

# イメージスライサー型近赤外面分光ユニット SWIMS-IFU における要素技術開発

北川 祐太郎 (東京大学 天文学教育研究センター D2)



# 本研究のゴール

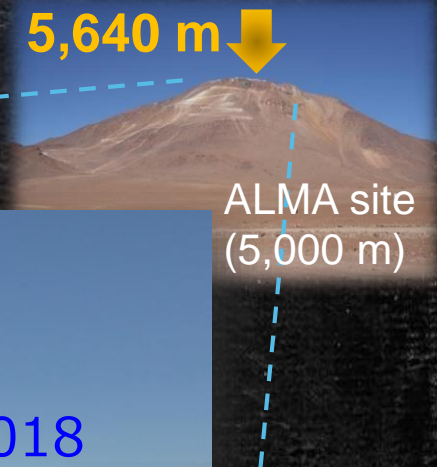
- ▶ すばる望遠鏡における近赤外面分光観測の実現  
→ そのための近赤外面分光ユニット (SWIMS-IFU) の開発
- ▶ 将来的にはTAO6.5 mで大規模面分光サーベイ
- ▶ 次世代観測装置のための要素技術の蓄積, 提供  
(e.g. TMT, 他波長IFU)



# TAO プロジェクト

## ▶ 東京大学アタカマ天文台 (通称 : TAO)

- 南米チリのチャントール山頂 5,640m
- 主鏡口径 6.5mの望遠鏡を建設 (2018年 完成予定)



現在, 東大天文センターでは第1期観測装置として,  
**近赤外分光カメラ SWIMS** の開発を進めている.

[Phase 1] **すばる望遠鏡** (米国ハワイ) : 2016 - 2018

[Phase 2] **TAO 望遠鏡** (南米チリ) : 2018-



東京大学アタカマ天文台  
(チリ・チャントール山頂 5,640 m)



すばる望遠鏡

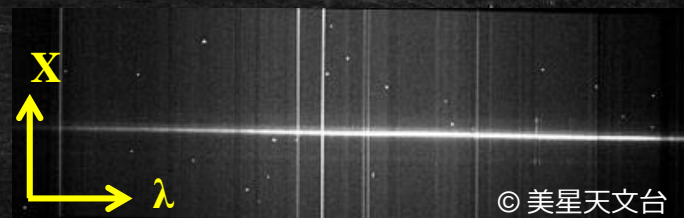


# 天体観測の基本

## 撮像



## スリット分光



可視赤外では検出器上に展開できるのは基本的に、**2次元** 情報

## ➡ 分光観測の重要性

- ・ 物理状態 (星が生まれる割合, ガスの電離状態 etc...)
- ・ 力学状態 (速度, 速度分散, イン/アウトフロー)



# 従来の分光観測の課題点

▶ 天体全体のスペクトル情報を取得するには



## 問題点

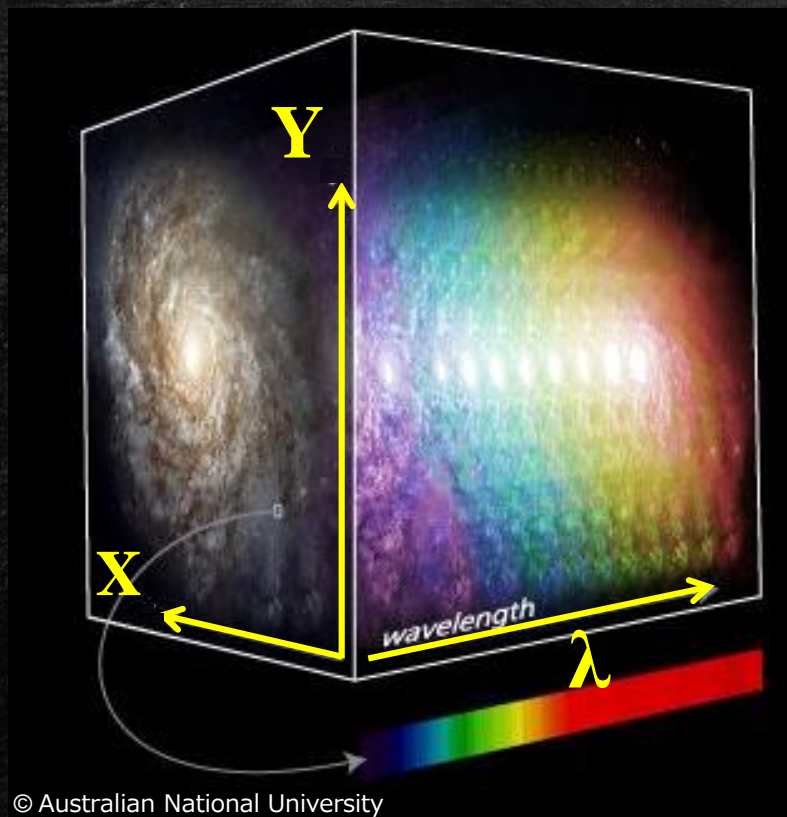
- (1) 観測時間が膨大になる → 大型望遠鏡においては致命的な問題
- (2) スリットロスが生じる → 観測効率が悪い
- (3) 大気の状態が変動する → データの信頼性の低下

視野全体の波長情報を一度に取得できる観測手法はないのか??



