

FMOS

1. Status of the instrument
2. Performance check
3. Overview of actual operation
4. Remaining issues, schedule, etc

Naoyuki Tamura
(Subaru Telescope, NAOJ)

*with FMOS team members at Subaru, Kyoto U., Tohoku U.,
Oxford U., Durham U., RAL, & AAO.*

Subaru UIM 2009

Collaboration to this "challenge"



Durham U.

Fibre connector
Fibre cable/slit



Kyoto U.

Spectrograph #1
Prime focus unit

Oxford U./RAL

Spectrograph #2



Science & Technology
Facilities Council



Subaru

Assembly
Commissioning
Operation



AAO

Fibre positioner
Prime focus corrector

Subaru/FMOS

Schedule of engineering observations

Dec 2007 : PIR test on the telescope (I)(II)

Jan 2008 : Echidna test on the telescope (I)

May 2008: Echidna test on the telescope (II)

IRS1, 2 test $\Rightarrow$ *Engineering First Light!!*

Jun, Aug, Sep, Oct 2008:

- Refinement of fibre positioning, testing fiber AG
- IRS1, 2 optical alignment
- System throughput measurement
- SOSS abstract command test

Mar, May 2009: Overall performance check

分光器の背景光・迷光問題が解決せず S09B からの公開は見送り

Subaru UIM 2009

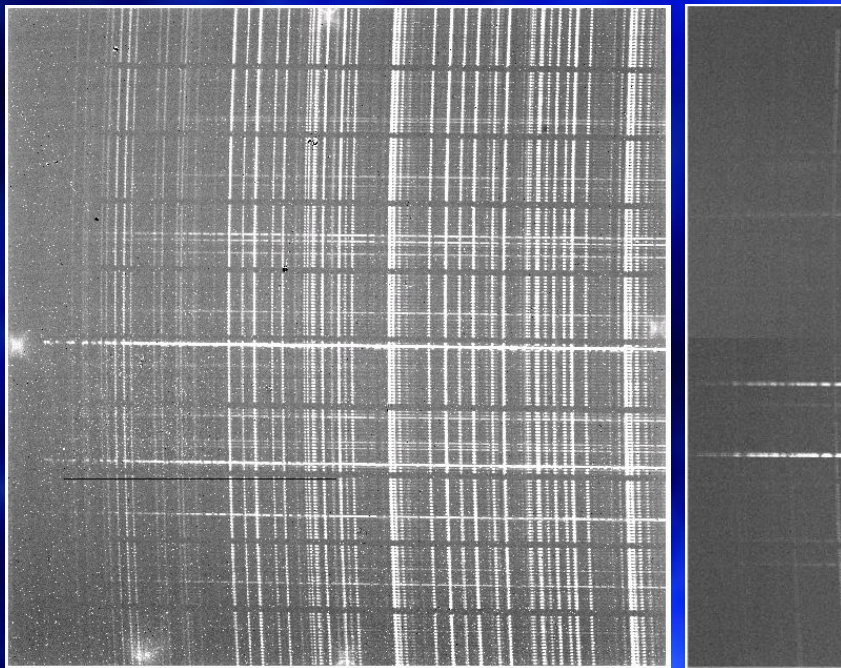
First Light @May 14, 2008

Target: 48 bright stars ($V \lesssim 15$) in Mel 111 (Galactic open cluster)
→ 33 stars were immediately visible after 1 min exposure!!

Note(1): Current fibre positioning accuracy is $\sim 0''.4$ in rms ($\Rightarrow \sim 0''.2$ in future).

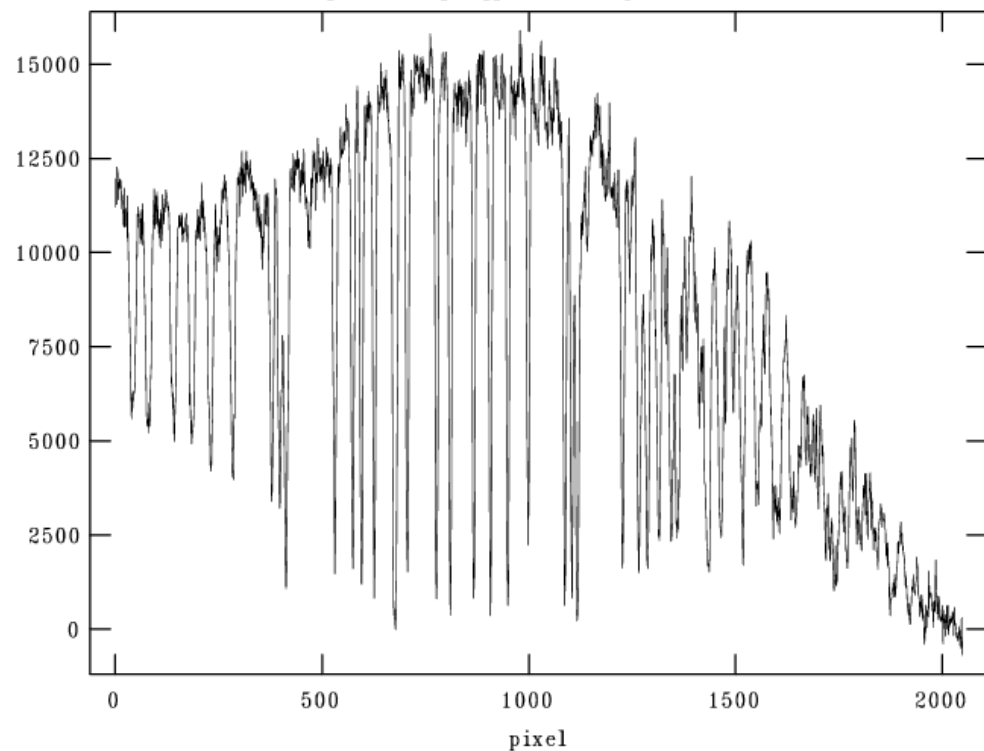
Note(2): The OH masks are not well aligned with the actual OH lines.

IRS1 (25 stars)



→ λ
HR mode, J long ($1.1\text{--}1.3\ \mu\text{m}$), 1 m

NOAO/IRAF V2.14EXPORT tsm@thomas-mauchs-computer.local Thu 11:13:43 15-May-2
[fmos1.ms[*],1]: INDEF ap:1 beam:1



@TUE-IR

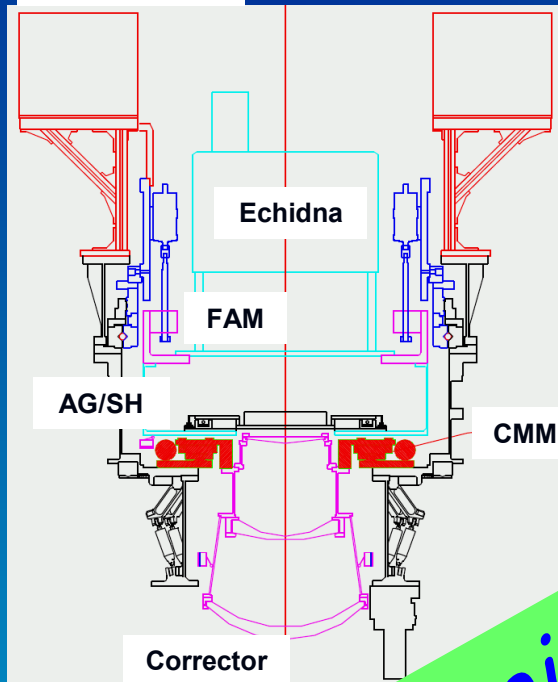
- "Echidna"
- Prime Focus Unit

2x InfraRed
Spectrographs
(IRS 1 & 2)

