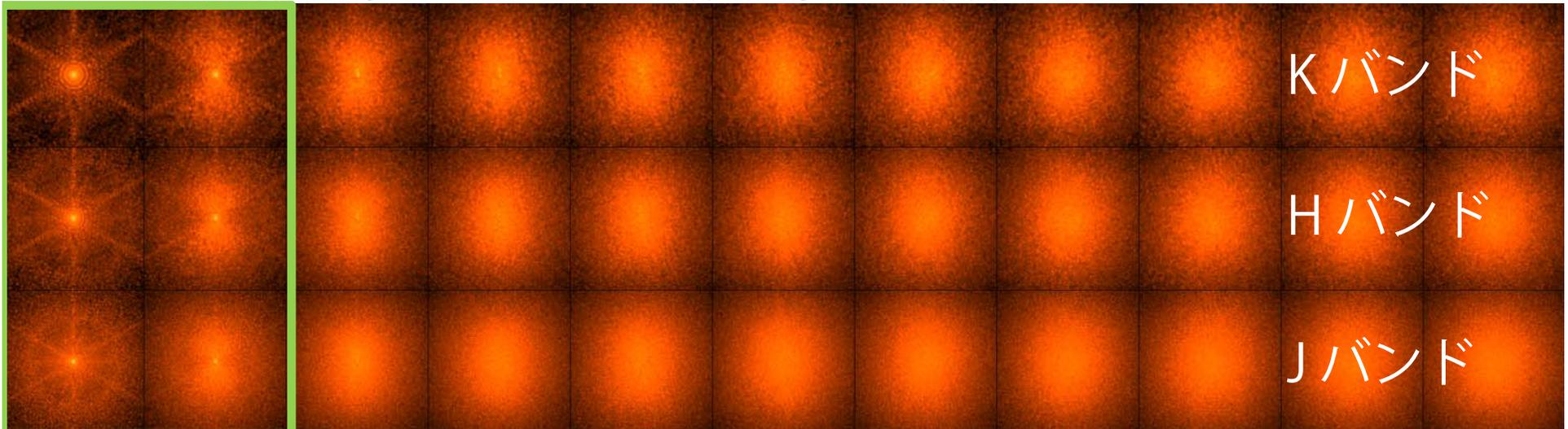
# TMT-AGE: 点像関数シミュレーション

0"                  60"                  120"                  180"                  240"                  300"

TMT 多天体補償光学系の場合



TMT 初期補償光学系：多層共役補償光学系の場合



## TMT-AGE : 装置仕様概略

波長	0.8-2.4um	
視野と補償性能	<u>直径 5 分角で高い補償性能</u> ~ <u>回折限界</u> <u>直径10分角で低い補償性能</u> ~ <u>地表層補償光学系</u>	TMT-IRMOS では 直径 5 分角
空間サンプリング	0.05x0.05秒角、2.2秒角視野 0.2x0.2 秒角	~2000 空間素子数
分光器の数	<u>20台の IFU</u>	天体の密度
波長分解能	~3000	

これらの値は現状での目安であり、科学目標に基づいて技術的に可能な仕様を設定することが現在の可能性検討の目的である。

## TMT-AGE: 要素技術開発

2015年度までの光学系・機械系検討および要素開発でTMTへ向けた装置提案として概念設計に至ることを計画している。

現在進めている開発、検討は以下の通りである。

1. 多天体補償光学系のシミュレーションによる性能評価 (大野発表参照)
2. 光学系・機械系の概念設計に基づくシステム検討
3. 並列計算機による高速トモグラフィック波面推定の実証
4. 多天体補償光学系の実験室実証
5. 多天体補償光学系 RAVEN による on-sky 実証試験
6. 補償光学系の**オープンループ制御**
7. EM-CCD を用いた波面センサーの評価
8. 小型多素子大ストローク可変形鏡の開発

## 2: 光学系の概念設計：広視野前置共通補償光学系

オプトクラフト社による光学系検討結果。視野直径 5 分角の場合の解。  
改良オフナー系の副鏡を可変形鏡にして、視野内に共通の成分 (~地  
表層成分) を除くことを考えている。