# 面分光 (Integral Field Spectroscopy)

面分光 = 空間方向 2次元 + 波長方向 1次元



© Australian National University

最終的に生成されるのは  
( $X, Y, \lambda$ ) の『データキューブ』

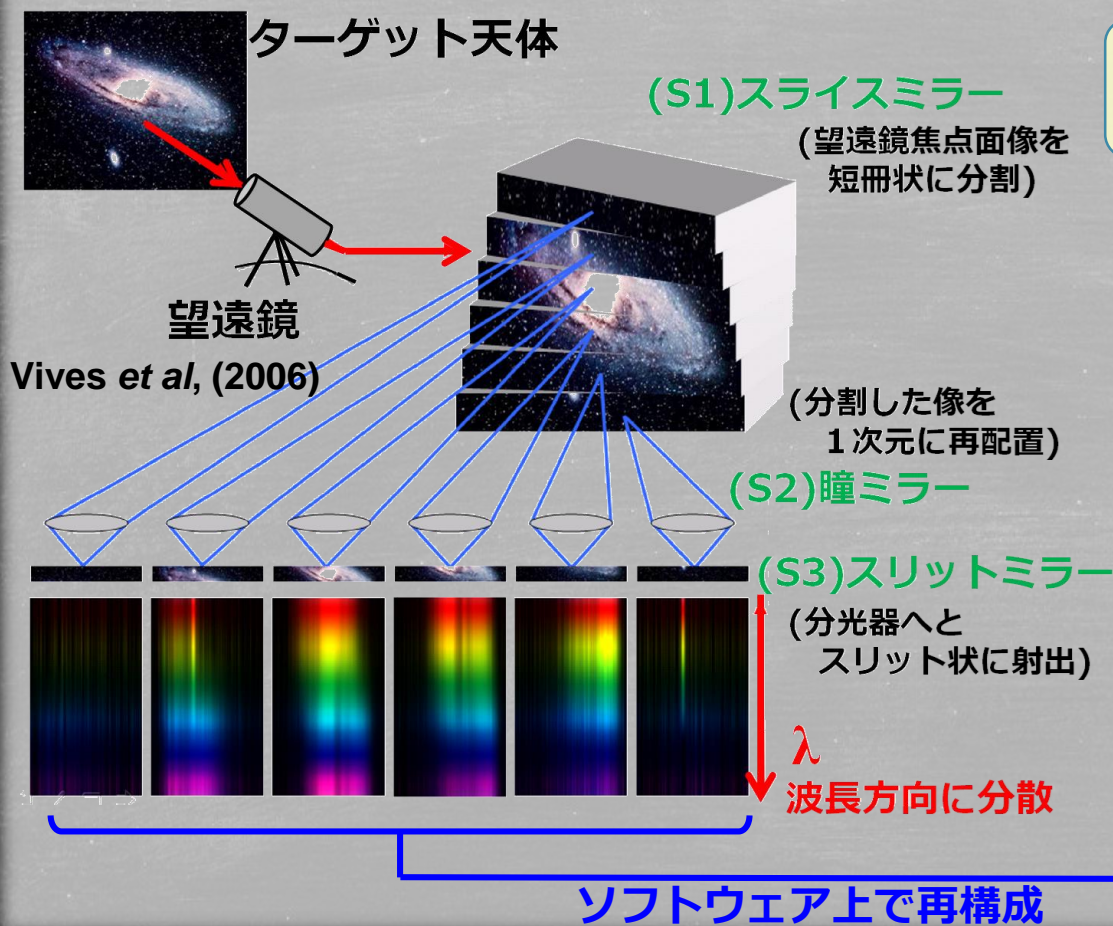
- 一度の露出で
  - \* 視野内の空間情報
  - \* 各領域のスペクトル
 を同時に取得することが可能
- 8- 10m 級望遠鏡の登場に伴い、2000年代から急速に発展

面分光を実現する特殊な光学系が、**面分光ユニット (Integral Field Unit)**

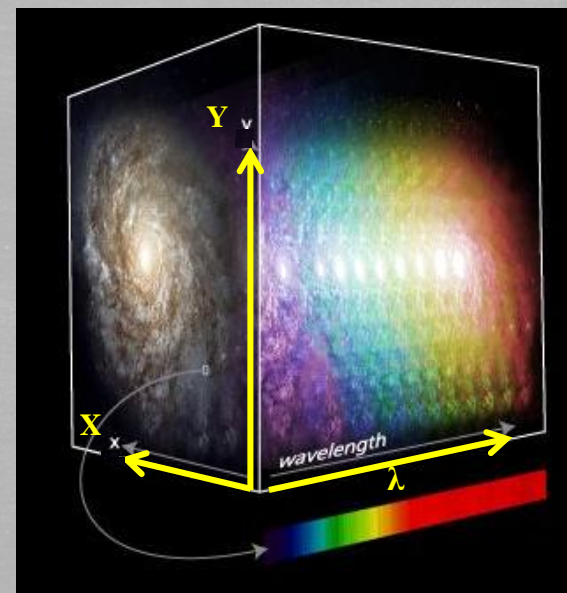


# 面分光の原理

## ■ イメージスライサー方式の場合



「2次元の視野」を「1次元のロングスリット」に変換する



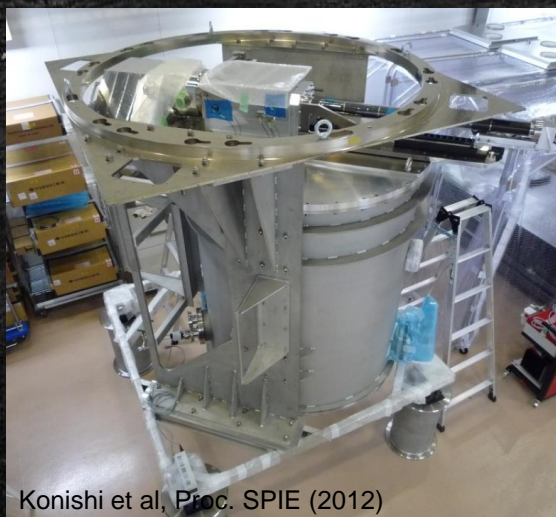
“Data Cube”



# SWIMS-IFU のコンセプト

→ 既存の多天体分光装置 + 面分光ユニット

近赤外多天体分光カメラ : SWIMS

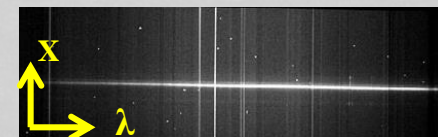


Konishi et al, Proc. SPIE (2012)

