

補償光学系の要素技術開発



2012/2/23 @ Mitaka
Shin Oya (Subaru Telescope)

Outline

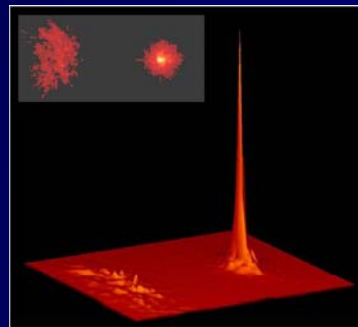
補償光学(AO: Adaptive Optics)

- システムの構成要素
- 新しいAOシステム
- 新しい要素技術

補償光学系とは

- 光波面の歪みをリアルタイムで補正して回折限界像を取得

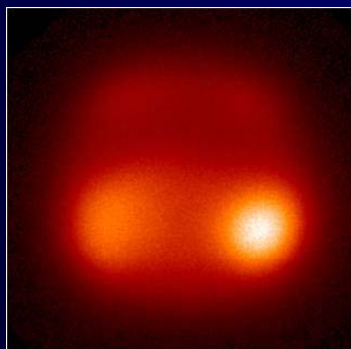
w/o AO



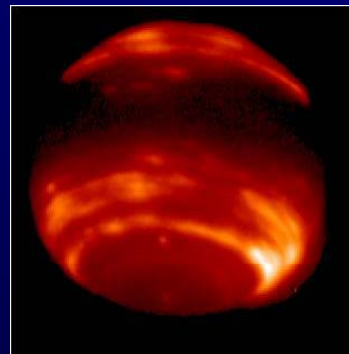
w/ AO

- 天文学と眼科医療で応用が盛ん

海王星

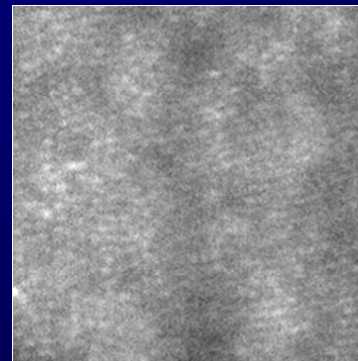


w/o AO

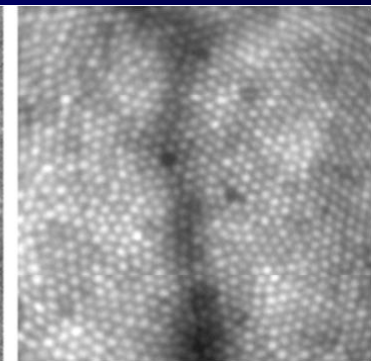


w/ AO