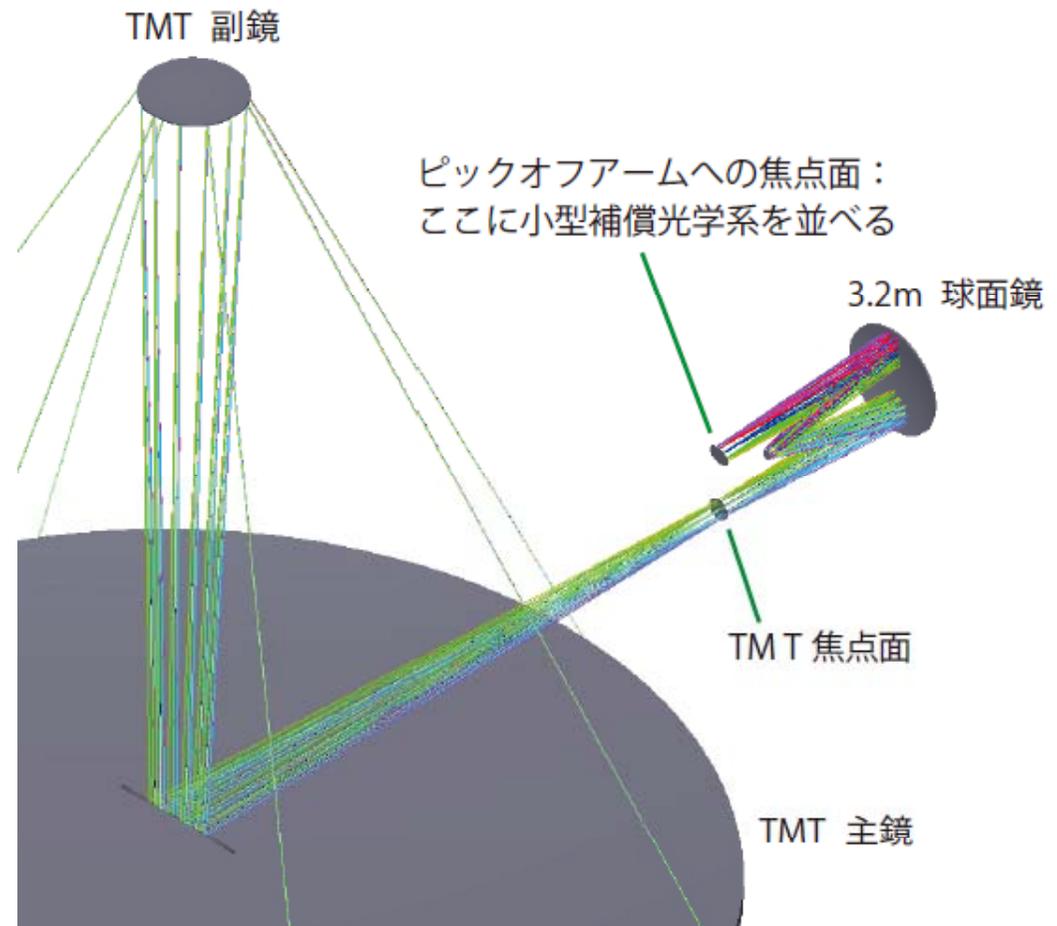
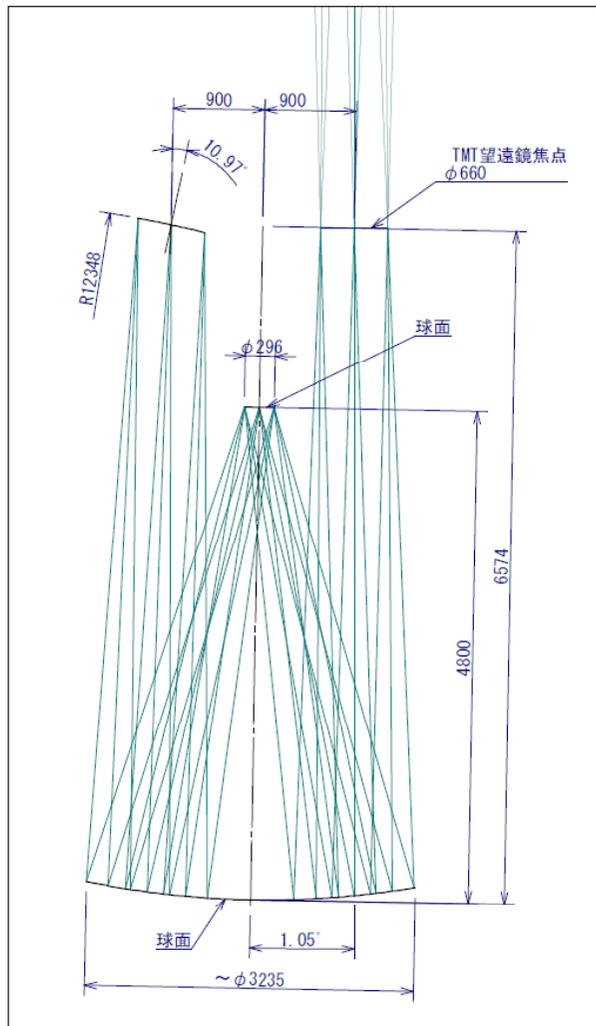