撮像

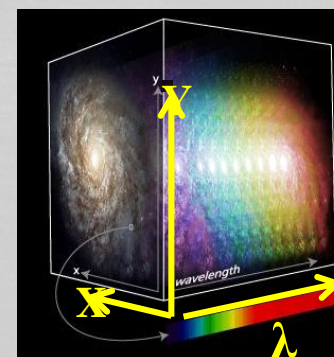


(多天体)分光



+

面分光



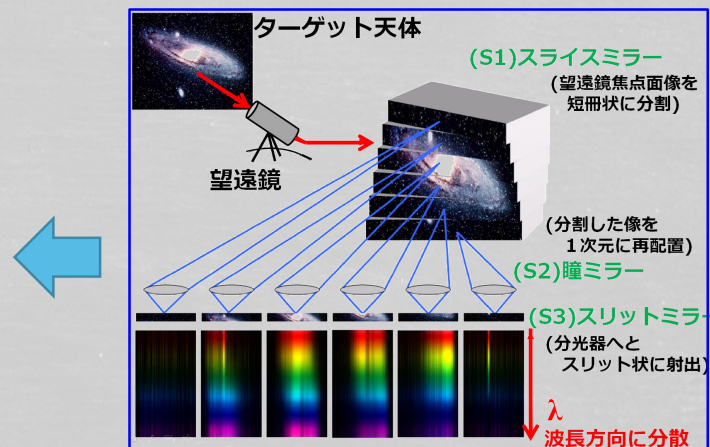
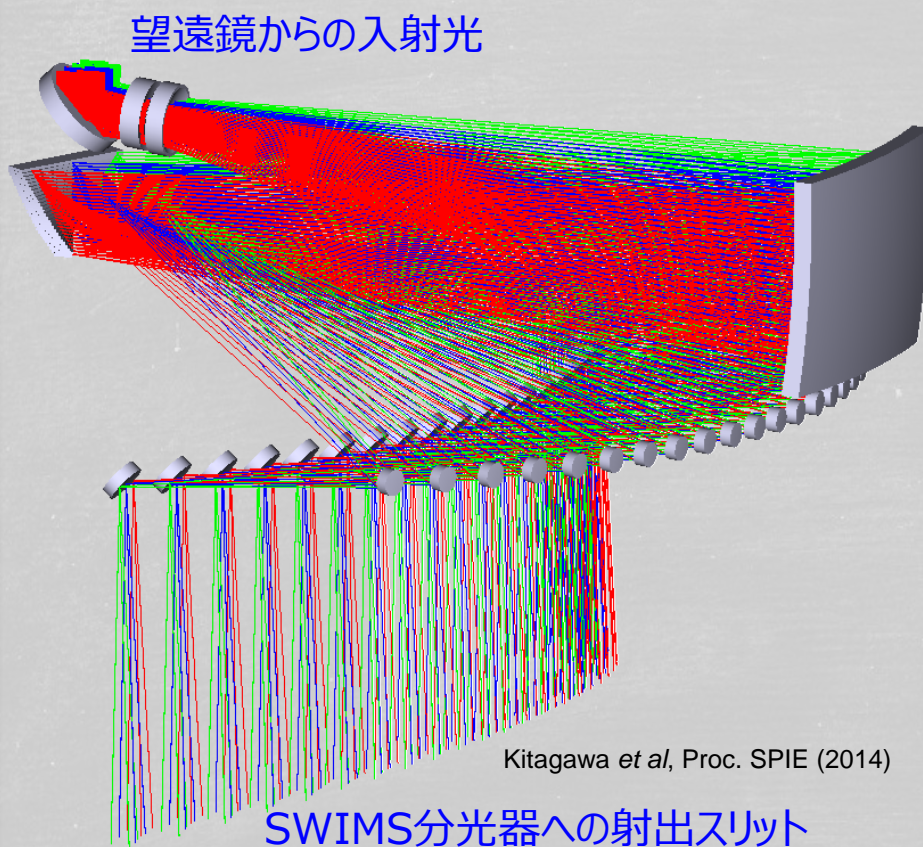
一晩の観測中に  
切り替え可能





# SWIMS-IFUの光学系

## イメージスライサー型近赤外IFU : SWIMS-IFU



	Subaru 8.2m	TAO 6.5m
波長 [ $\mu\text{m}$ ]	0.9 – 1.4 (blue) & 1.4 – 2.5 (Red)	
波長分解能	Blue: ~ 1000 – 1500 Red : ~ 800 – 1400	
視野	14" x 5.2"	17.2" x 12.8"
スライス幅	0.4"	0.5"

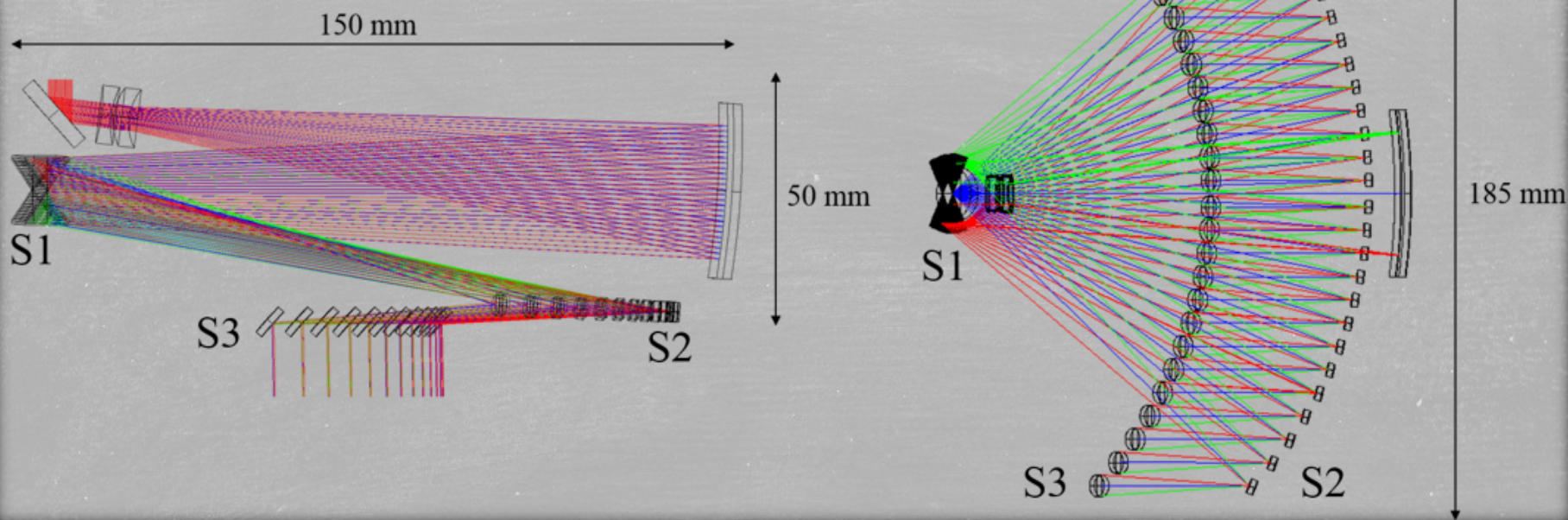


# SWIMS-IFUの光学設計

- サイズ要求はかなり厳しかったが、設計は完了

## 面分光ユニットに要求されるサイズ制限

170mm (L) × 220mm (W) × 60mm (H)