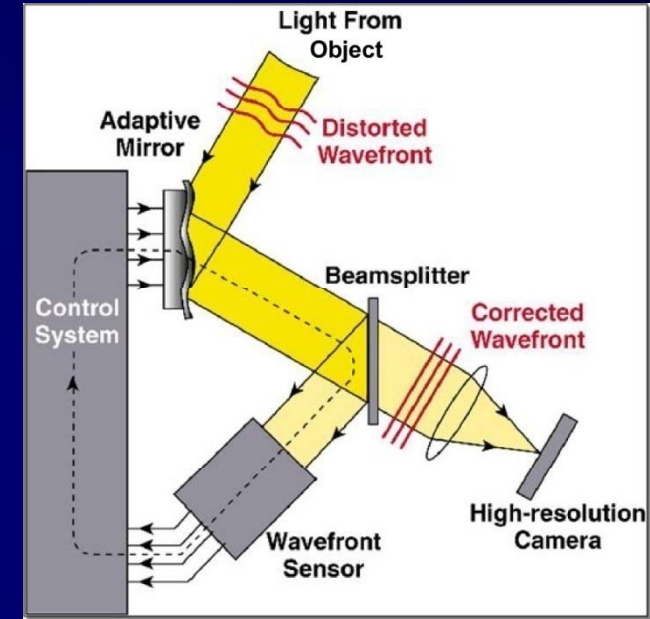
網膜



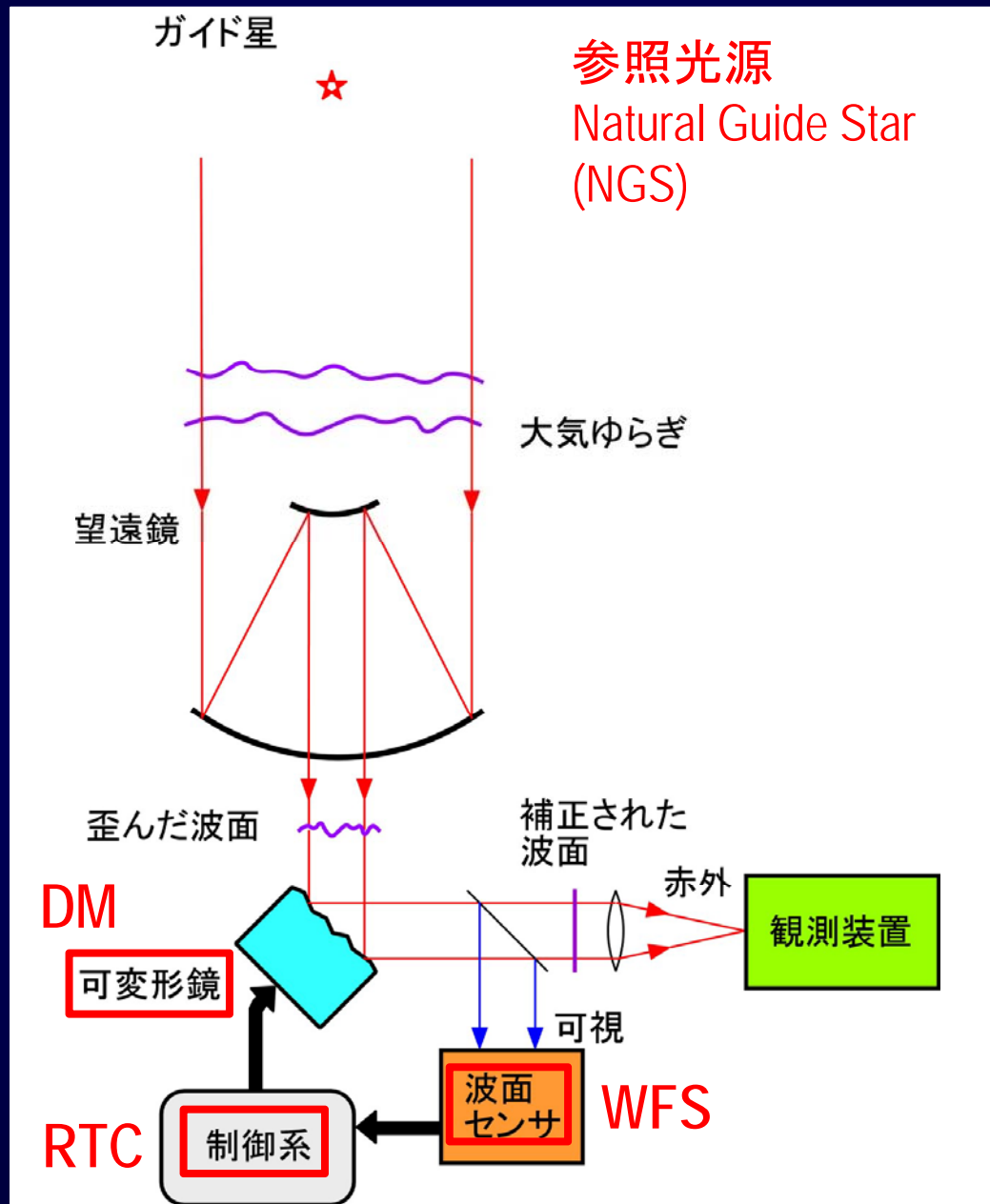
w/o AO



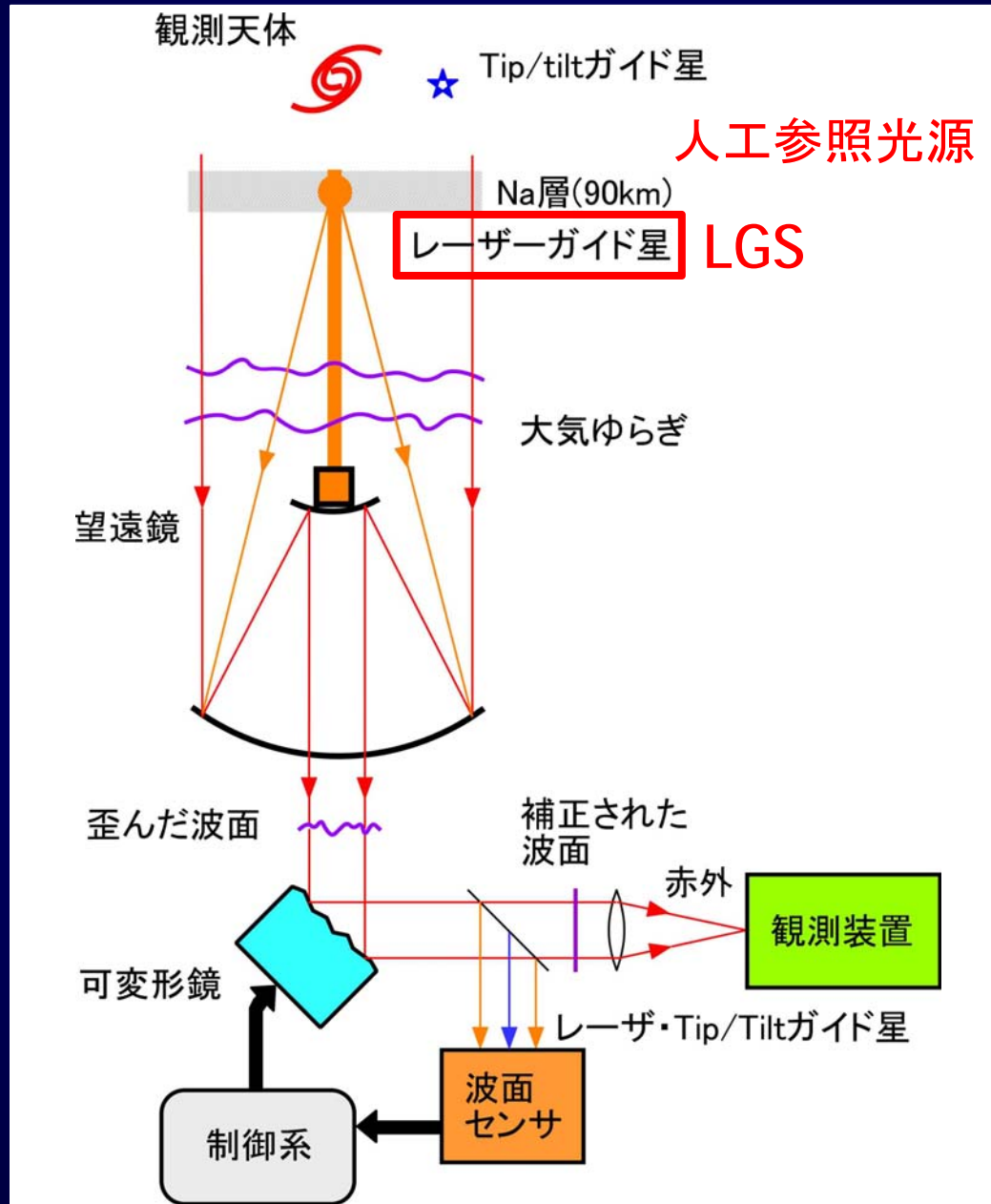
w/ AO



AOの基本構成



AOの基本構成



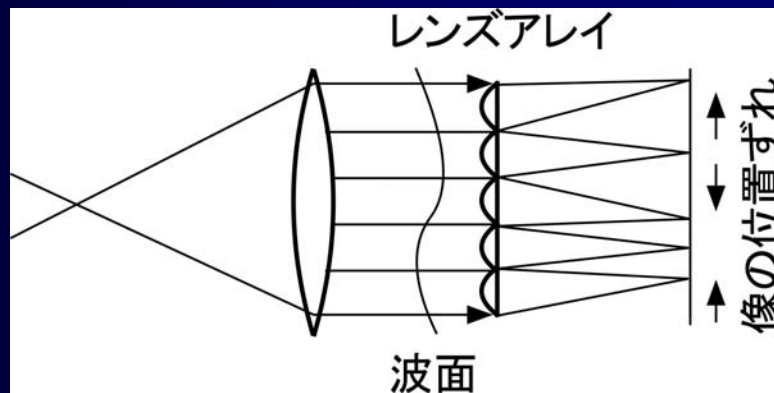
補償光学系の構成要素

- 基本要素は、3つ + 1つ = 4つ
 - 波面センサ(WFS: Wave Front Sensor)
 - 可変形鏡(DM: Deformable Mirror)
 - リアルタイム計算機(RTC: Real Time Computer)
 - レーザー
- 関連の深い要素技術
 - 光学素子の加工技術
 - オプトメカ
 - 観測装置として完成させるためには、いわゆる天体観測装置のオプトメカが非常に大切(ガイド星捕捉機構、像回転機構)
 - シーイング測定