図 2. 球面鏡によるオフナー改光学系：オフナーリレー光学系部分光路図

## 2: 光学系の概念設計: 個別の天体に対する補償光学系

個別の天体に最適化した補償を行う補償光学系の模式図。

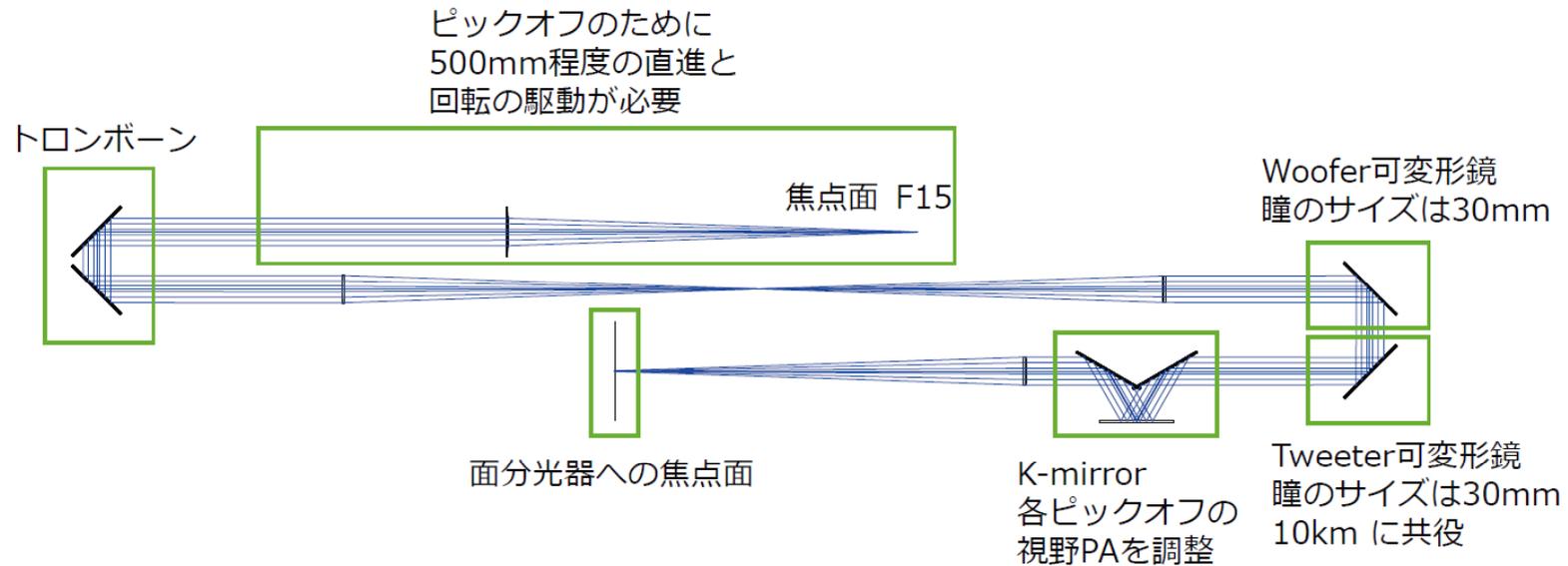
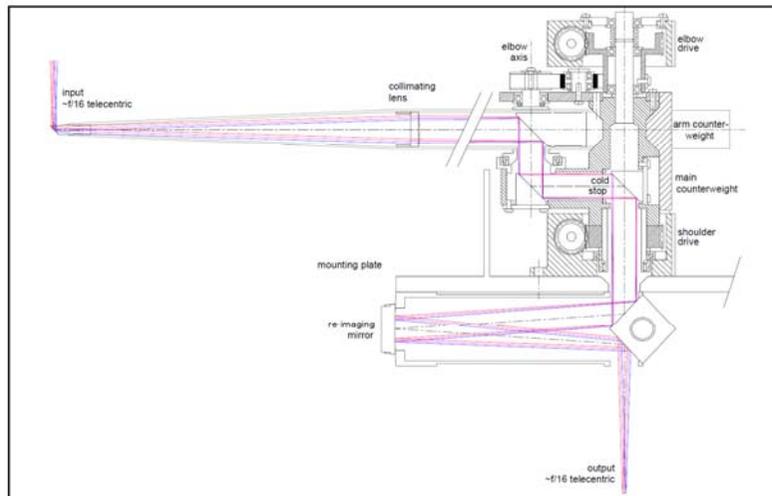