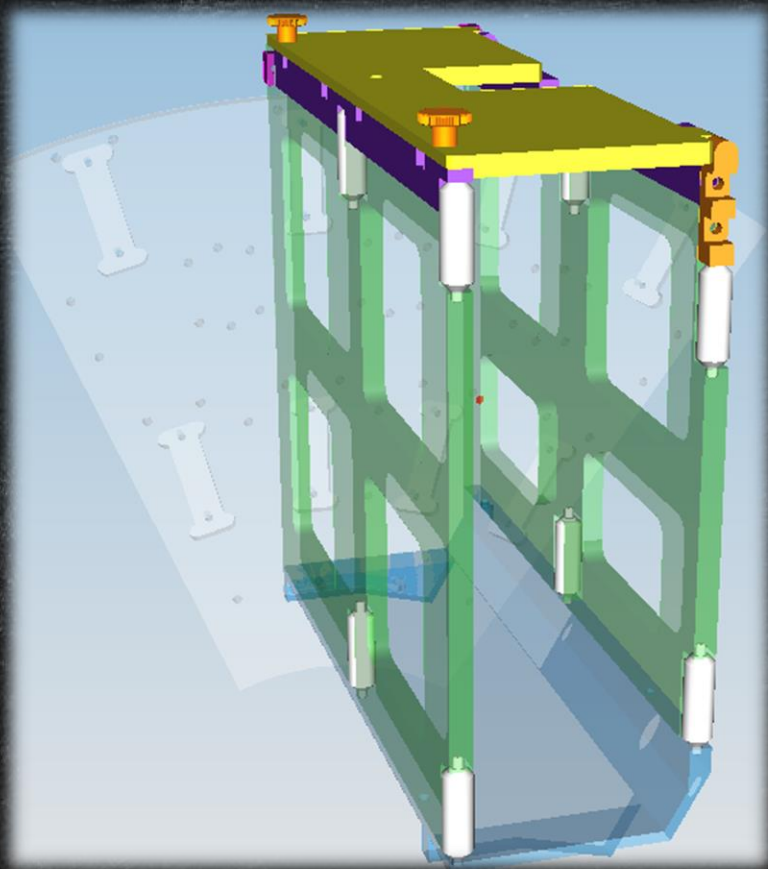


(S1) スライスミラーアレイ (S2) 瞳ミラーアレイ (S3) スリットミラーアレイ

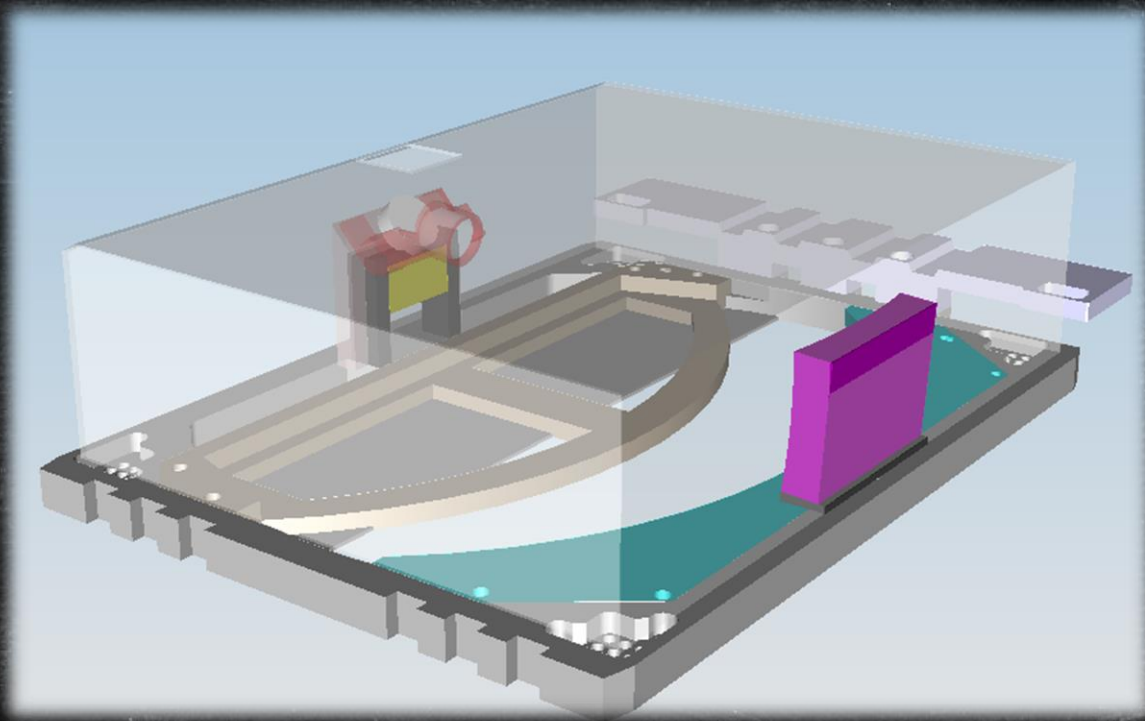


# SWIMS-IFUの機械設計

- ▶ 現在，製作図面に落とし込むための最終検討中。



← IFUポケット

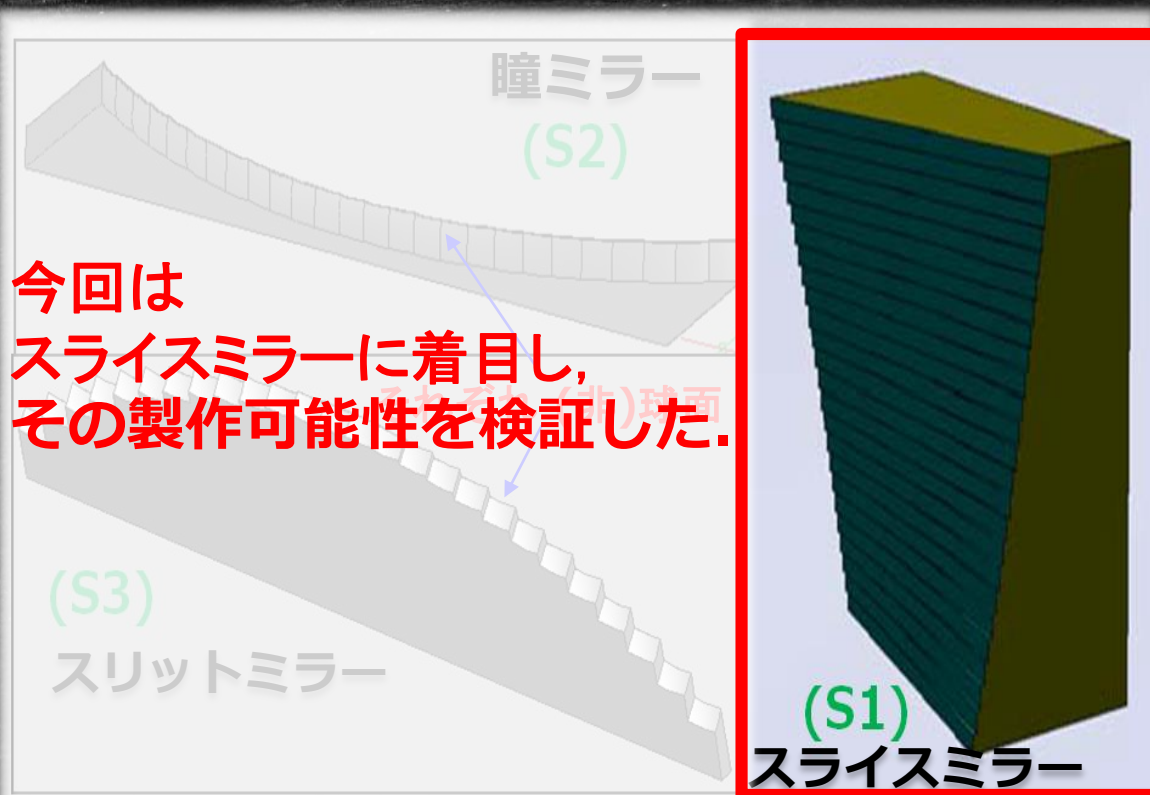


