

光ファイバー交換機の開発

ABC/NAOJ 小谷隆行

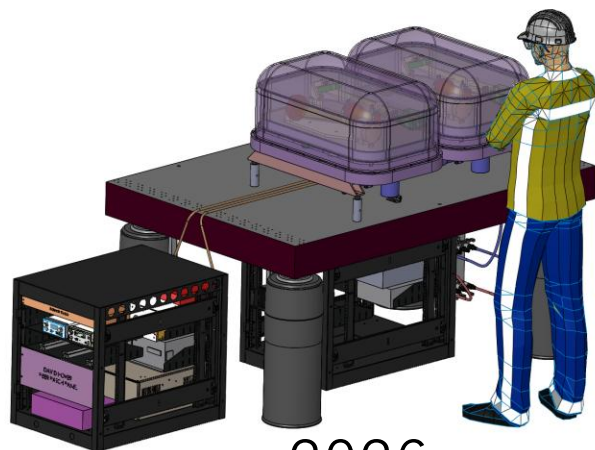


IRD, REACH
R=70,000/100,000
YJH-band



HISPEC

HIGH-RESOLUTION INFRARED SPECTROGRAPH
FOR EXOPLANET CHARACTERIZATION



~2026

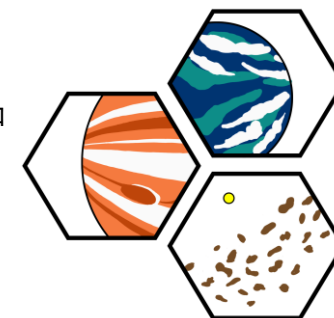
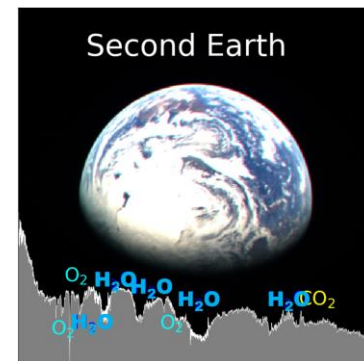


MODHIS



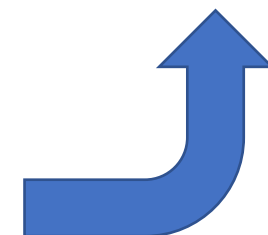
- シングルモードファイバーを用いた、回折限界の近赤外線高分散分光器
- Blue spec: YJ-band, R~150,000
- Red spec: HK-band, R~100,000
- PrecursorとしてKeck用HISPECを開発中