Fiber cable

"PIR" - Prime Focus Unit for IR

Cable wrapper

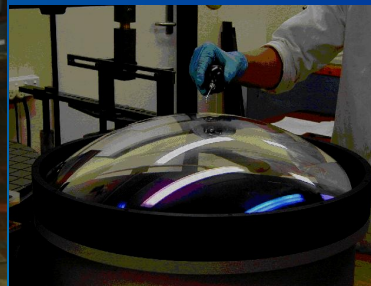
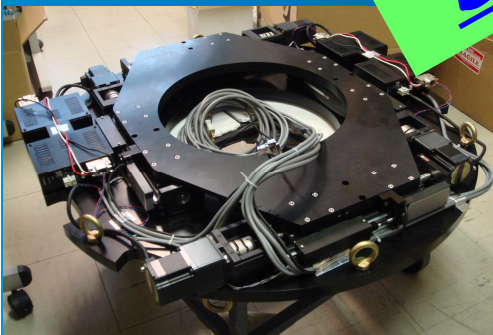


Doing well



Contents:

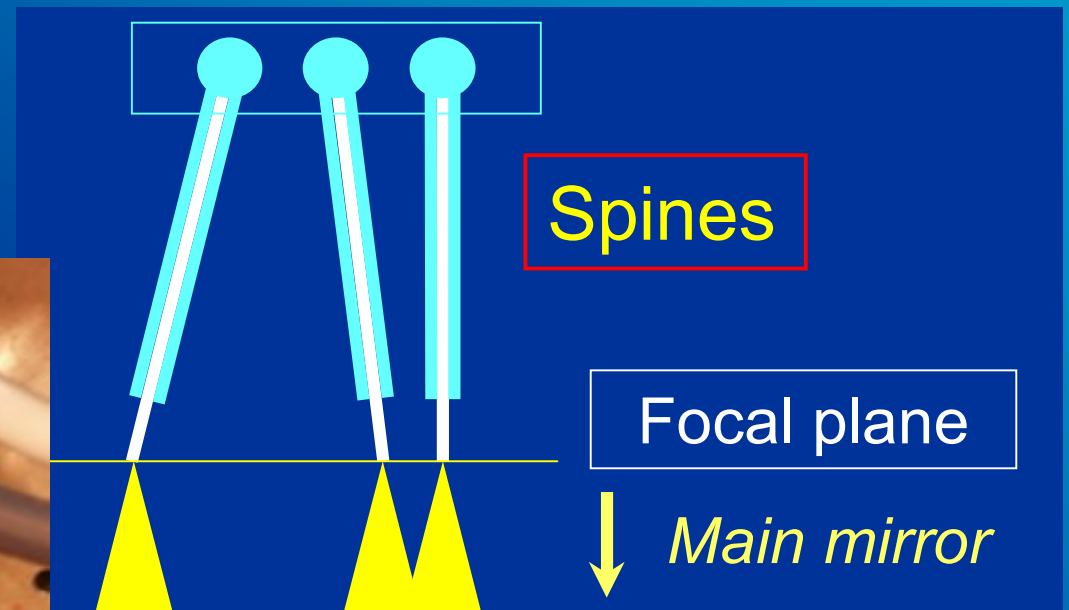
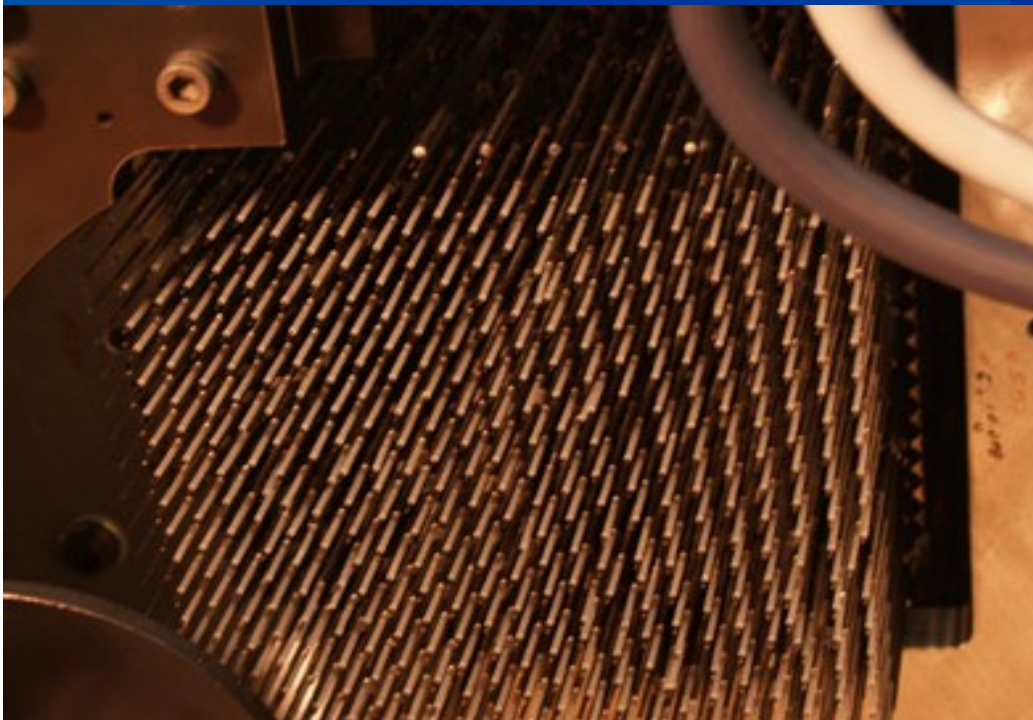
- Fiber positioner "Echidna"
- Wide-field corrector lenses
- Instrument rotator
- Cable wrapper
- Corrector Movement Mechanism (CMM)
- Focus Adjustment Mechanism (FAM)
- Shack Hartmann (SH) system & Auto Guider (AG) for SH



Subaru UIM 2009

Fiber positioner "*Echidna*"

↓ 400 fibers in the 30'φ FoV ↓



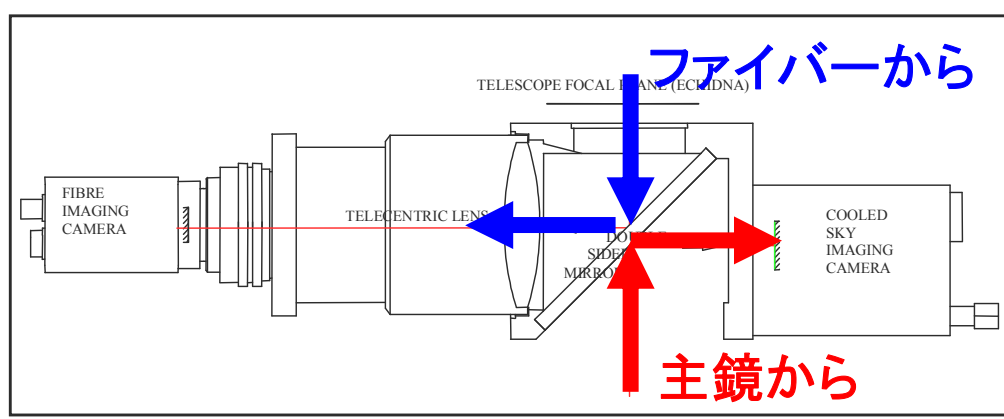
Coolant leak (Jan 08) → Fixed (Apr 08).
Doing well since then (5 spines work not good, though).