↑ IFU本体



# 光学素子製作上の課題点

- ➡ 複雑形状を有する光学素子 (ミラーアレイ) が必要
  - (1) 使用波長, 温度を考慮しつつ,
  - (2) ミラーアレイをいかに精度良く製作できるか?



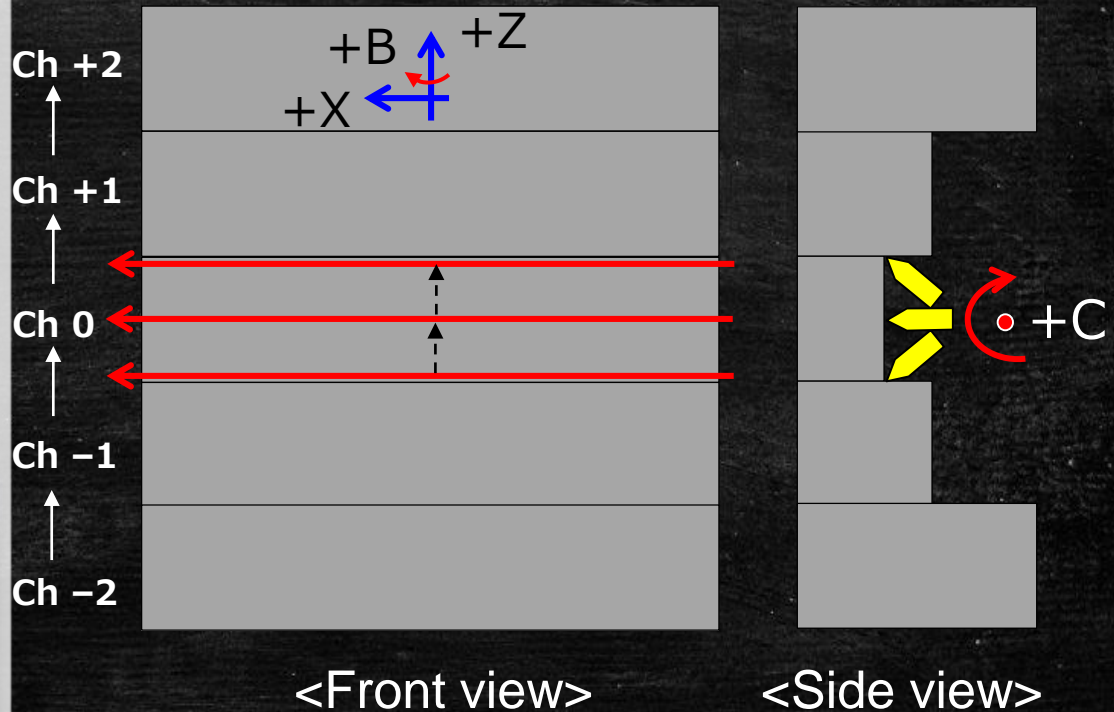
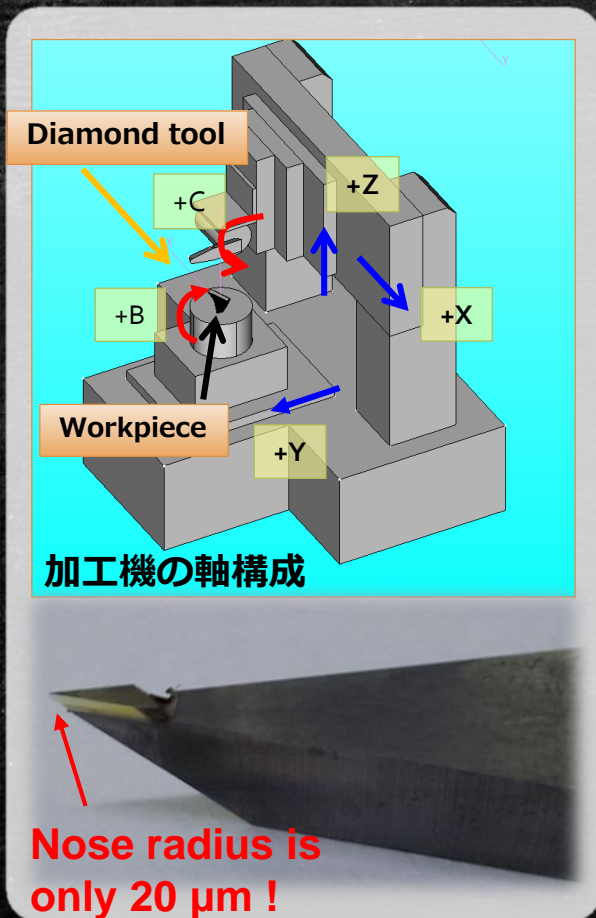
## 要求仕様