図 4: 個別補償光学系のピックアップ部分に求められる構成要素の模式図。

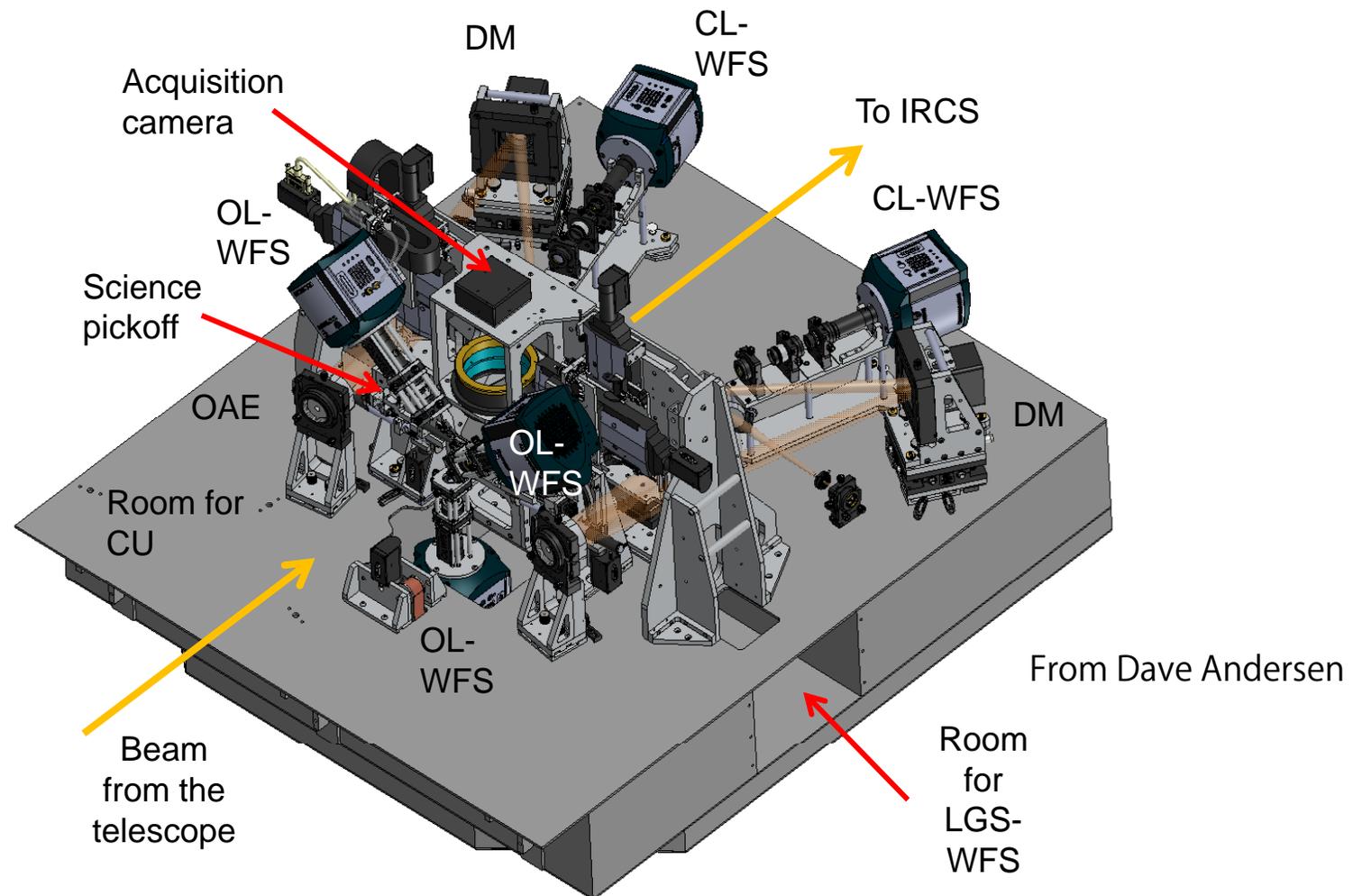


ピックアップアームの構造の例  
VLTのKMOSという装置で使われているピックアップアーム。補償光学系は組み込まれていない。

## 5: RAVEN: すばる望遠鏡を用いたMOAOの実証試験観測

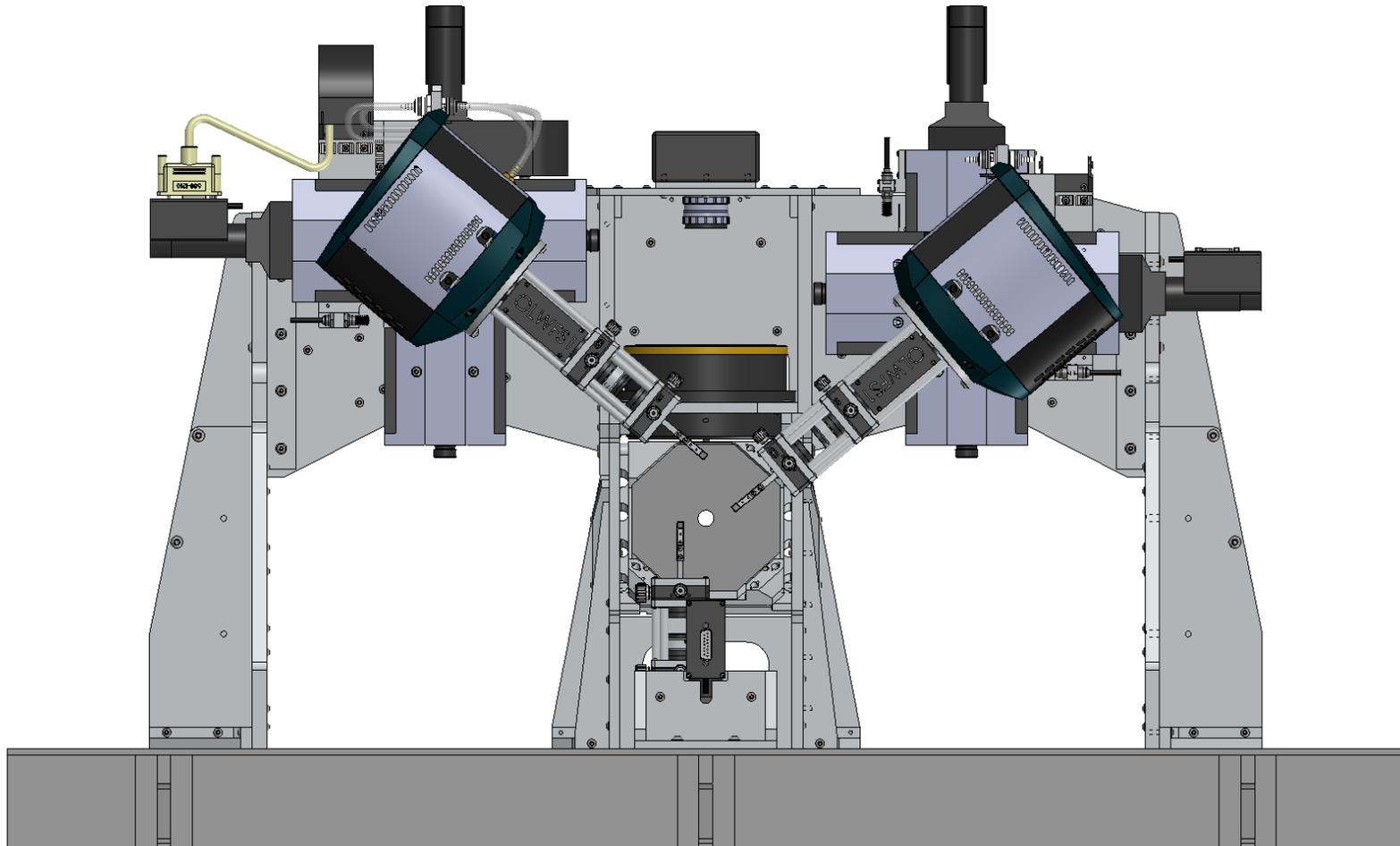
ビクトリア大学においてすばる望遠鏡でのMOAOの実証試験機RAVENの開発が進められている(PI: Colin Bradley)。すでにすばる望遠鏡への輸送が手配され、2014年5月に実際にすばる望遠鏡での試験観測を行う予定。