~203X



~203X

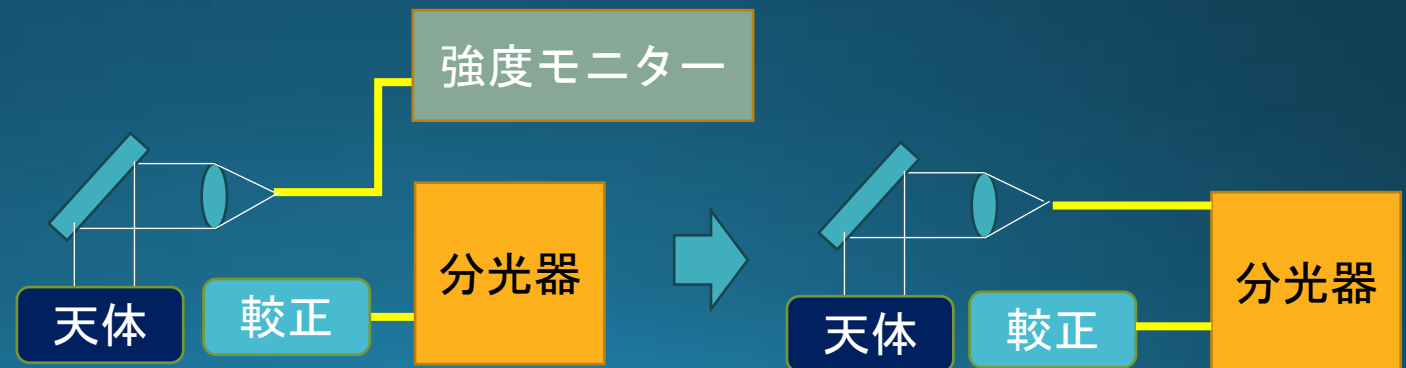
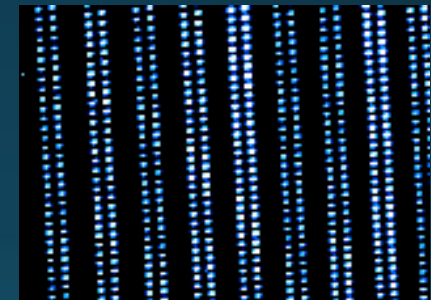
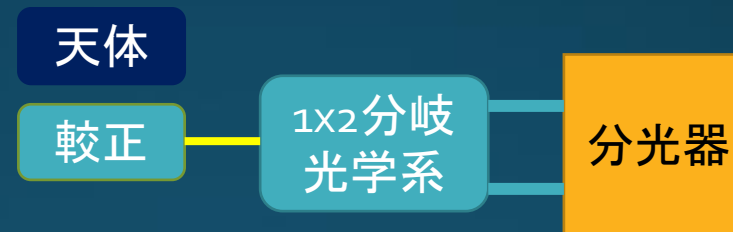
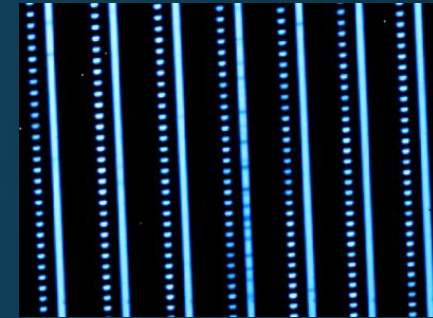
PSI