- 使用波長  
 $\lambda = 0.9 - 2.5 \mu\text{m}$
- 使用温度  
 $T = 80\text{K}$
- 要求加工精度  
形状誤差  $< 0.1 \mu\text{m}$  P-V  
表面粗さ  $< 5 \text{nm rms}$



# 5 軸制御の軸構成

- ▶ 理化学研究所 先端光学素子開発チーム 所有の加工機を使用

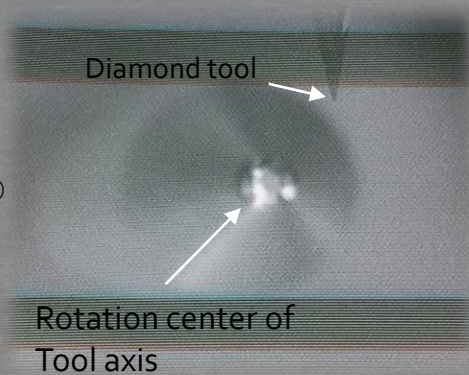
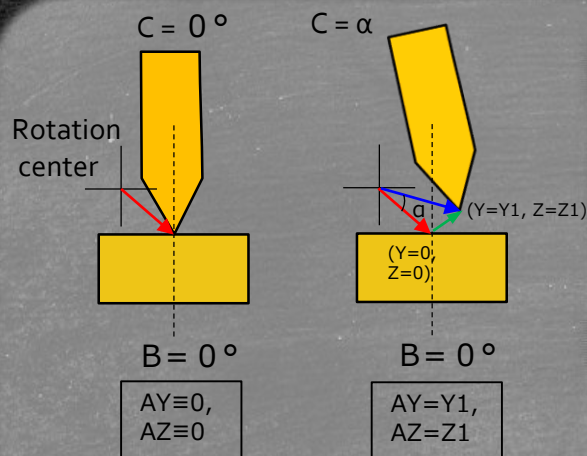




# 工具位置合わせ

## 要求仕様を満たすには工具位置合わせ精度が重要

- 工具の理想位置からのズレはテストカットで補正してする calibrated.
- イテレーションをかければ理想的には  $\pm \sim 1 \mu\text{m}$  の精度まで追い込む事が可能

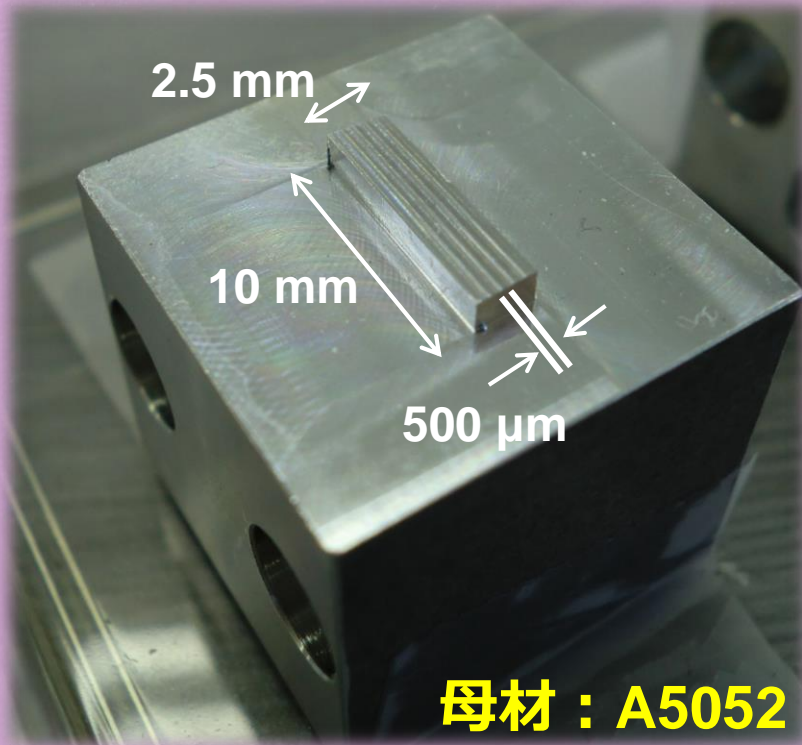


$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Z_1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \frac{1}{4 \sin^2(\alpha/2)} \begin{pmatrix} \cos \alpha - 1 & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha - 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