大学院生(大野)を1年にわたって派遣予定。



## 5: RAVEN: すばる望遠鏡を用いたMOAOの実証試験観測

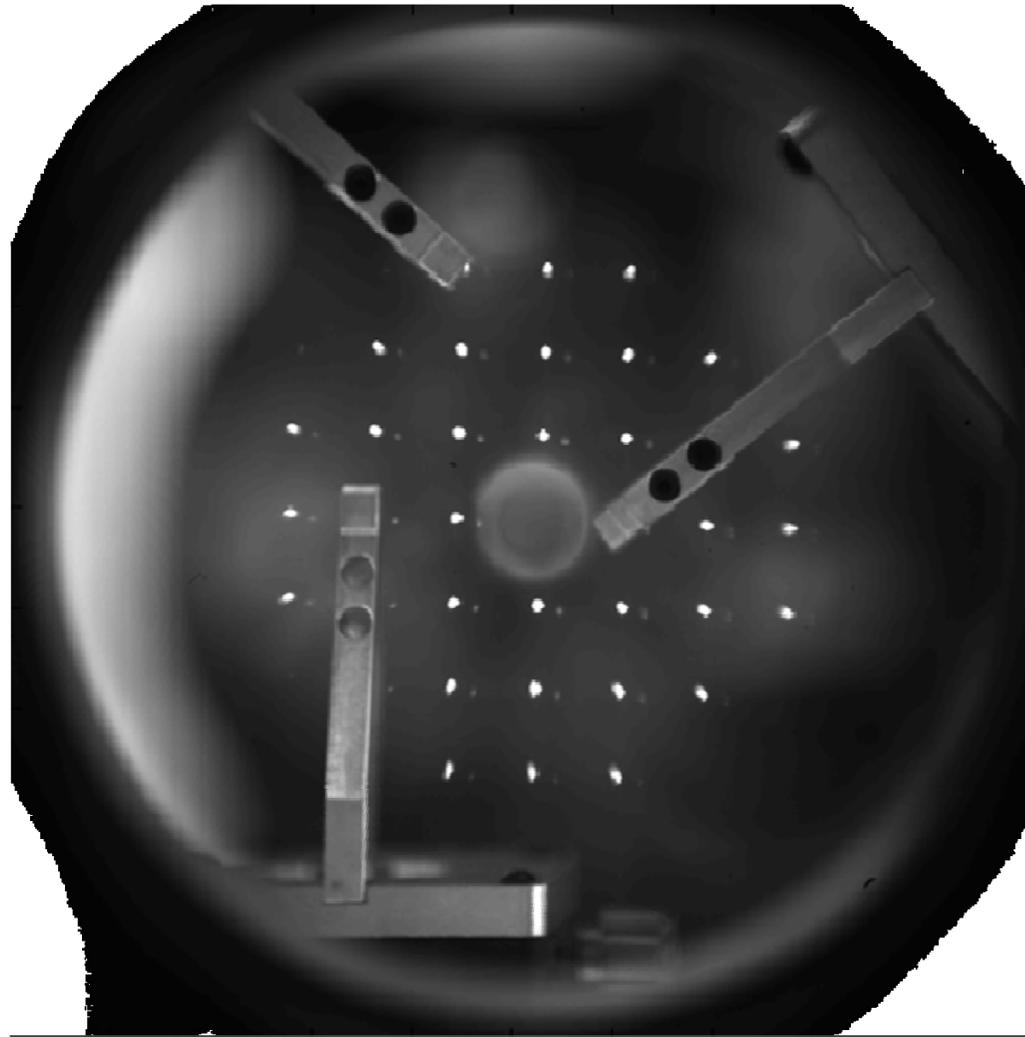
Open-loop wavefront sensor design



From Colin Bradley

## 5: RAVEN: すばる望遠鏡を用いたMOAOの実証試験観測

焦点面の疑似光源をオープンループの波面センサーにピックアップしている様子を示す。



From Colin Bradley

### 3: GPGPUによる高速トモグラフィック波面推定の実証

TMT の補償光学系においては補償に必要な素子数の増大によりリアルタイム制御のための計算量が膨大となり、十分に短い時間での計算を実現することは初期補償光学系 NFIRAOS においてすら 1 つの開発課題となっている。