光ファイバー交換機とは



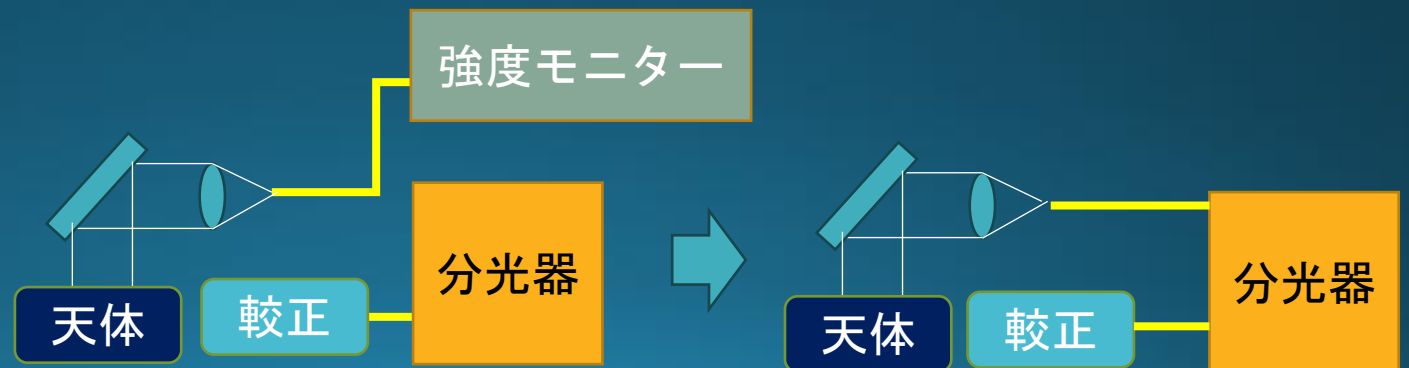
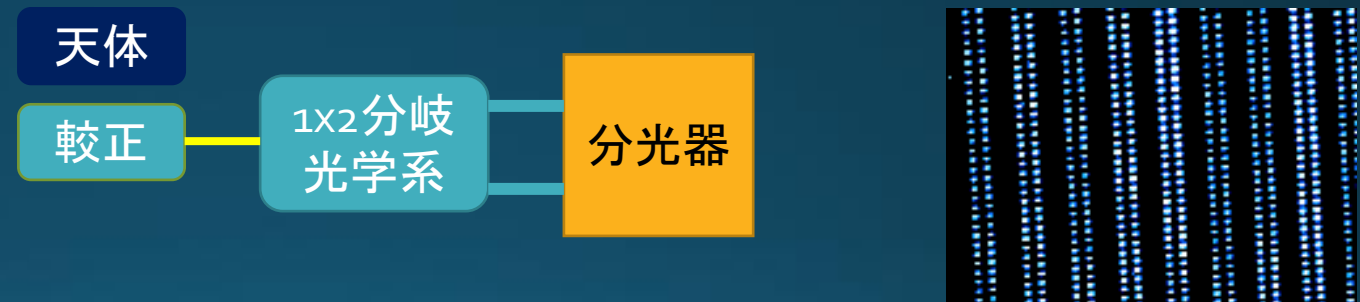
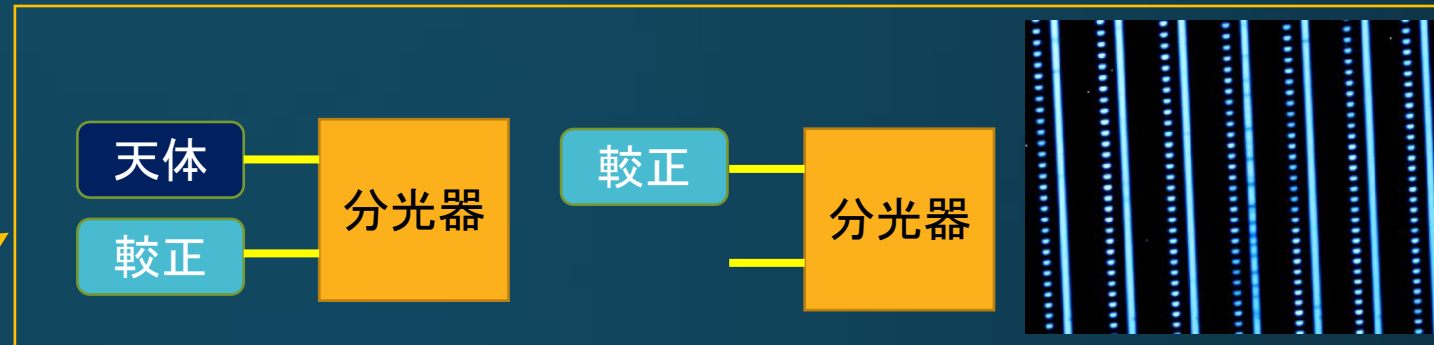
- 光ファイバーの抜き差し・組み換えを遠隔操作で行いたい
- 例えば
 - 天体光が通るファイバーに、校正用光源を通して校正スペクトルを取りたい
 - 光を分岐させて2本のファイバーに校正用光源を同時に通したい
 - ファイバーへの星導入最適化
 - ファイバーの出射光強度をモニターし、最適な星位置を決める
 - その状態で、ファイバーを分光器に接続してスペクトルを取りたい
- 自由空間光学系を介すると、光の損失・広帯域化が難しい・安定性の問題が生じる