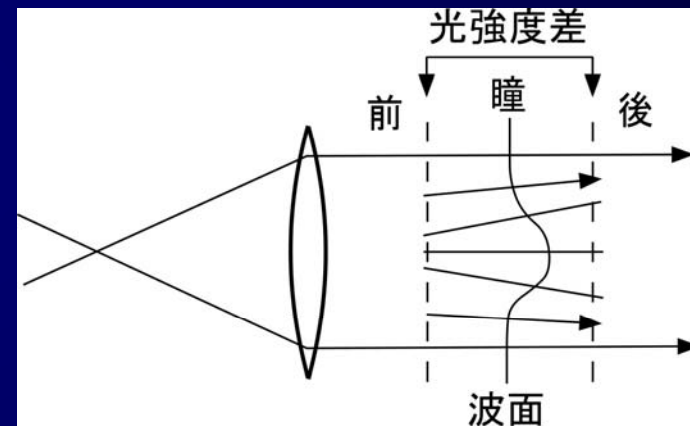
波面センサ(WFS)

光検出器は、光の強度を測る。位相を直接は測れない。
⇒ 位相情報を強度情報に変換して検出する。

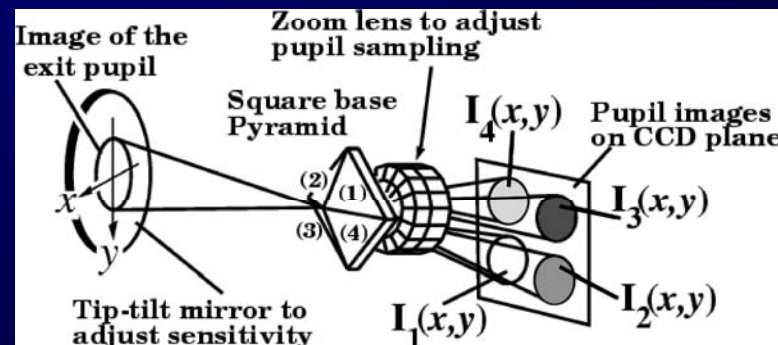
シャックハルトマン



曲率センサ



ピラミッドセンサ (ナイフエッジテストの要領)

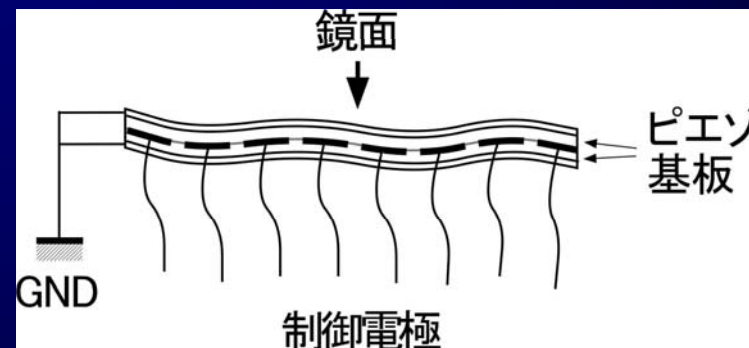
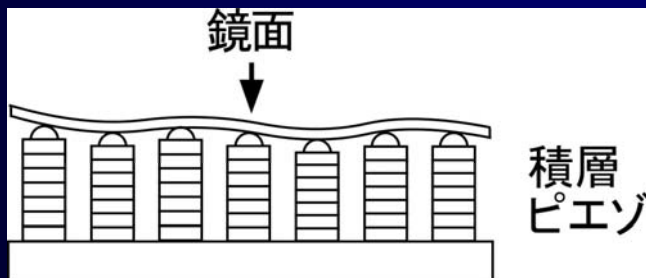
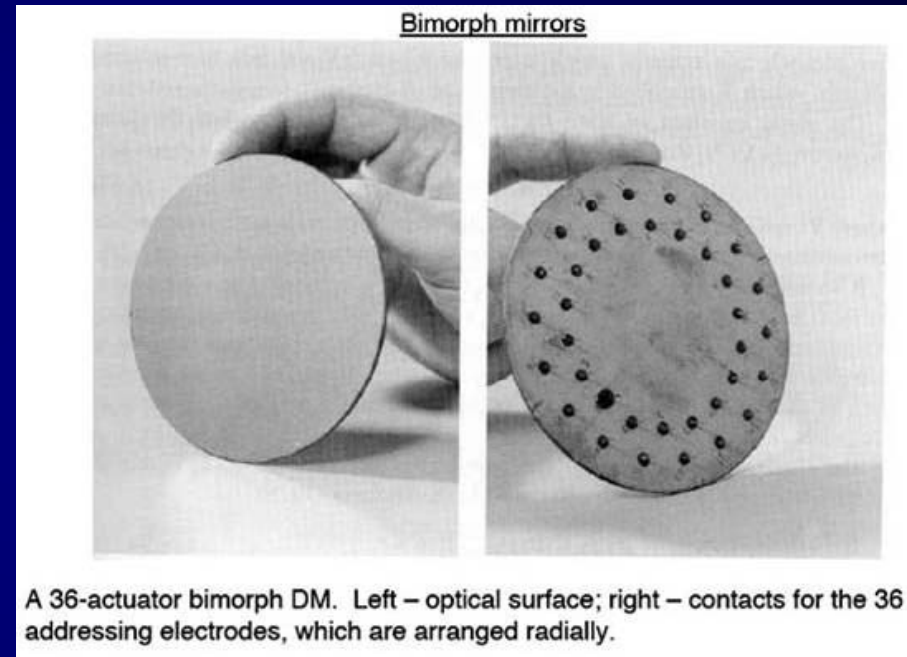


可変形鏡(DM)