Subaru UIM 2009

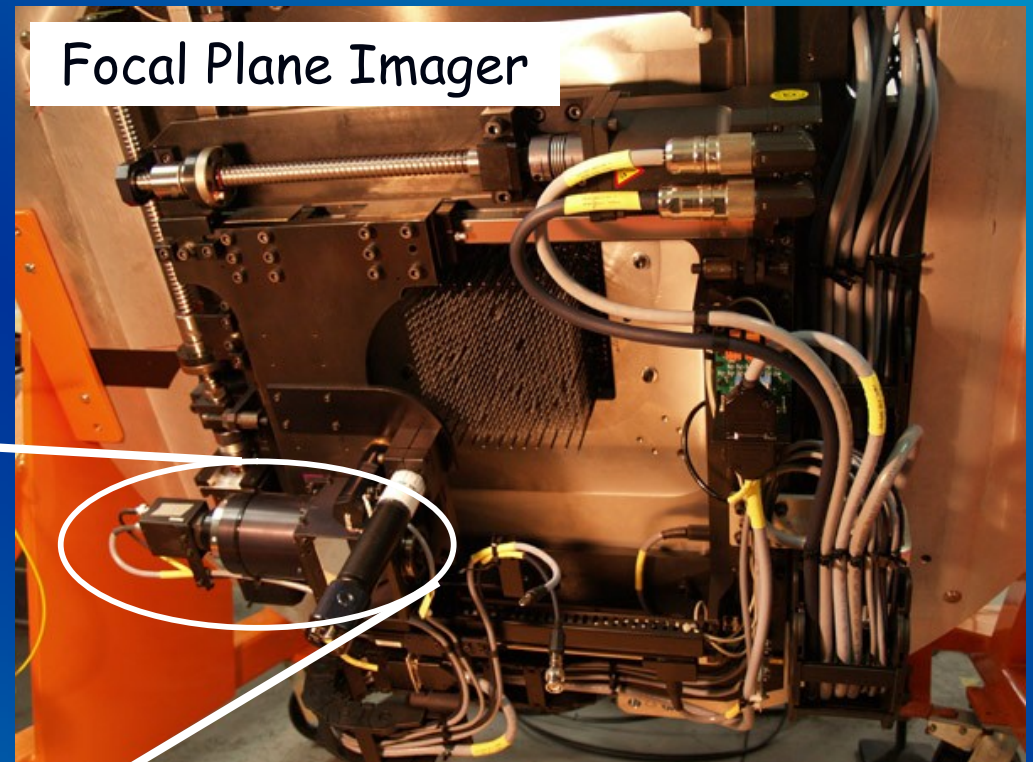
Actual fiber positioning

Iterative process: Measure fiber positions and move spines.
("back"-illumination + spine camera)

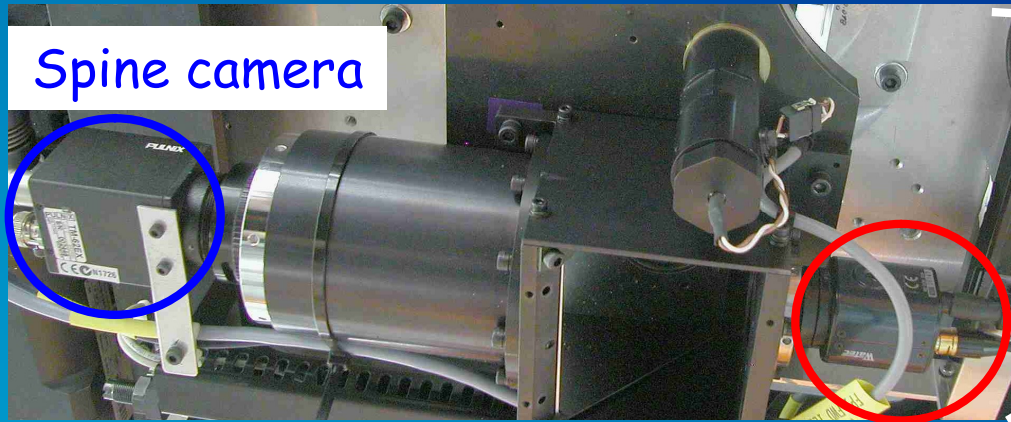
7 回の iteration (~10分) で、 $< 10 \mu\text{m}$ ($\sim 0''.1$) の配置精度



Focal Plane Imager



Spine camera

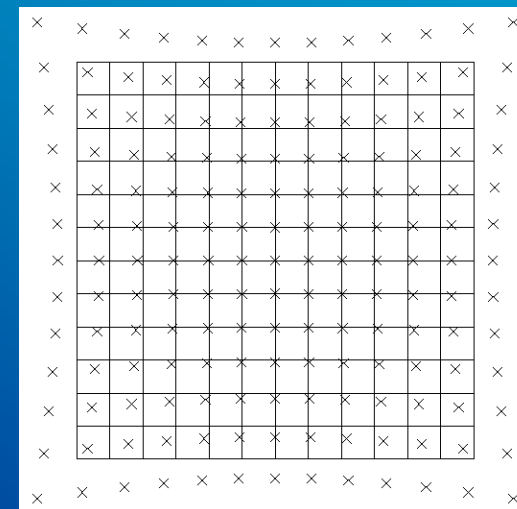
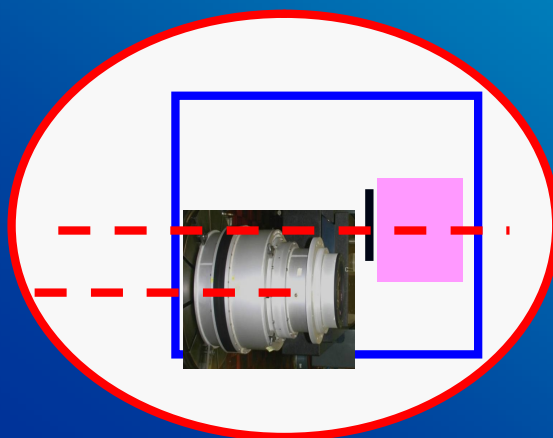