光ファイバー交換機とは



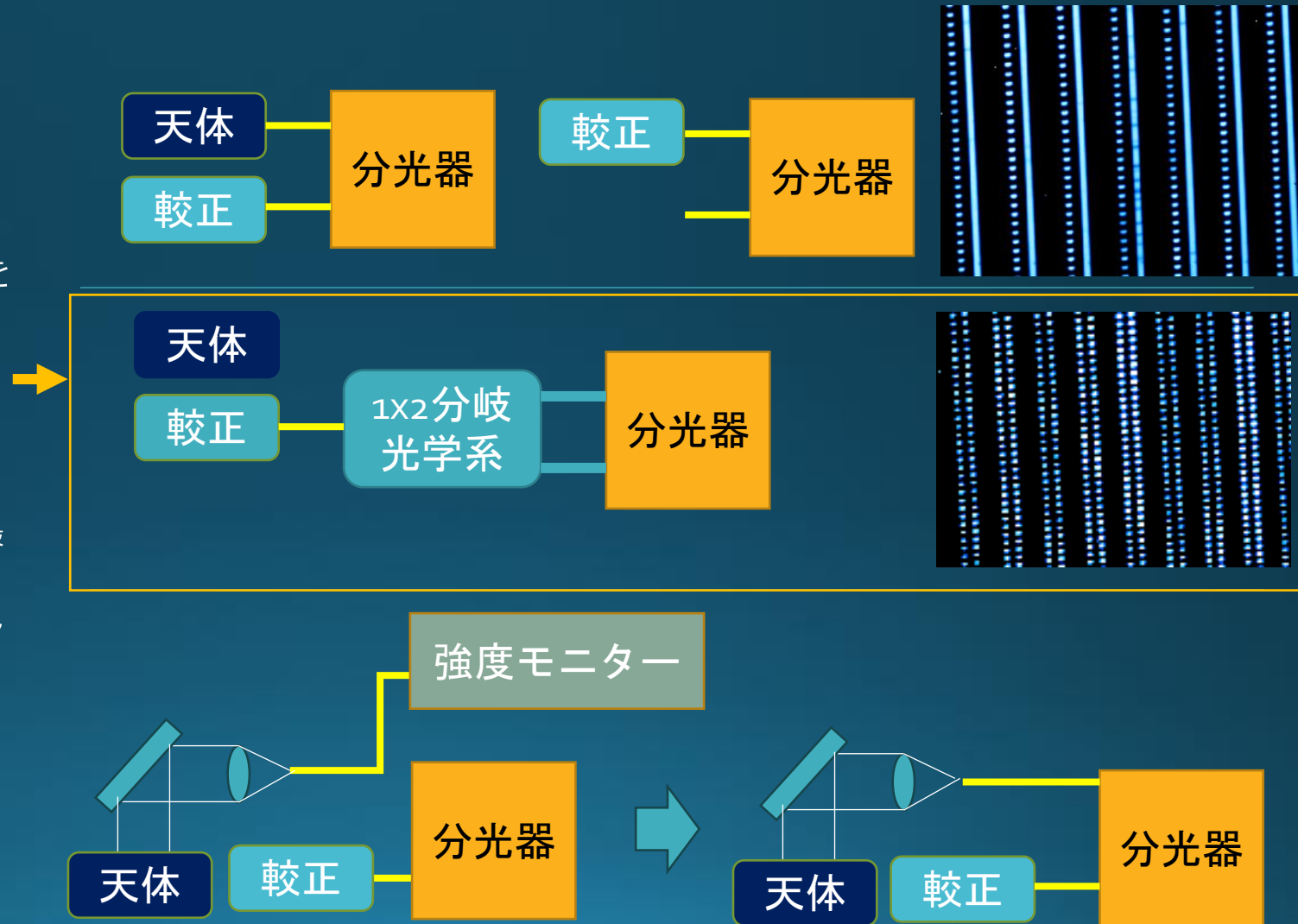
- 光ファイバーの抜き差し・組み換えを遠隔操作で行いたい
- 例えば
 - 天体光が通るファイバーに、校正用光源を通して校正スペクトルを取りたい
 - 光を分岐させて2本のファイバーに校正用光源を同時に通したい
 - ファイバーへの星導入最適化
 - ファイバーの出射光強度をモニターし、最適な星位置を決める
 - その状態で、ファイバーを分光器に接続してスペクトルを取りたい
- 自由空間光学系を介すると、光の損失・広帯域化が難しい・安定性の問題が生じる