多天体補償光学系においては特にそれぞれのターゲットに対して最適化した計算を行う必要があり、制御計算機を出来るだけ安価に実現したい。

そこで近年著しく性能向上しているグラフィックボードを用いた汎用並列計算 (GPGPU) を用いて

- 多素子波面センサーの波面測定の高速計算
- トモグラフィック波面推定の高速計算

を行い、十分に高速な波面推定、補償が行えることを実証する。



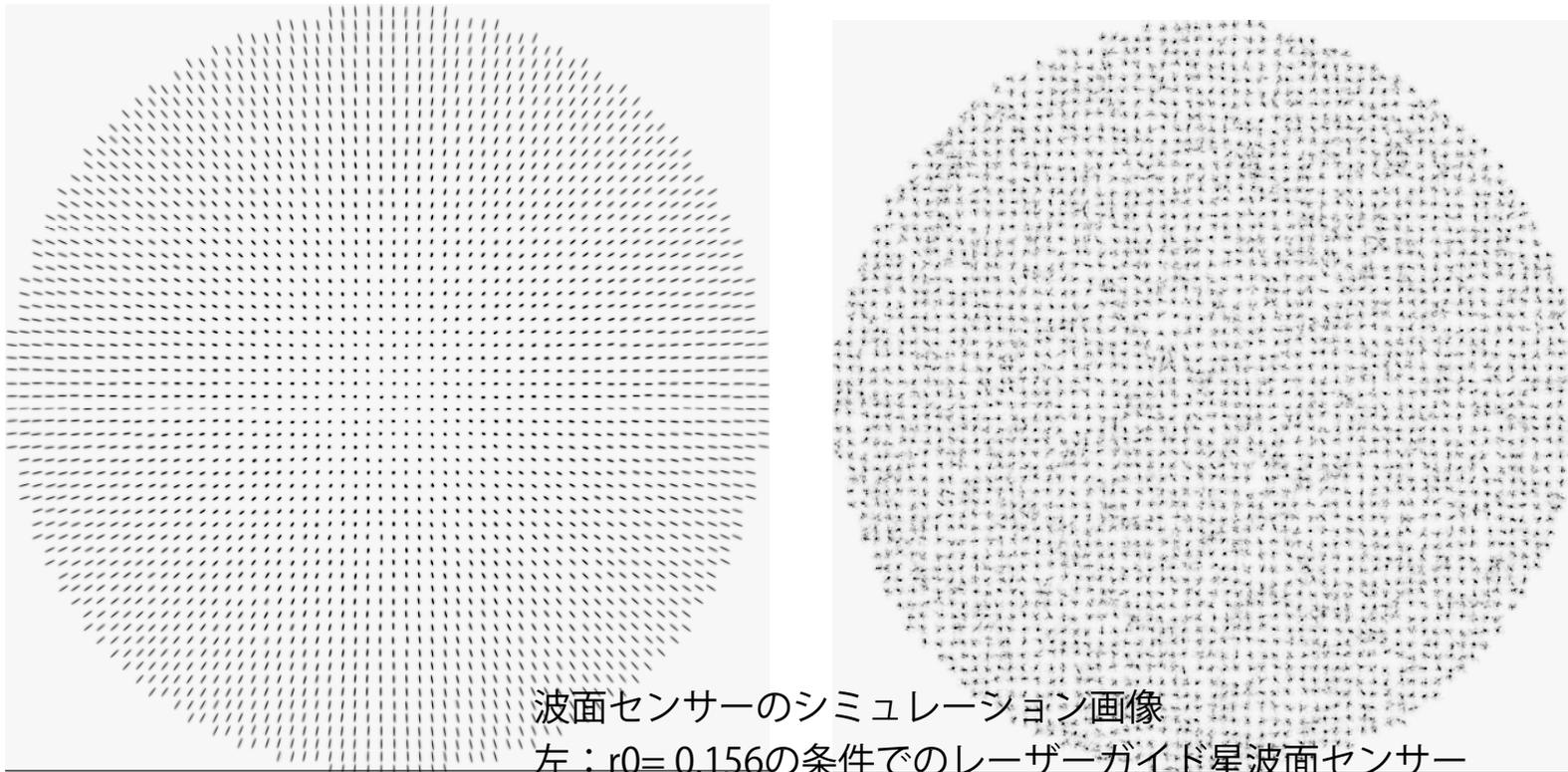
計算に使用した GPGPU ボード

- 左：Nvidia Tesla C2070
- 右：Nvidia GeForce GTX Titan

### 3: GPGPUによる高速トモグラフィック波面推定の実証

シャックハルトマン波面センサーのシミュレーション画像を用いて GPGPU での波面測定にかかる時間を評価した。