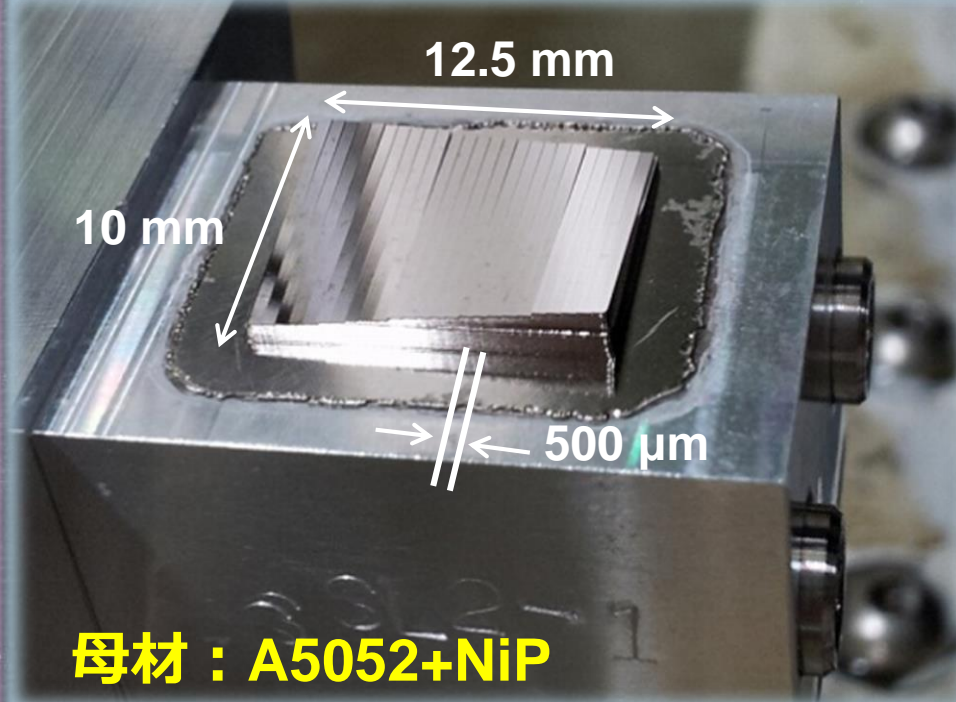


# 被加工物写真

シェーパ加工 (5 反射面)



エンドミル加工 (25 反射面)

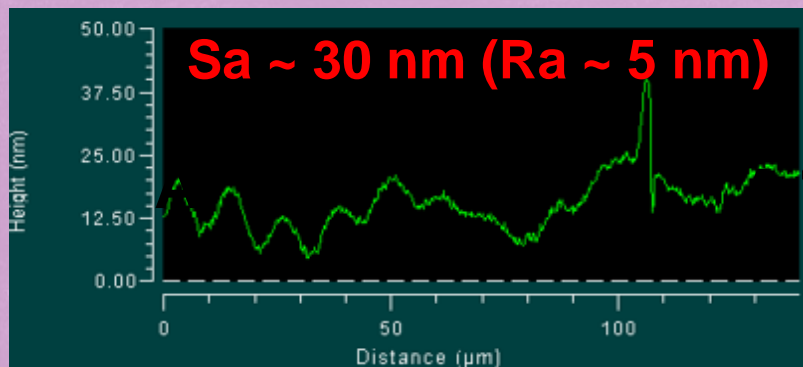
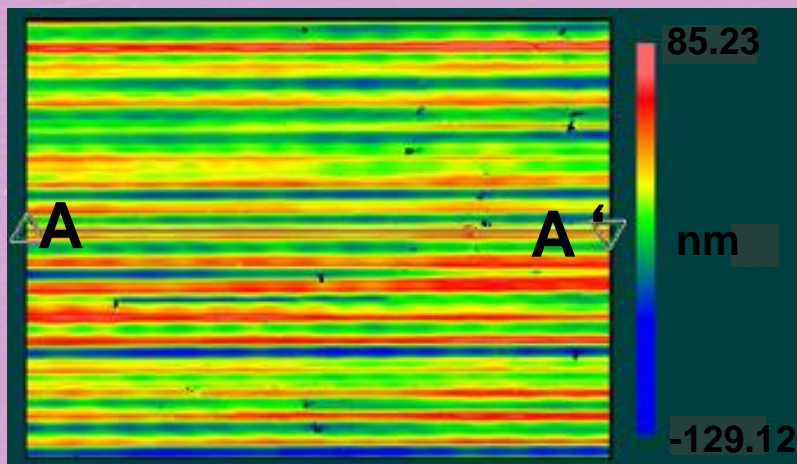




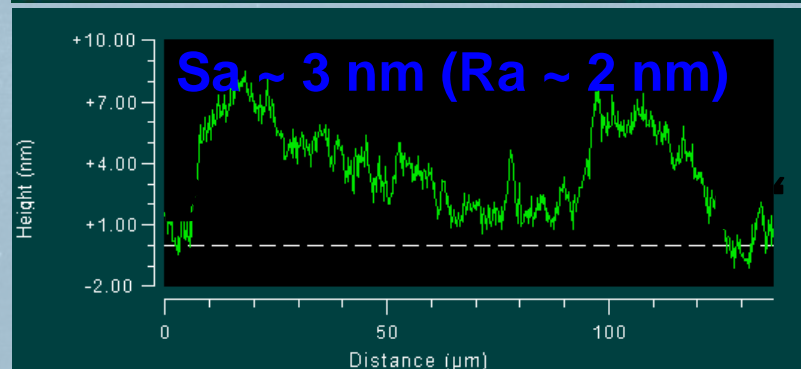
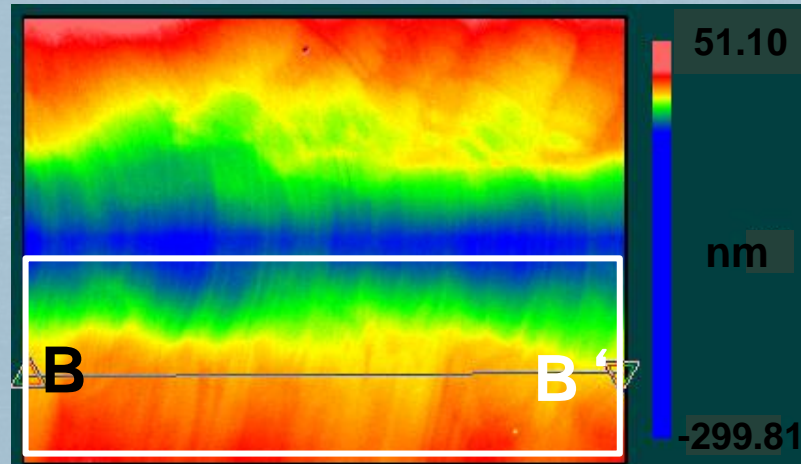
# 表面粗さ 測定結果