光ファイバー交換機とは



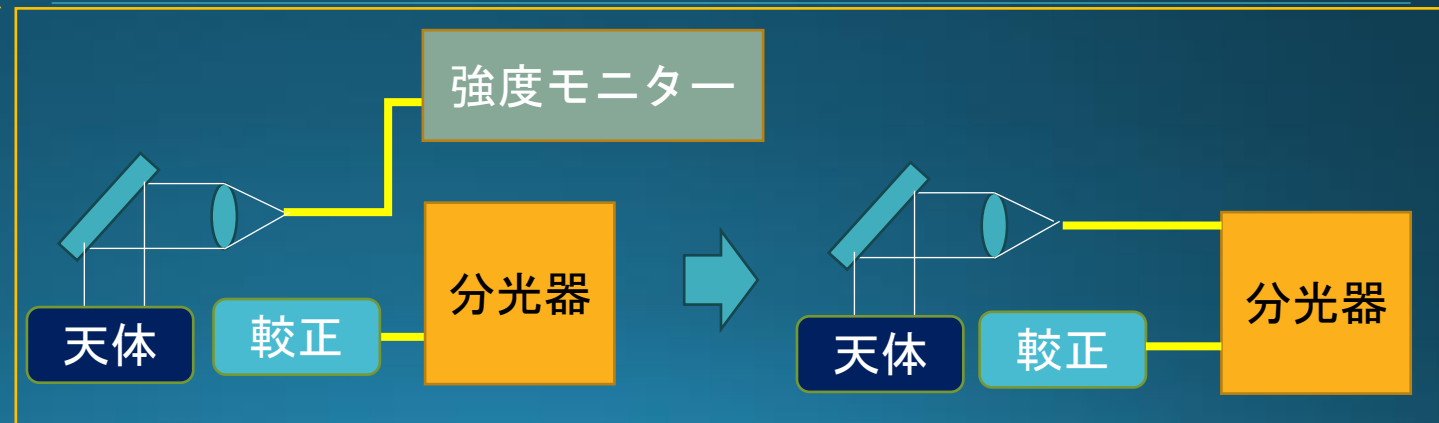
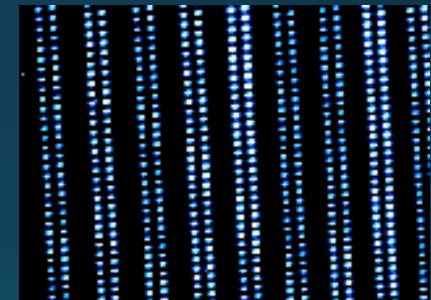
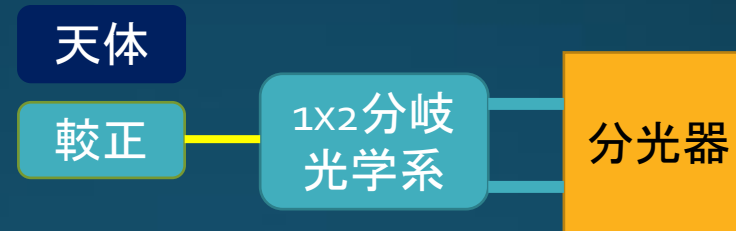
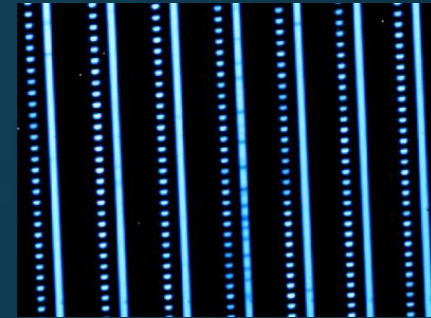
- 光ファイバーの抜き差し・組み換えを遠隔操作で行いたい
- 例えば
 - 天体光が通るファイバーに、校正用光源を通して校正スペクトルを取りたい
 - 光を分岐させて2本のファイバーに校正用光源を同時に通したい
 - ファイバーへの星導入最適化
 - ファイバーの出射光強度をモニターし、最適な星位置を決める
 - その状態で、ファイバーを分光器に接続してスペクトルを取りたい
- 自由空間光学系を介すると、光の損失・広帯域化が難しい・安定性の問題が生じる