Sky camera

Subaru UIM 2009

Positional accuracy improvement

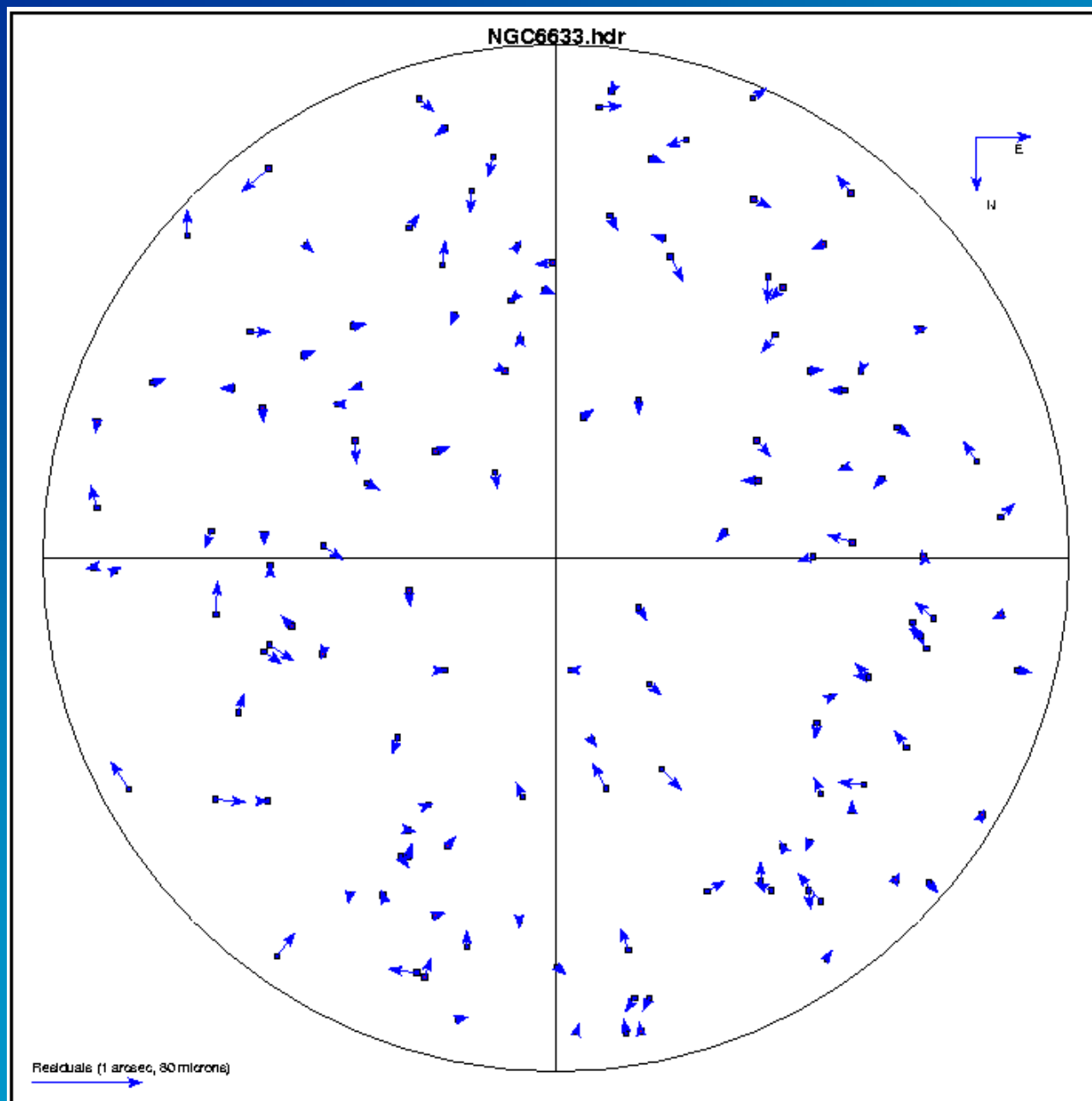
視野歪みとその回転
大気分散、微分大気差



視野内に数多く散らばる座標のわかっている
星をいろいろな airmass / PA で観測する。
→ モデルの改良 → 再び観測

最初は *Sky-camera* を使い, 後に “*rastering*”

Subaru UIM 2009



昨年10月の試験
観測で

$RMS \sim 0''.15$

の配置精度を達成
(所要時間は
10～15分程度)

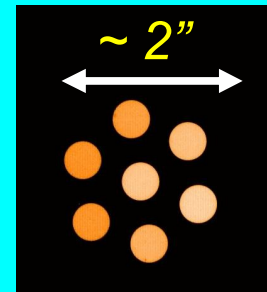
Subaru UIM 2009

ファイバーバンドルによるオートガイド

長時間積分を行う際には、視野端にあるファイバーバンドルにガイド星をのせ、オートガイドを行う。5月の試験観測以降、実際にガイド星を捕まえ、オートガイドを行うことに成功している。

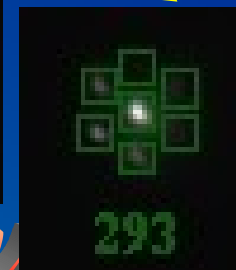
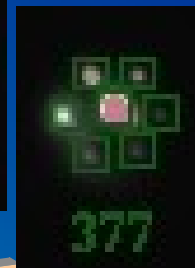
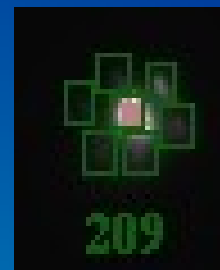


視野の片側に7本ずつのガイド用ファイバーバンドル



それぞれのバンドルは
0".6 径のファイバー7
本から構成されている。

昨年9、10月の試験から、R~17-18 等程度までガイド星として使える見込み。



ガイド星がのったファイバーバンドルのスナップショット。

Subaru 2009

FMOS InfRared Spectrograph (IRS)

★ 2 spectrographs: “IRS1” (Kyoto) & “IRS2” (Oxford & RAL)

200 fibers are fed to each (197+200 spectra available).

3 spectra on IRS1 (from fibers near the edge of FoV) are outside the detector.

★ Near-infrared (NIR) spectroscopy: 0.9 - 1.8 μm

★ OH airglow suppression with a mask mirror

★ Operated with cooled down to ~ -55 deg.

★ Two observing modes: 高分散 (HR) と 低分散 (LR)

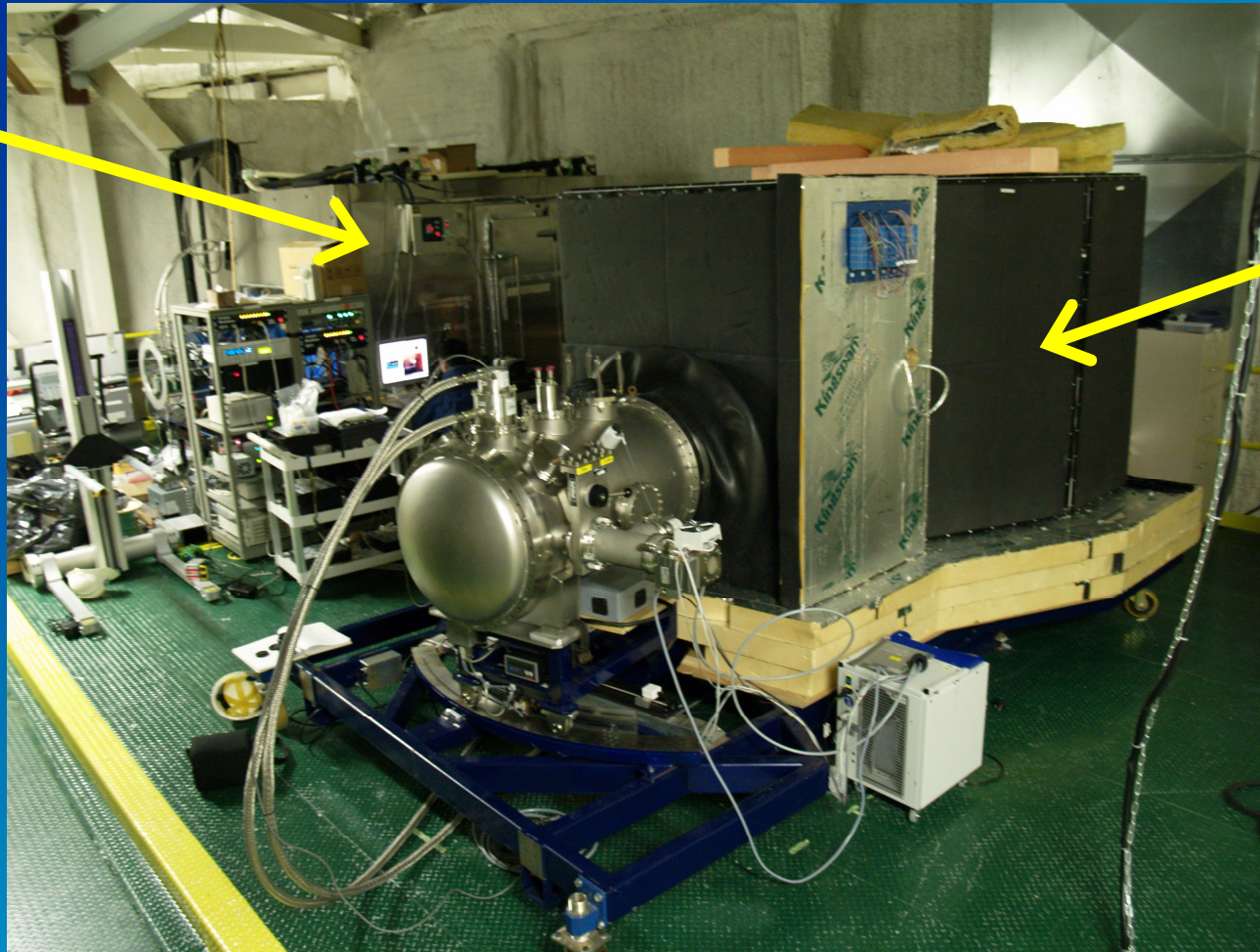
- LR: $R \sim 500$, 0.9-1.8 μm を1回の露出でカバー