60x60 素子 (15pix sampling) のシャックハルトマン型波面センサーのデータ処理にかかる時間は画像データの転送時間も含めて 0.3-0.4 ms 程度で十分に高速なデータ処理が行えている。画像データの転送時間の分 0.1ms 程度は現状のボードでも PC 側のアップグレードで短縮が可能。



波面センサーのシミュレーション画像

左： $r_0=0.156$ の条件でのレーザーガイド星波面センサー

右： $r_0=0.08$ の条件での自然ガイド星波面センサー

## 8: 小型 大ストローク多素子 MEMS 可変形鏡の開発

- 4x4 素子の試作品の例。実際に駆動した結果を右側に示す。ストローク 4 $\mu\text{m}$  程度を実現している。

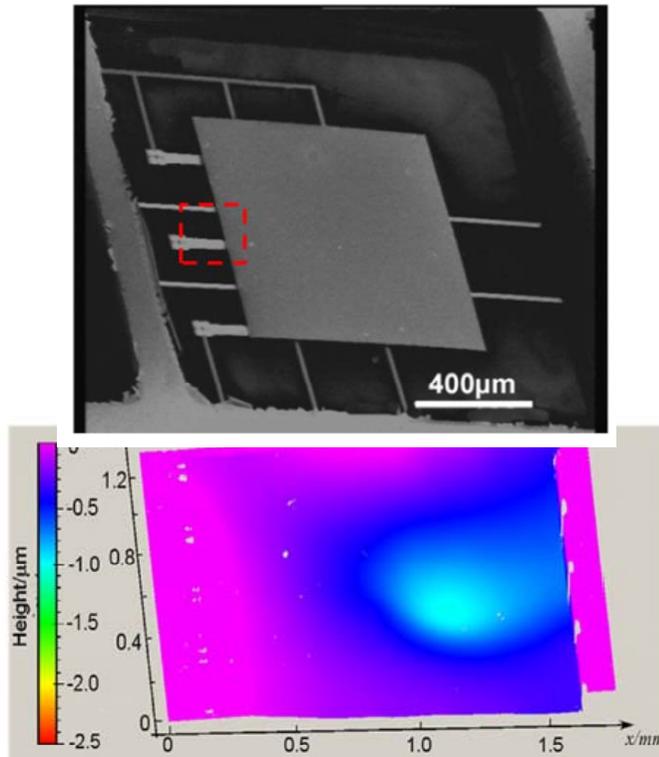
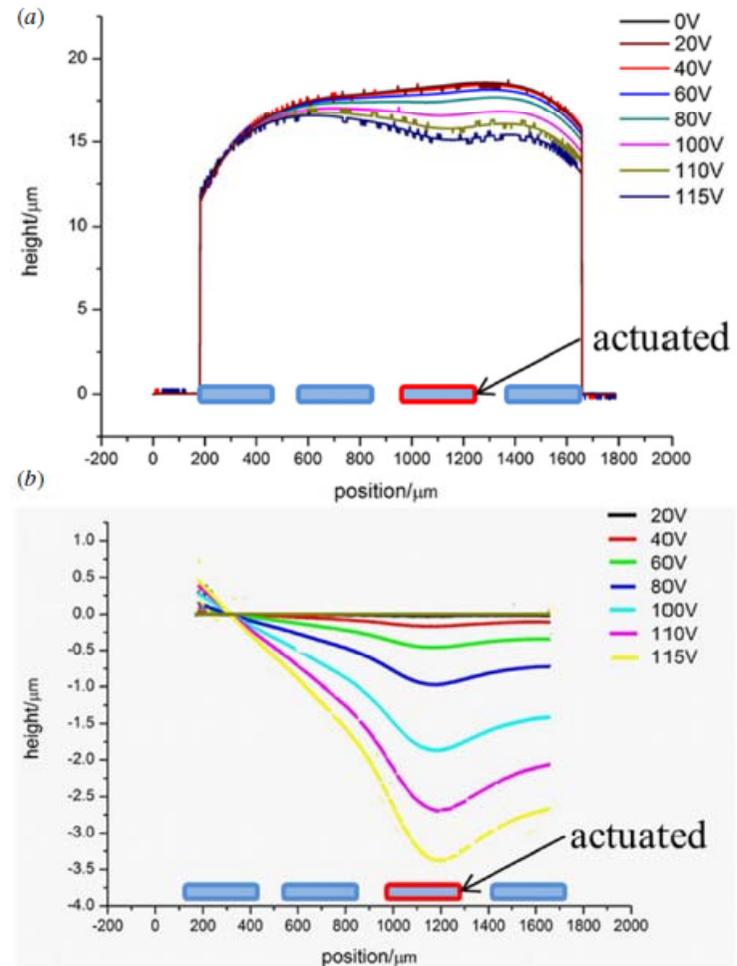