ピエゾタイプ

積層アクチュエータ

バイモルフ



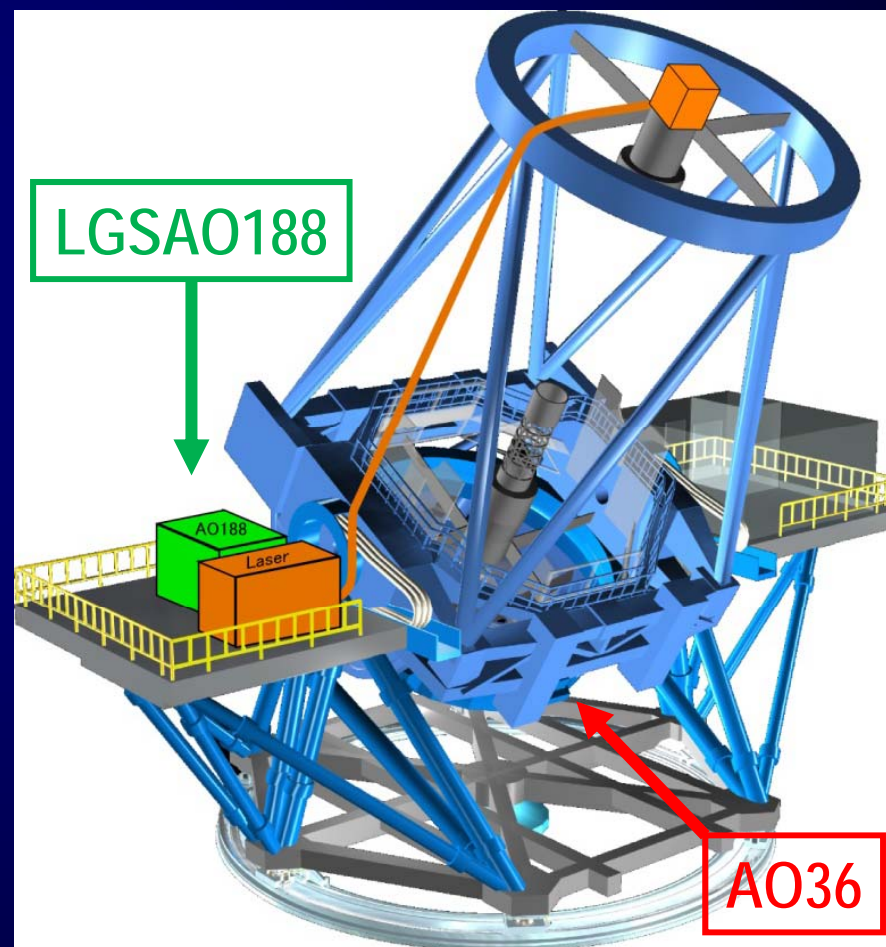
すばる望遠鏡のAO

- マウナケアの典型的なシーイング: 0.5" @ K-band
- 8m望遠鏡の回折限界: 0.06" @ K-band

AO36 ⇒ LGSAO188

- 多素子化のメリット
 - 性能向上
SR: 0.3 → 0.6 @ K-band
 - 短波長でも有効
- レーザー化のメリット
 - スカイカバー리지
数% → 数10%

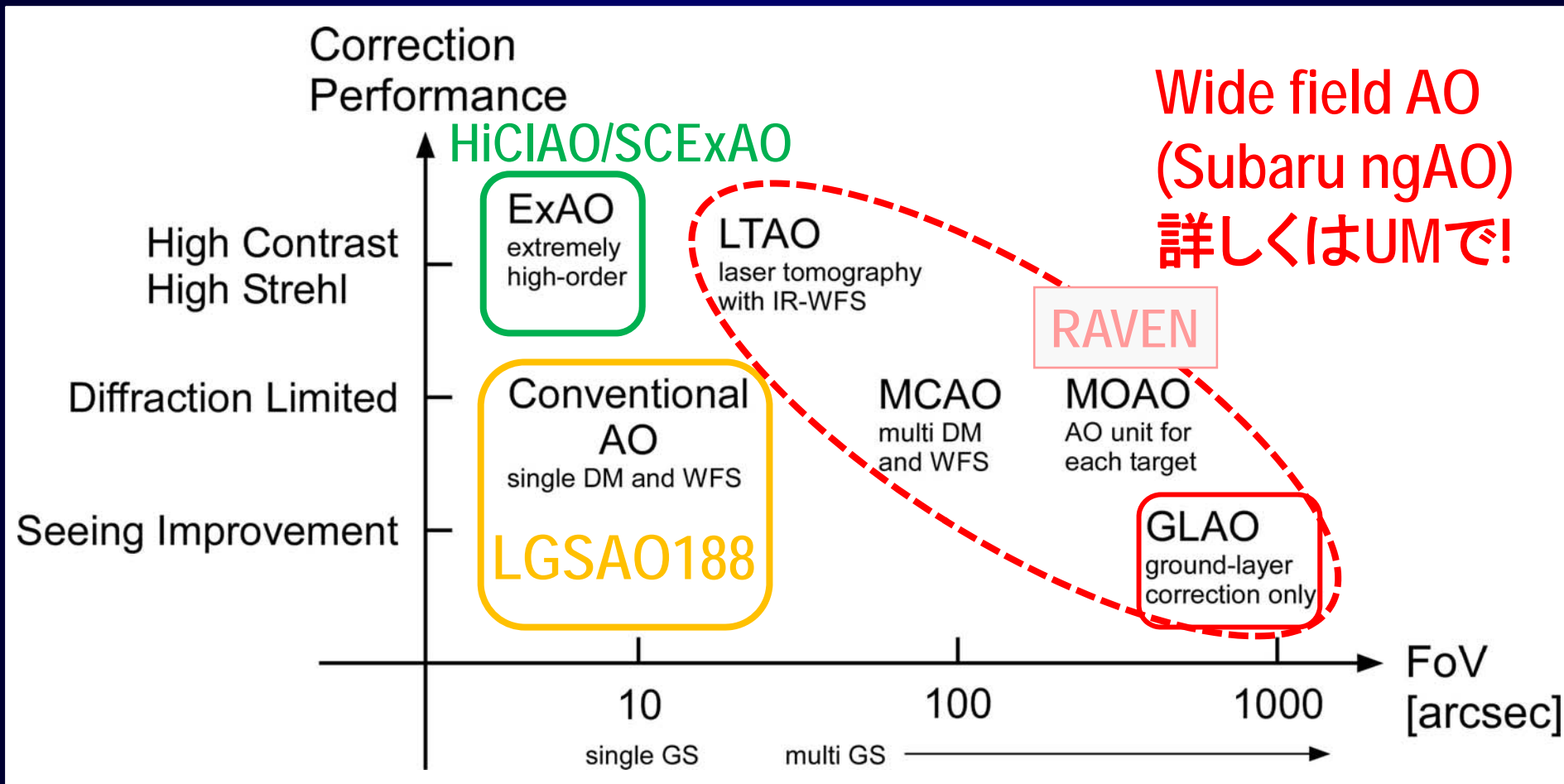
単一曲率WFS + 単一バイモルフDM
視野が広がった訳ではない



AO方式の発展

より細かいゆらぎ補正
(素子数増)