- HR: $R \sim 2200$, 0.9-1.8 μm を4分割

Subaru UIM 2009

*Optically identical
On the TUE-IR floor*

IRS1



IRS2

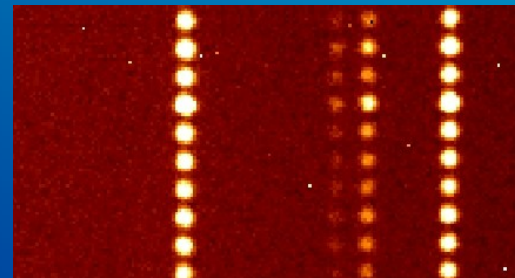
~ 2.5m x 3m x 2.5m

Subaru UIM 2009

分光器光学調整

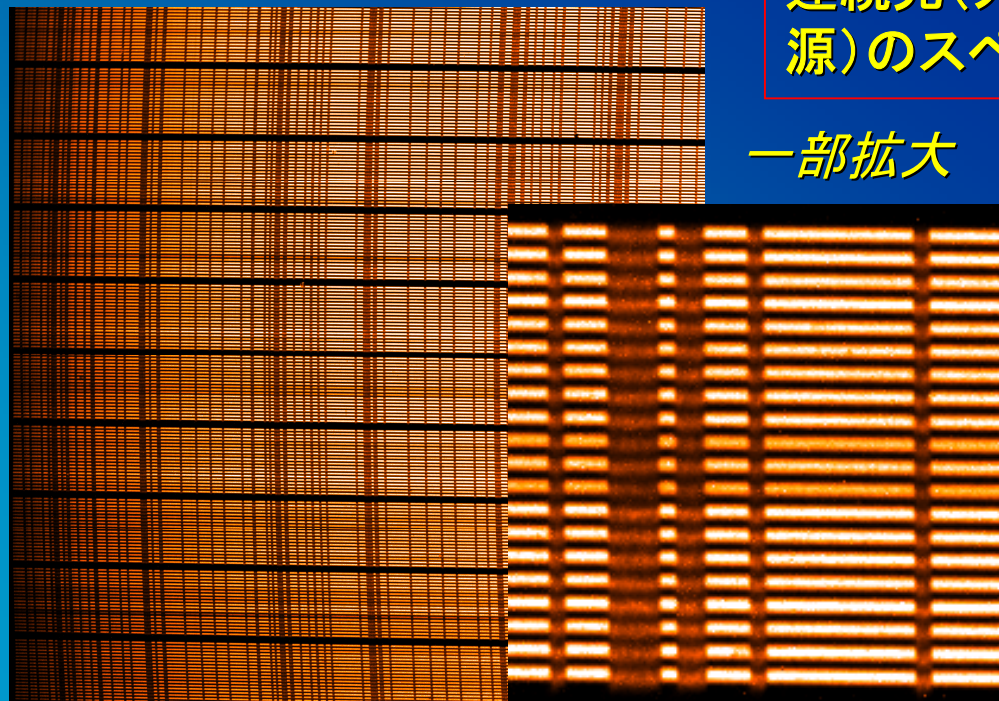
熱放射抑制のため分光器は -55 度前後に冷却して使用されるが、冷却下での光学調整により設計通りの像質(単色像の $\text{FWHM} = 4 - 5 \text{ pix}$) が得られている。

今後、夜光マスクを夜光輝線に正確に合わせ、夜光のカットオフ率の測定を行う。



アルゴンランプ
の輝線像

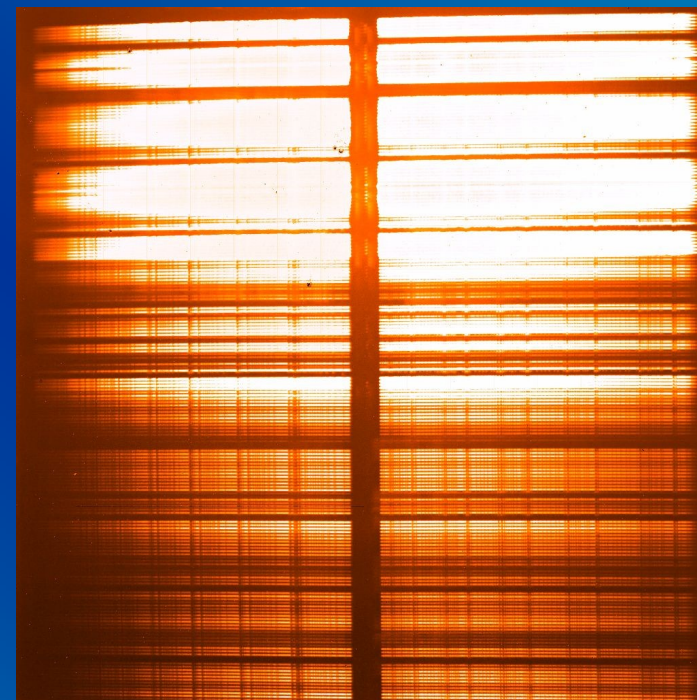
高分散モード



連続光(人工光源)のスペクトル

一部拡大

低分散モード



Subaru UIM 2009

検出器、読み出し回路特性

検出器: Hawaii II 2K × 2K array

読み出しモード: Correlated double sampling, ramp sampling

IRS1

System: TUF PAC + Messia V

Gain: 2.1 e-/ADU

Readout noise: 30-40 e- (CDS)

Readout time (i.e. minimum exposure time): ~ 17 sec

Linearity: < 1% up to 40,000 ADU

IRS2

System: SDSU controller

Usable for optical alignment, telescope raster scan, etc.

Not well characterized yet - In process to fix the significant non-linearity & reset anomaly.