- 白色光干渉顕微鏡 Newview7200(ZYGO) で表面粗さを測定 (倍率 x50)

## シェーパ加工



## エンドミル加工



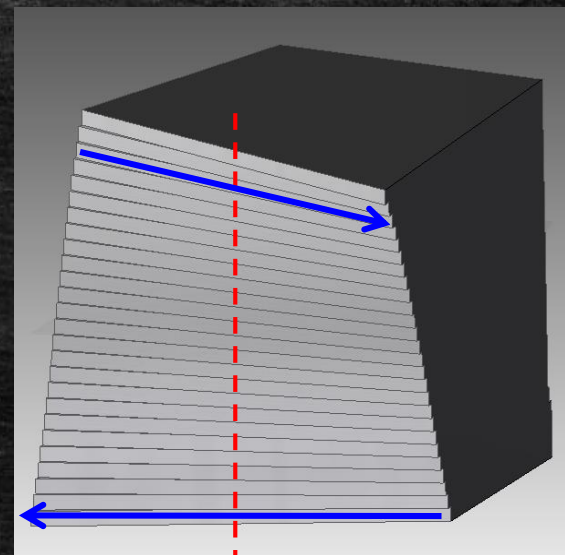
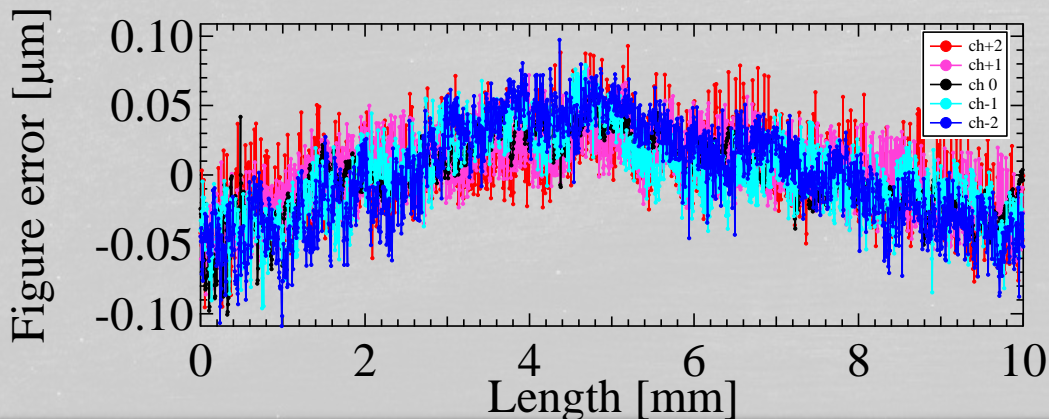
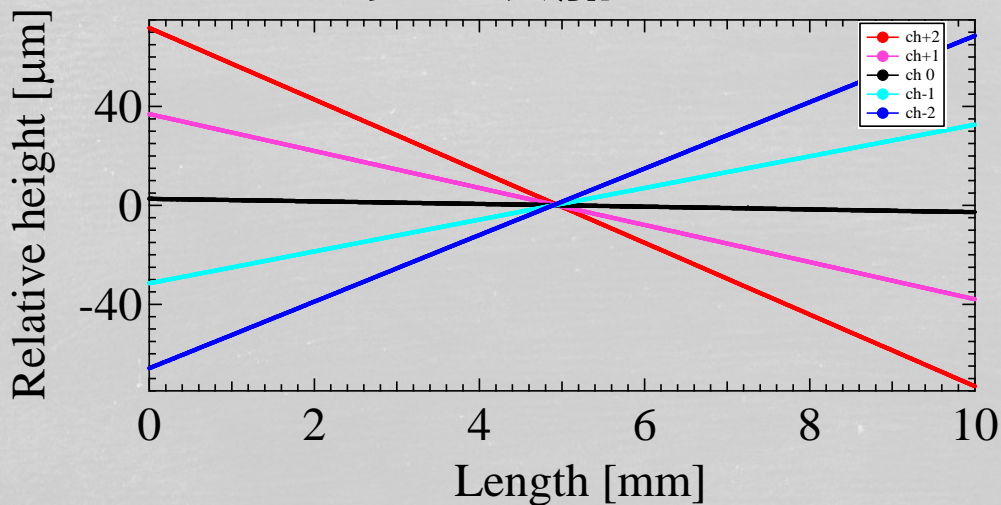
- 表面粗さに関する違いは以下の2点の寄与によるものと考えられる。
  - 母材の違い (NiPメッキの有無), 軸構成の違い (工具アライメント精度)





# 形状誤差測定結果

## シェーパ加工



- 平行度 (上図)  
仕様値からのズレ < 0.1%
- 平面度 (下図)  
0.10~0.15 μm P-V



# 測定評価のまとめ

## ▶ 両加工手法の比較

	シェーパ加工	エンドミル加工
表面粗さ	~ 30 nm	~ 3 nm
形状誤差	< 0.15 $\mu\text{m}$	< 0.15 $\mu\text{m}$
加工時間	△	○
形状自由度	○	×

## ▶ 切削加工を用いたスライスミラーの一体加工

- 今回得られた結果から十分製作可能であると判断
- 加工の自由度が高いシェーパ加工の手法を更に洗練させていきたい  
(ex. スライスミラーの各面を球面にしたりできるか?)

## ▶ シェーパ加工の改善点

- 表面粗さ → NiPメッキを用いることで仕様値を満たすことが可能



# 本講演のまとめ

## ▶ 『面分光』と呼ばれる観測手法

- 近年, 天文観測において急速に発展
- 鍵となる要素技術開発は

「超精密切削加工による複雑形状ミラーの一体加工」

今後の天文観測装置開発において、重要な要素技術

ex. すばる望遠鏡, TMT (主鏡口径30mの次世代大型望遠鏡)

## ▶ 超精密切削加工によるスライスミラーの製作可能性を検証

- シェーパ, エンドミル加工による実験
- 仕様値に近いサンプルを得ることができた.

### 【次のステップ】

- ・残りのミラーアレイの製作
- ・面分光ユニットの構造体製作