要素技術の発展が原動力

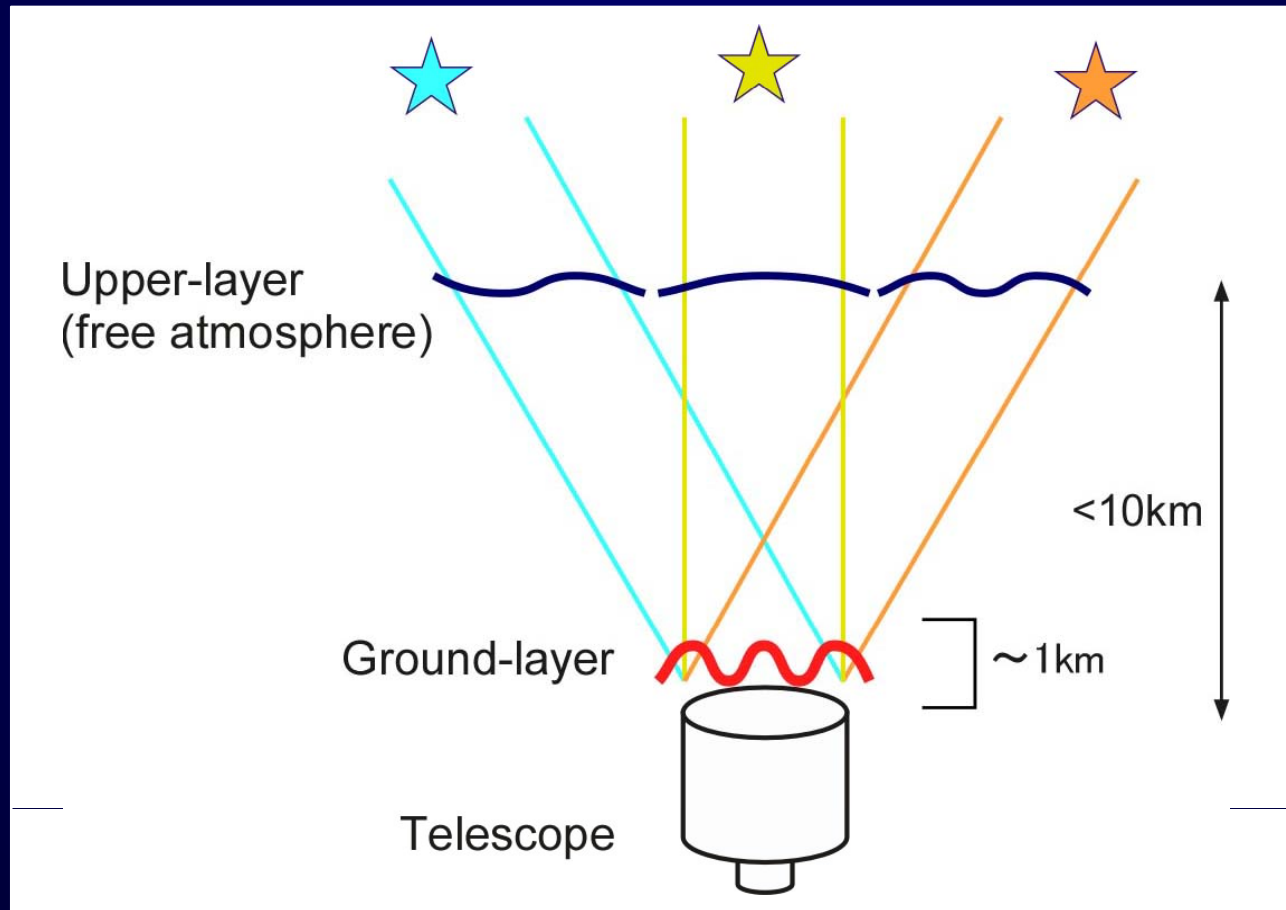


より多くのゆらぎ層
(可変形鏡・波面センサ数増)

視野を広げる

- 大気の3次元構造を考慮しないといけない
- そのために複数のガイド星が必要

トモグラフィー



広視野AOの方式

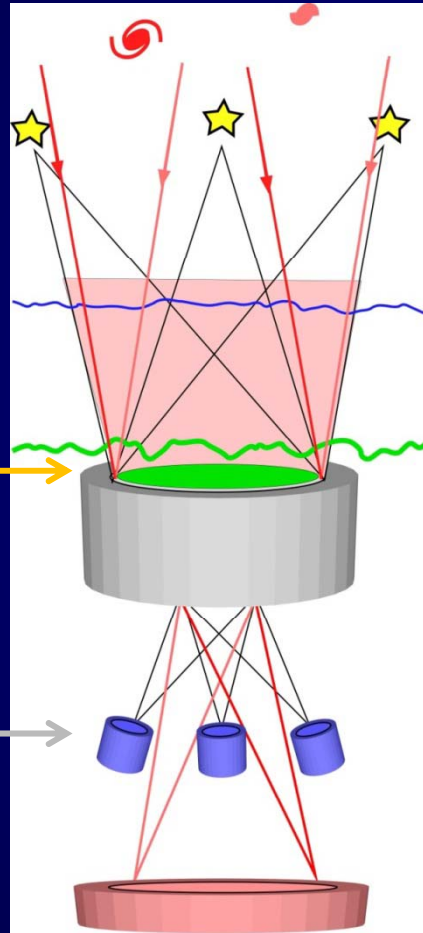
GLAO

MOAO

FoV: >10分角
シーイング改善
(fwhm: ~ 0.2")
サーベイ可

可変副鏡で
接地層ゆらぎ
のみ補正

複数WFS



広視野撮像分光装置

Subaru (広視野を活かす)

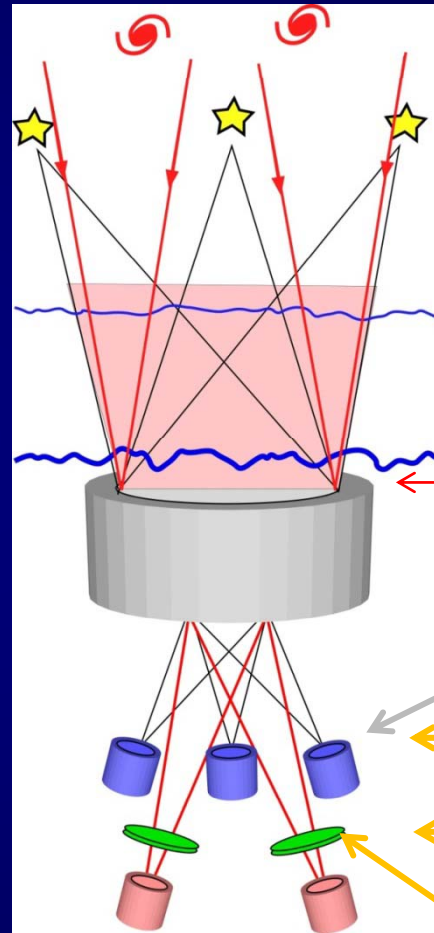
FoR: 3~5分角
FoV: 数秒角
回折限界
既知天体

各天体の方向
のみ補正

複数WFS

開ループ

天体ごとにDM



IFU分光器

TMT (大口徑ほどFoR広い)