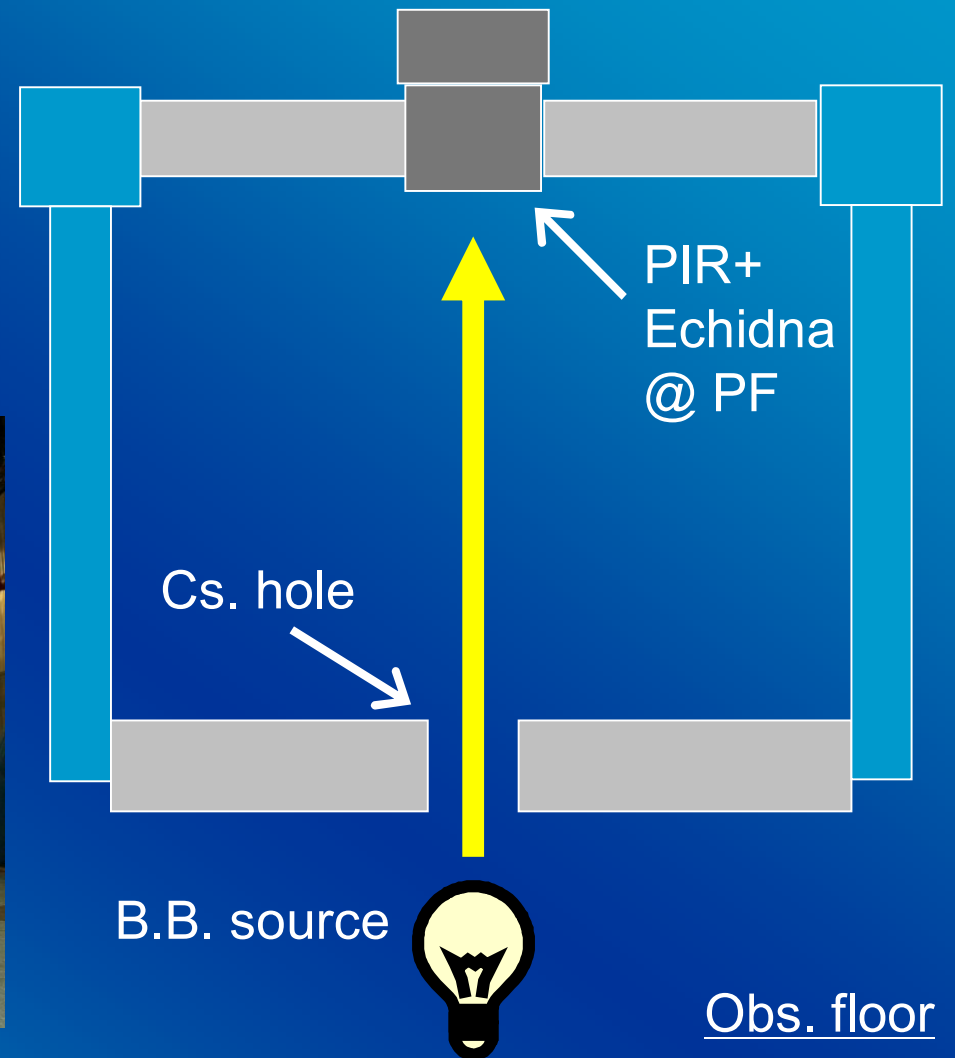
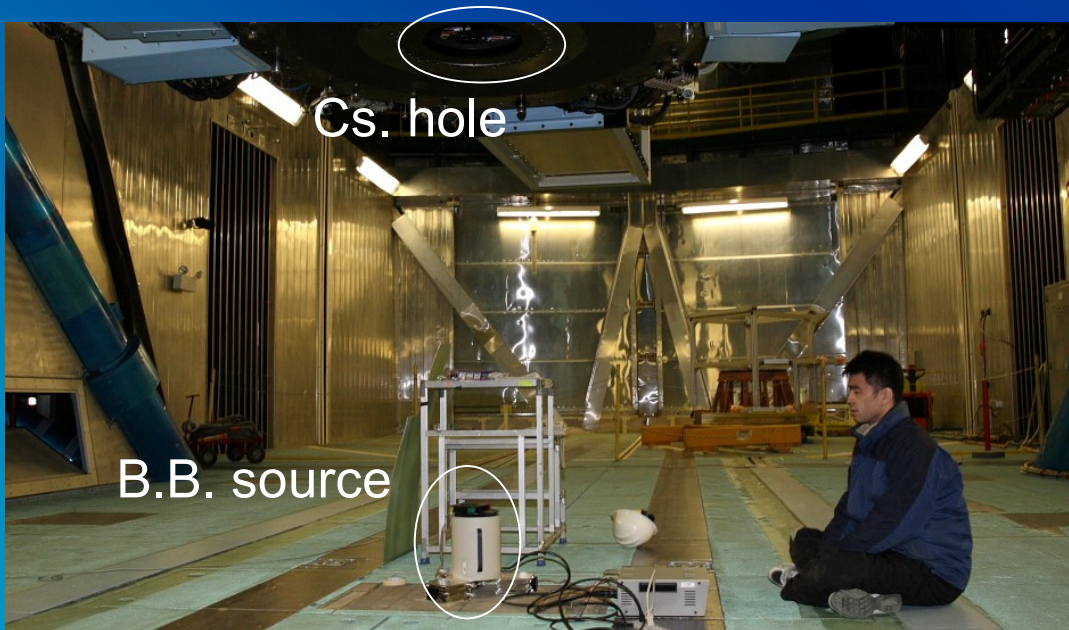
Subaru UIM 2009

システムスループットの測定

- 黒体炉を使う。
- 標準星のデフォーカス像を使う。
- 普通に等級のわかっている星を観測する(この場合はファイバーからのもれも含めた「効率」になる)。

Throughput measurement w/ BB source

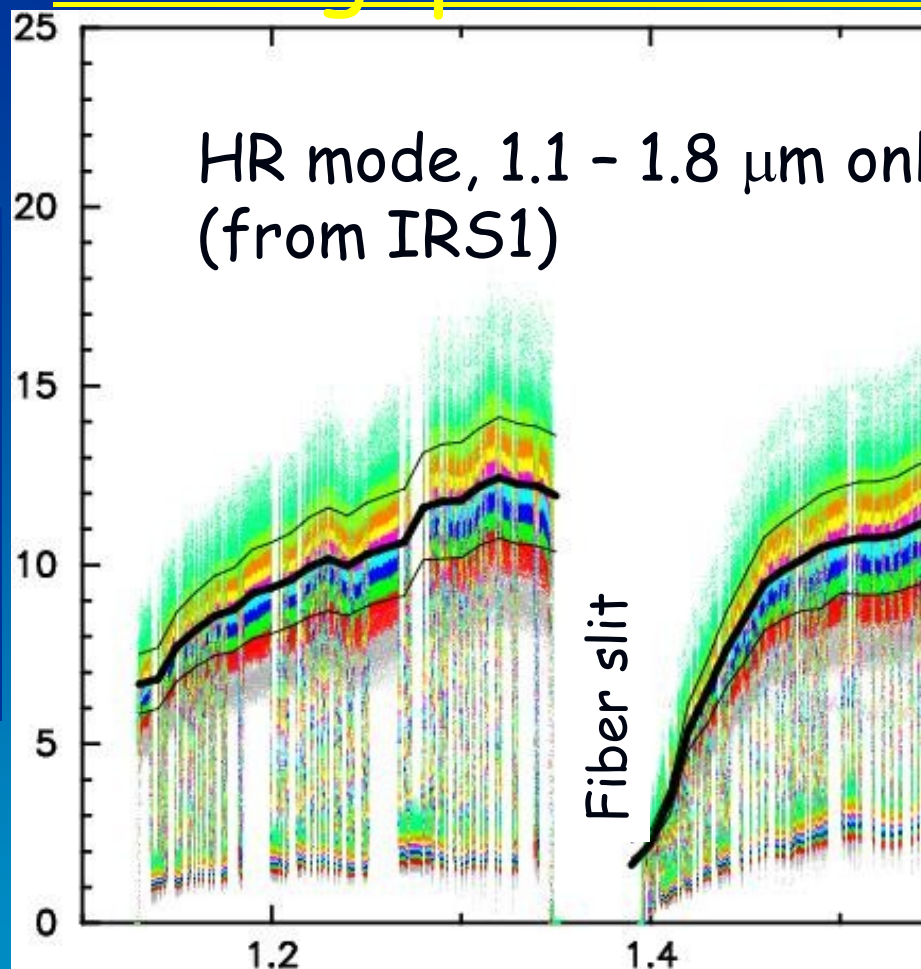
(Corrector + Echidna
+ fibre connector + fibre cable
+ IRS1 or 2 + Camera + detector)
 $\times 0.85$ (M1 + sky)