Figure 12. (a) Deflection profile of the  $4 \times 4$  pixels DM with a single pixel actuated at different voltage (b) deflection profile with zero-voltage profile subtracted; (b) color-coded surface profile of the DM at 80 V with zero-voltage profile subtracted.



# TMT-AGE: 課題

- 2. 光学系・機械系の概念設計に基づくシステム検討  
個別天体についてのピックアップアーム  
光学系のアライメントを保った大型の駆動機構

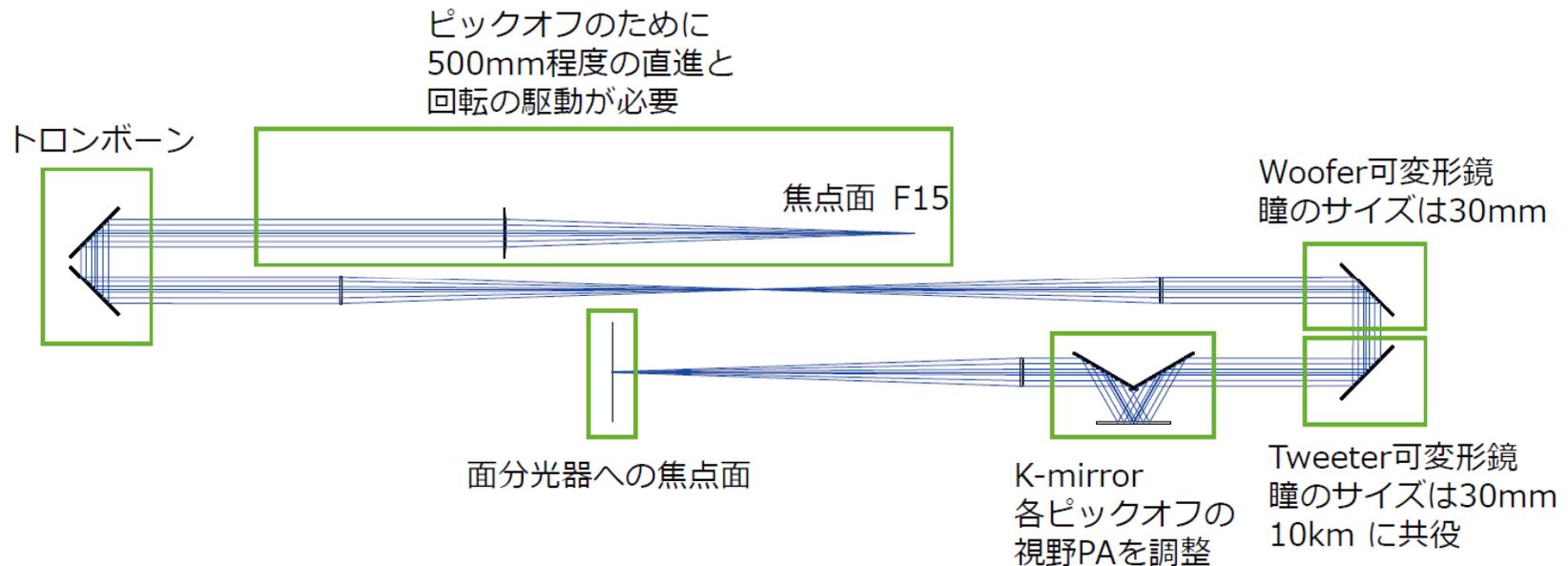


図 4: 個別補償光学系のピックアップ部分に求められる構成要素の模式図。

## TMT-AGE: 提案

### 3. 並列計算機による高速トモグラフィック波面推定の実証

GPGPU 計算機による高速制御

他にも応用可能なところがあれば