新しい要素技術: WFS

波面検出原理は基本的には同じ

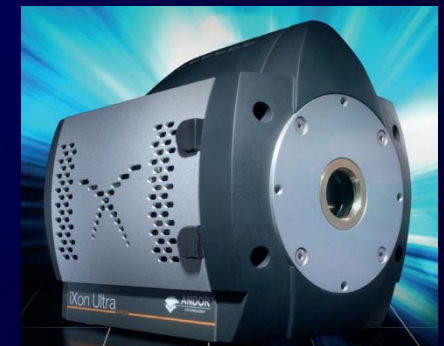
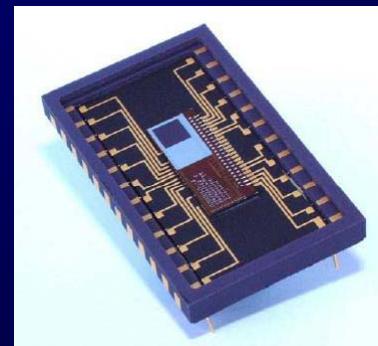
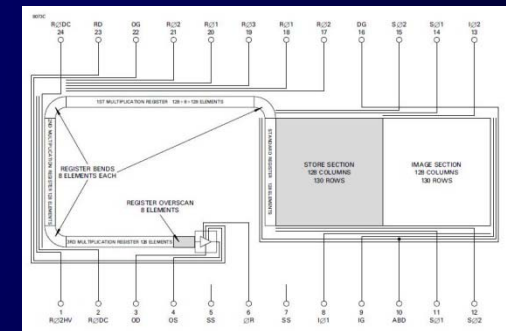
- オープンループ
 - 特にMOAOで必要
 - 波面検出のダイナミックレンジが必要
 - システムの較正が重要

• 検出器

EM-CCD (数百Hz)

最近CMOSも性能が向上

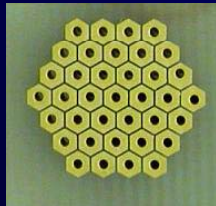
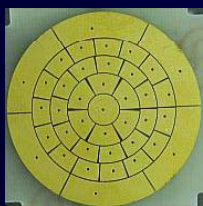
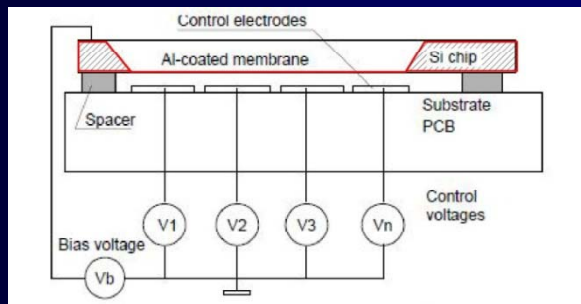
天文の場合、基本的に光子不足
読み出し雑音を考えると現状では、
まだEM-CCDの方が有利



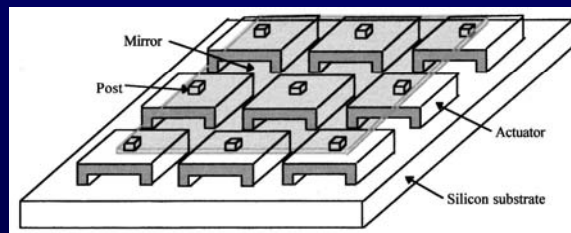
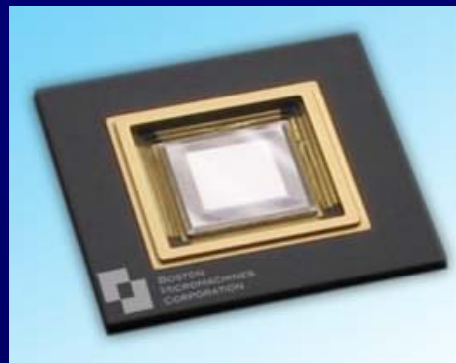
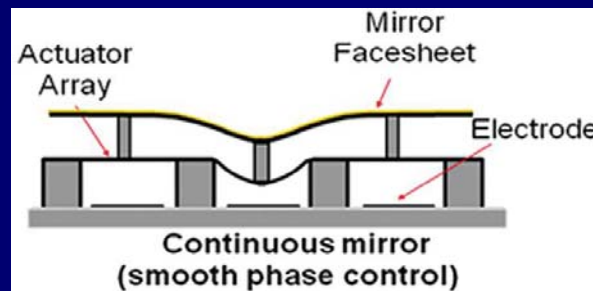
新しい要素技術: MEMS-DM

基本原理は、静電力で「引き」、機械的バネ(張力)で「戻り」

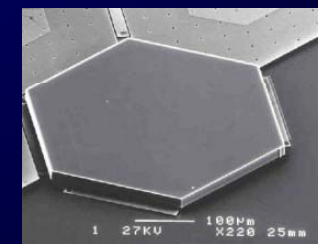
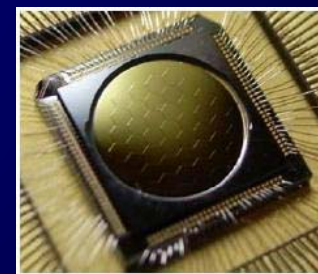
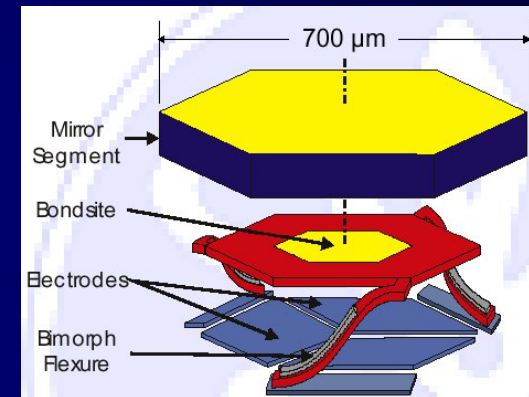
単一メンブレン式
OKO



二段メンブレン式
Boston Micromachines

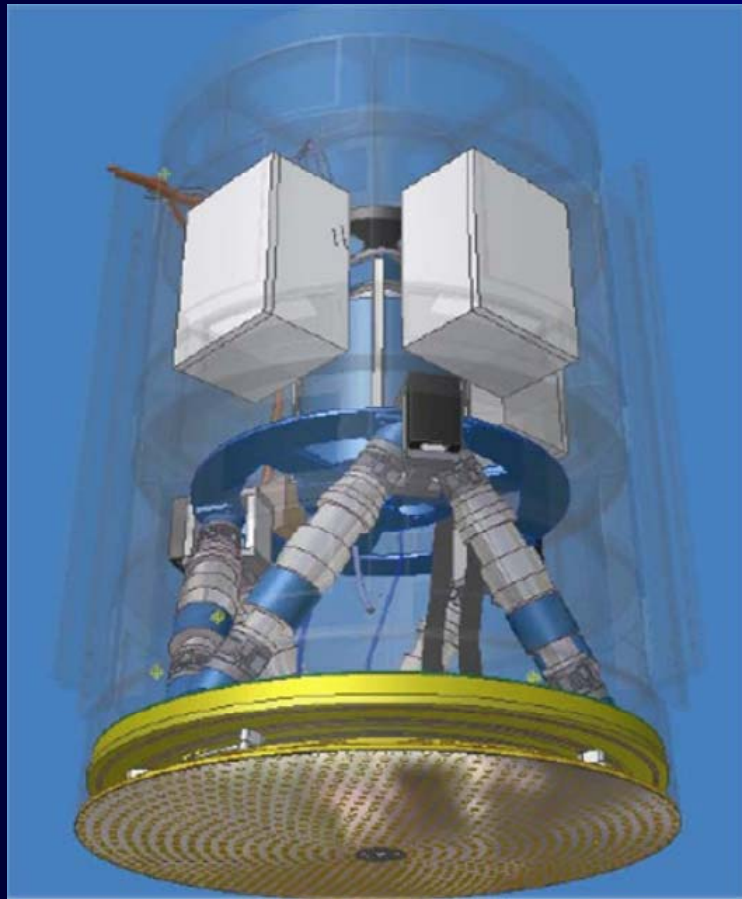


分割三脚式
Iris AO



新しい要素技術: DM (voice coil)