Subaru UIM 2009

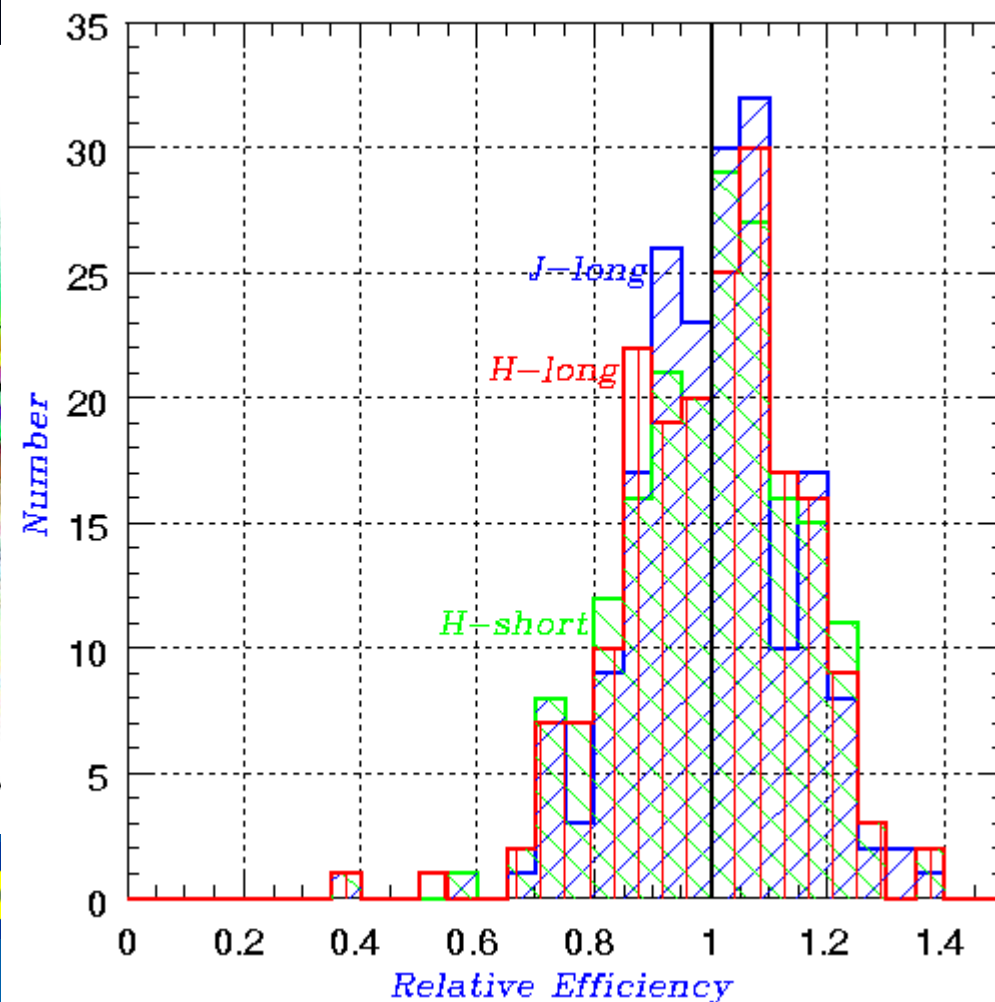
Throughput measurement w/ BB source

Throughput (%)



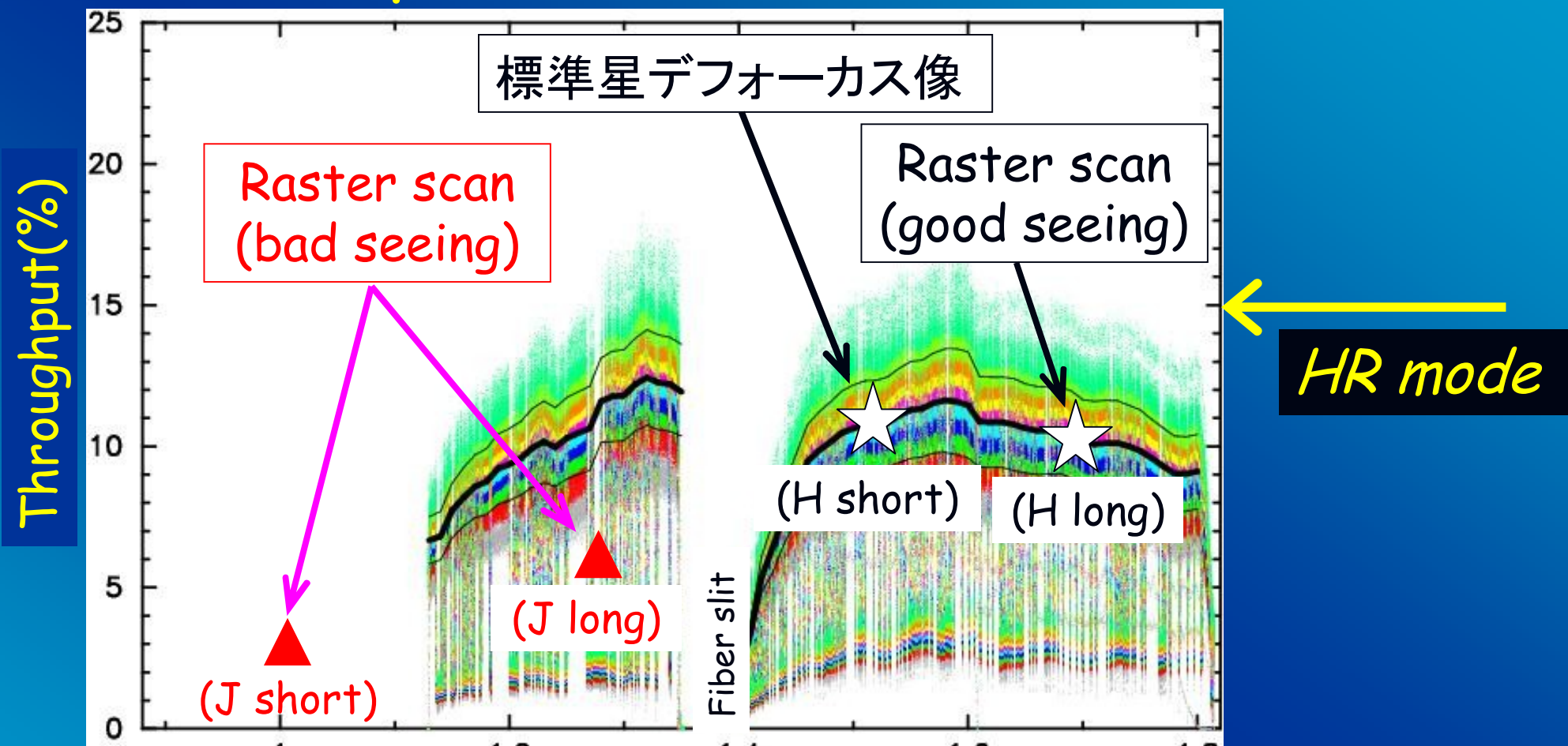
Wavelength (μm)

(Consistent result from IRS2)



Subaru UM 2009

Comparison with other methods



LR での測定は bad seeing 下での raster scan 1 回のみ。
→ ~5% ? 今後の試験観測でより正確な値を求めたい。

Subaru UIM 2009

Tools: Planning observation

Input from observers:

- Field center
- Observation date & time
- List of scientific targets, guide stars, & calibration stars.
 - Coordinates and brightness
 - Priority is needed for scientific targets.