可変副鏡(ASM: Adaptive Secondary Mirror)
超多素子、エミッシビティを増やさない



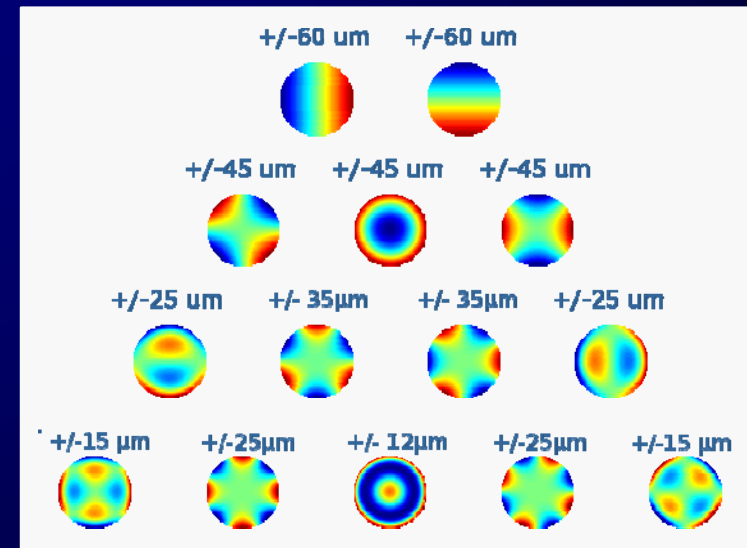
ESO/MLT: 1170 actuators
D=1.12m, t=2mm (9kg)の薄いガラス

ALPAO社 (メンブレン+micro voice coil)
変形量大きい



277actuators
D=24.5mm
(1.5mm間隔)
1ms settling

隣同士で $3\mu\text{m}$ 差の変位可能



リアルタイム計算機(RTC)

性能向上、価格低下

Concurrent

- AO36 ~2000万円
 - MAXION: 2CPU(R4400MC,200MHz)
 - MaxOS
 - VME base
- LGSAO188 ~300万円
 - iHawk: 4CPU(OpteronQuad,3.3GHz)
 - RedHawk (RedHat linux base)
 - PCIe base

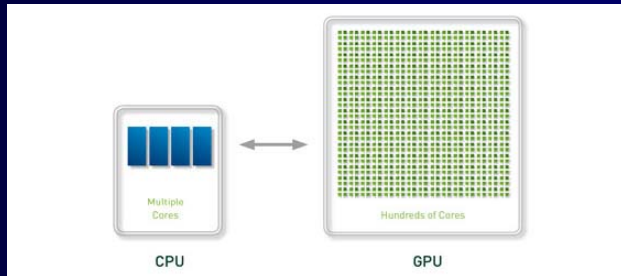


簡易AOには普通のLinux PCでもOK

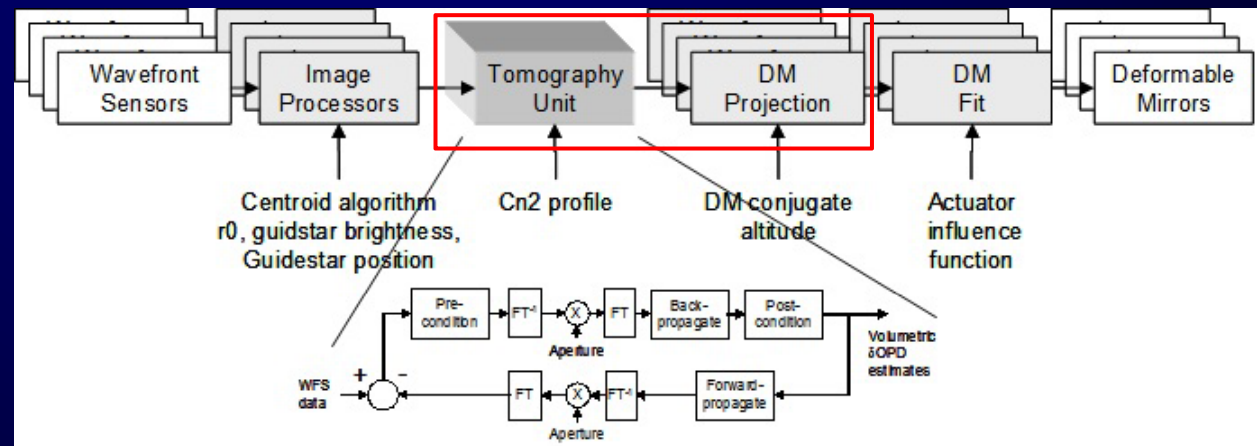
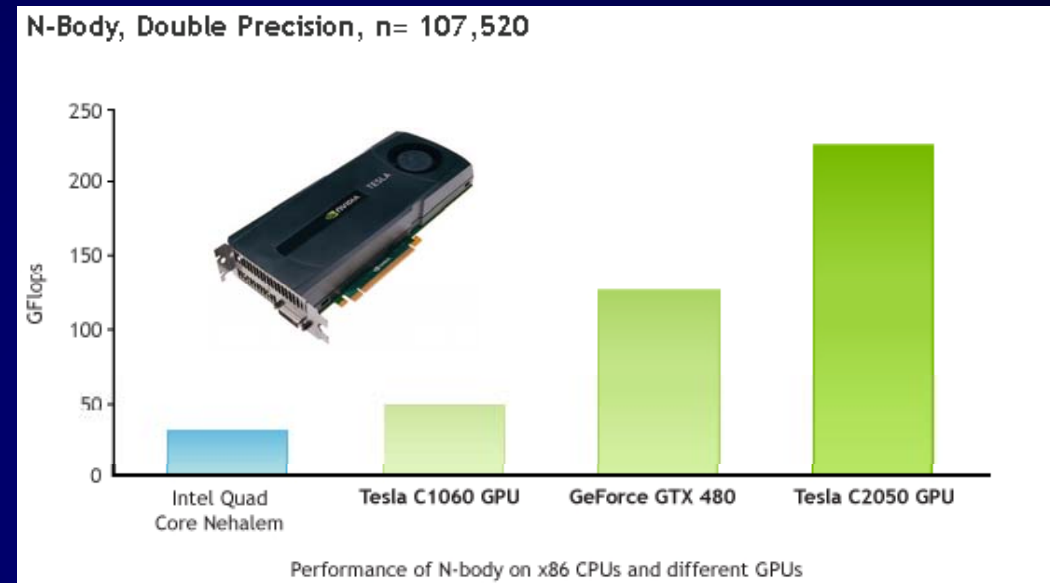
制御が複雑な次世代AOはDSP/FPGA専用ボードか？