Software



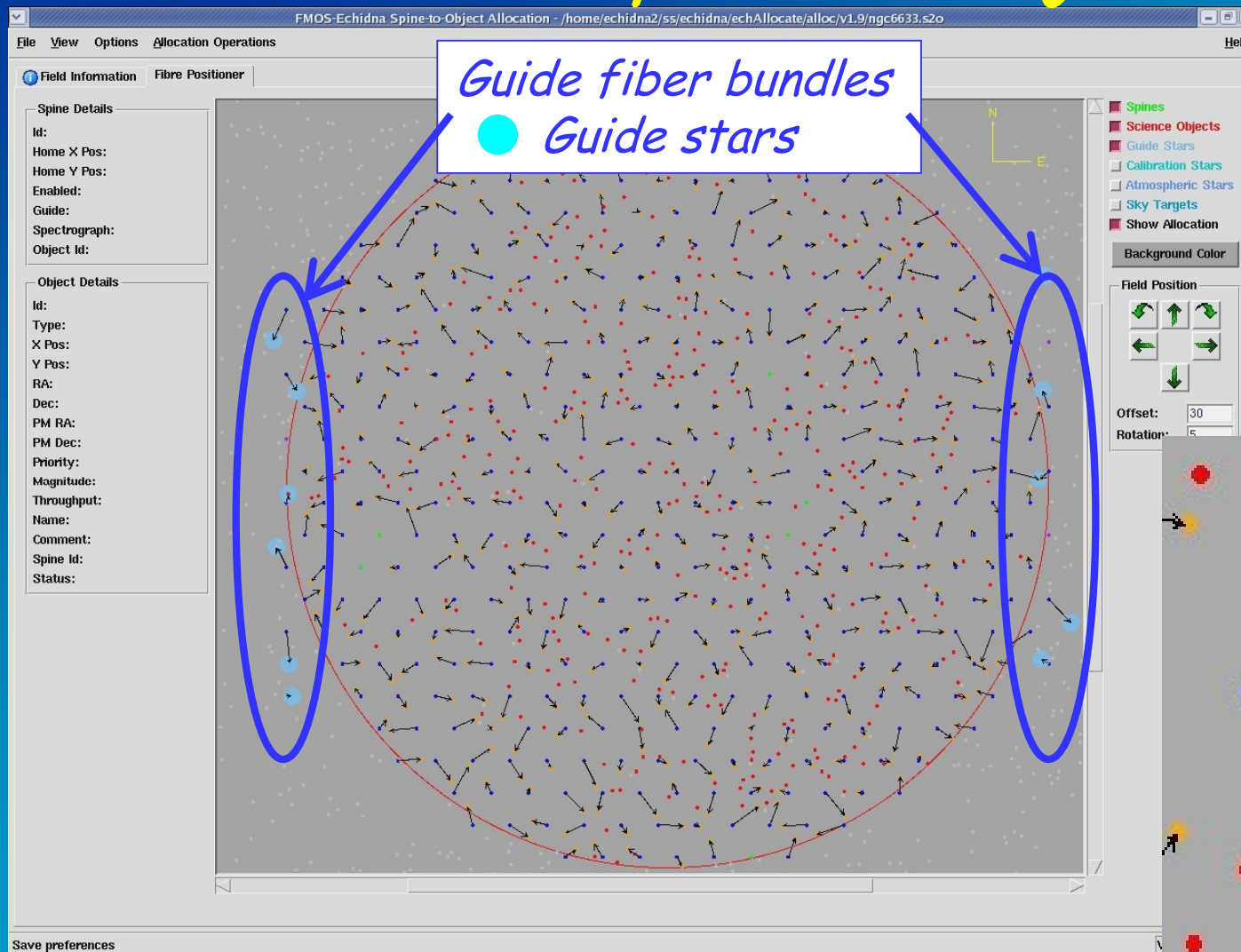
Maximizing the numbers of high-priority targets and guide stars with spines allocated considering a number of constraints ...

Output from software:

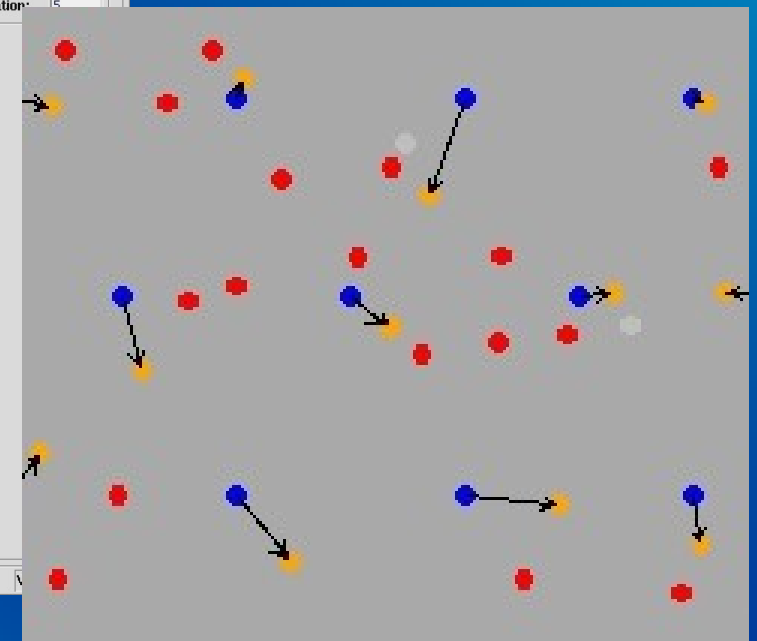
A text file (*.s2o): Spine allocation, instrument PA
Sent to SS → OBCP: Called by .OPE

Subaru UIM 2009

Echidna: Spine-to-object allocation



- Spine home position
- ➔ Spine allocation
- Allocated targets
- Unallocated targets



*Developed by AAO. Executable on
Linux/Solaris/Mac OS with Tcl/Tk.*

Subaru UIM 2009

Observation: Actual sequence

(1) Telescope pointing & fiber configuration

(2) Fine tuning of telescope pointing and instrument PA

"Check field" cf. Pointing accuracy ~ a few arcsec.
FoV of guide fibre bundle ~ 2 arcsec.

Sky-camera で視野内の星を撮像、オフセットを計算し、適用。
これを 1 - 3 回繰り返す。

(3) Start AG2, and exposure

9 月の観測で、pointing から
ガイド開始までを 1 つの抽象
化コマンドで行うことに成功

3 observation modes:

Point & stare | Beam switching | Cross beam switching

- ★ Flat & arc frames need to be taken during a night.
- ★ A GUI for observers (?): quick-look of data & status

Subaru UIM 2009

Tools: Data reduction software

"2dfdr": Reduction pipeline for 2dF data developed by AAO.

Once flat, arc, & science frames are provided, data reduction can be finished by a few clicks and types !!



Implementing FMOS-specific features of spectra in FITS data

"fmosdr": 2dfdr-based reduction software
Development in progress at AAO

Remaining issues

高い背景光(+迷光)レベル

追加対策をしながら鋭意冷却実験を繰り返しているところ (IRS1)。~~IRS1 で十分に下がればリスクシェア(及び場合によっては機能限定)で S09B からオープン。~~

→ 1月末の時点で未解決。S09B からの公開は見送り。

検出器読み出し回路 @ IRS2

Non linearity & reset anomaly
基本パラメータの confirmation.

エキドナ

動きの悪いファイバーが5本ほど。メンテナンスが必要。

Subaru UIM 2009

Remaining issues

長時間積分

- 視野歪みの回転、微分大気差とその airmass による変化
 - 同じファイバー配置で積分を続けるには限界がある。
(特に EL の低いところ、天頂付近でシビア)
 - "Fiber tweak"

フラット、波長較正、スカイ引き

Faint な天体で quality check。パイプラインへのフィードバック。

ファイバーオートガイド

星の明るさ、個数、シーイング条件などの関係調査。
検出器上のフラックスによる guiding accuracy のチェック？

オーバーヘッド

実測を重ねる。

Subaru UIM 2009

Summary +

2007 年12月から現在まで9回にわたる試験観測

- 各コンポーネントの動作は良好。
 - 2008/05/14: Engineering First Light
 - ファイバーポジショニング: RMS ~ 0".2 達成
 - 分光器の光学調整はほぼ完了。
- 抽象化コマンド、観測者用GUI, ファイバー配置準備用ソフト、データリダクションパイプラインの開発、テストも進んでいる。
- ▲ 分光器の背景光・迷光レベルが問題 (共同利用開始への鍵)。
- ▲ IRS2 の進捗が遅れ気味。

戦略枠応募に向けた準備

サイエンスWS @ 京都 (昨年9月): 銀河形成・進化、BAO

Subaru UIM 2009