計算機関係

- ハードウェア
GPGPU
並列演算による高速化



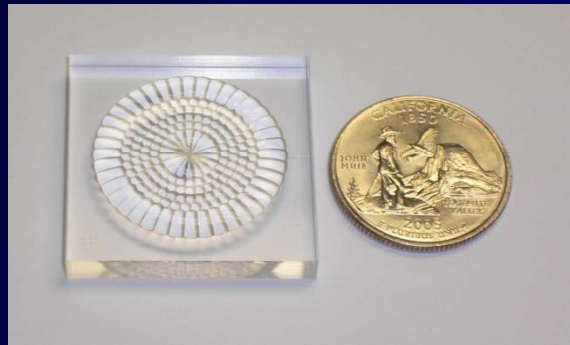
- 計算アルゴリズム
トモグラフィ



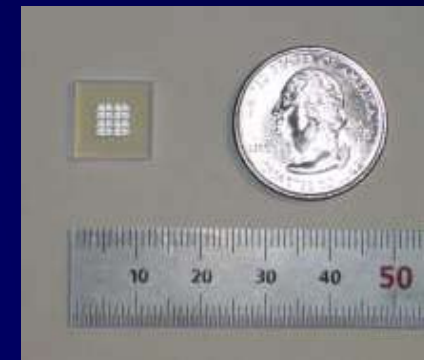
新しい要素技術: 光学素子

アイデアを形にできる

- LGSAO188: WFSのレンズレットアレイ

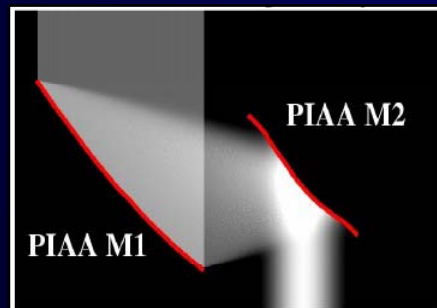


高次WFS 188素子

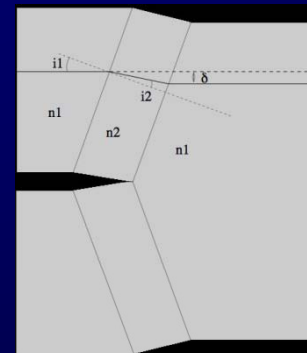


低次WFS: 2x2素子 4x4素子

- SCExAO: コントラスト向上のための重要部品



Phase-Induced Amplitude Apodization



Spider Removal Plate



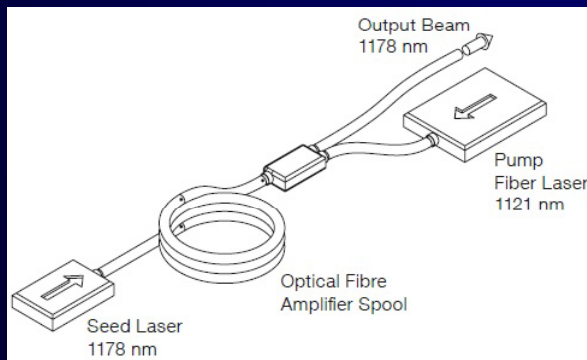
新しい要素技術: レーザー

色素 ⇒ 固体和周波(～5W) ⇒ ファイバー(～50W)

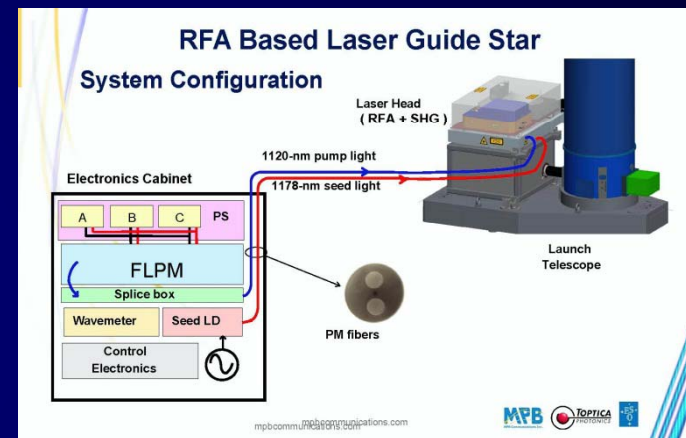
- アライメント不要
- 良好なビーム品質
- 熱が集中しない
- 部品点数少、市販(通信・加工)
- アンプと倍波ユニット分離

方式

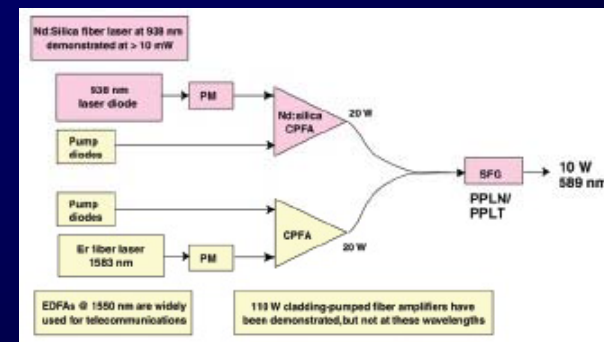
- 1178nmの倍波 (ESOで実用化)
seed(1178nm LD) + pump(1120nm Raman)



小型高出力アンプ



- 2波長別々にアンプして和周波
ex. 1/938nm + 1/1583nm



今後の開発: テーマ

多様化するニーズ

- 地上大型望遠鏡(30m、8m)

 - 30m望遠鏡時代、広視野化が新たなテーマ

 - TMT: MOAO(多天体化の効率、大口径ビーム活用)

 - すばる: 可変副鏡(GLAO広視野による相補性、他)

- 大学、中・小望遠鏡

 - 小型安価、実験室実験からオンスカイ試験へ

- スペース

 - 能動光学

- 高コントラスト

 - SCEXAO(Subaru)、SEIT(TMT)、SPICAコロナグラフ

今後の開発: 課題

- 技術

- 既存技術・製品の有効活用、専門家との協力
シーズも多様化している
- 多様化する目的に応じたシステムを組み上げる経験
簡易な実験、最終版で高精度な設計、調整、較正

- 人材

- 情報交換・交流
- 若い人の参加

今回の研究会

天文台滞在型研究員制度