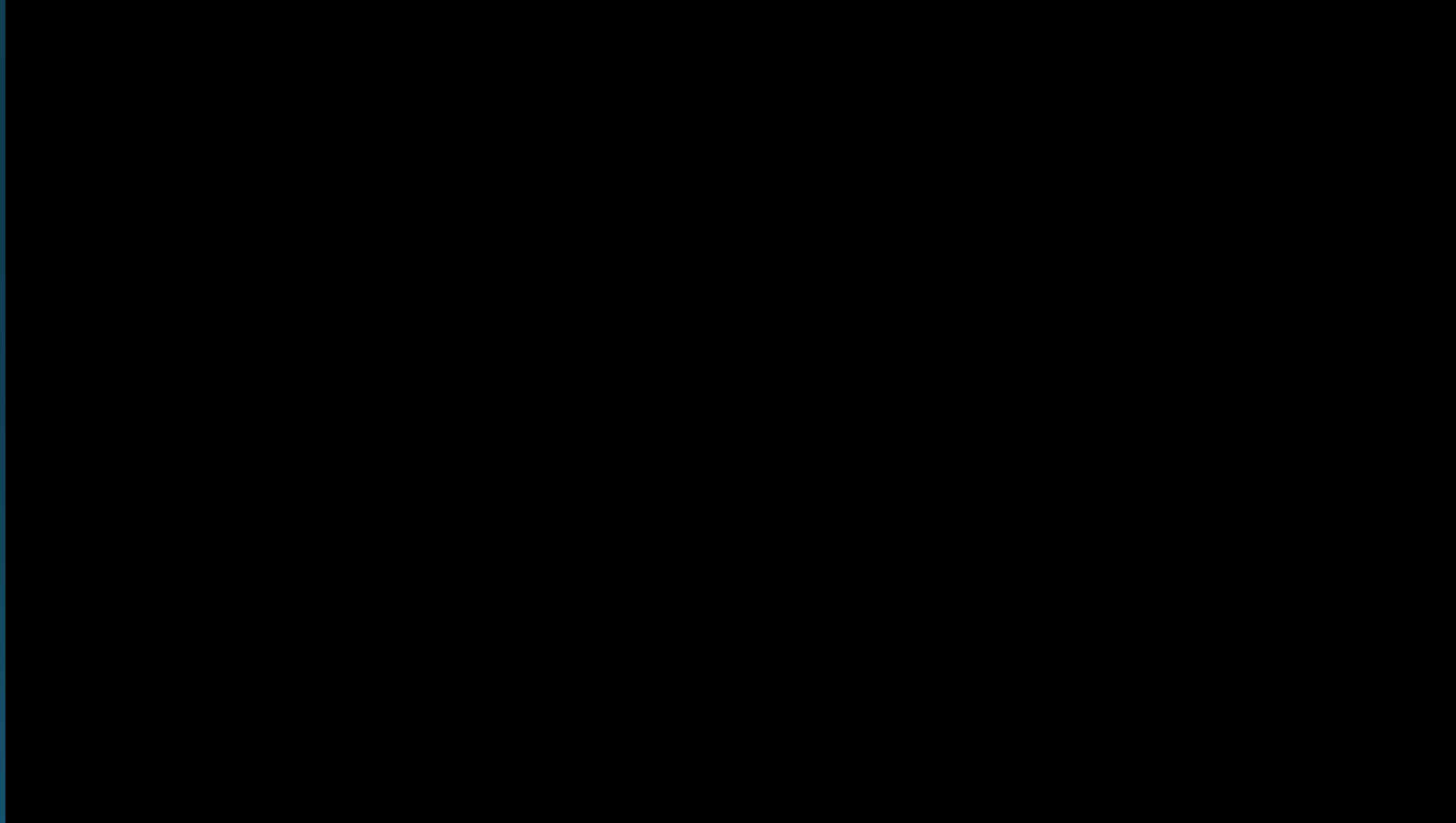
光ファイバー交換機とは



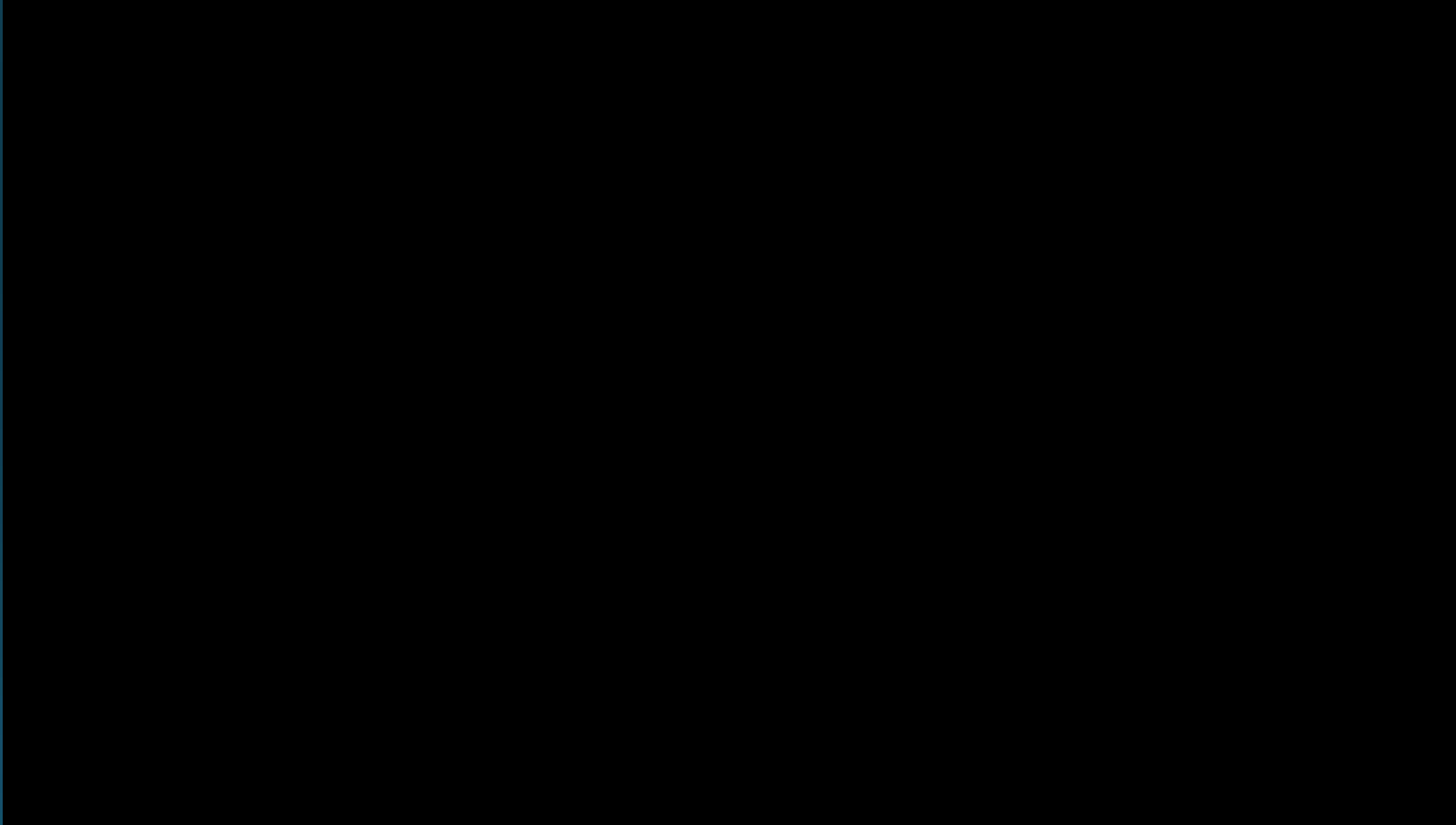
- 光ファイバーの抜き差し・組み換えを遠隔操作で行いたい
- 例えば
 - 天体光が通るファイバーに、校正用光源を通して校正スペクトルを取りたい
 - 光を分岐させて2本のファイバーに校正用光源を同時に通したい
 - ファイバーへの星導入最適化
 - ファイバーの出射光強度をモニターし、最適な星位置を決める
 - その状態で、ファイバーを分光器に接続してスペクトルを取りたい
- 自由空間光学系を介すると、光の損失・広帯域化が難しい・安定性の問題が生じる



ファイバー抜き差し・つなぎ変えとはどんな作業？FCコネクタの場合



ファイバー抜き差し・つなぎ変えと
はどんな作業？SCコネクタの場合

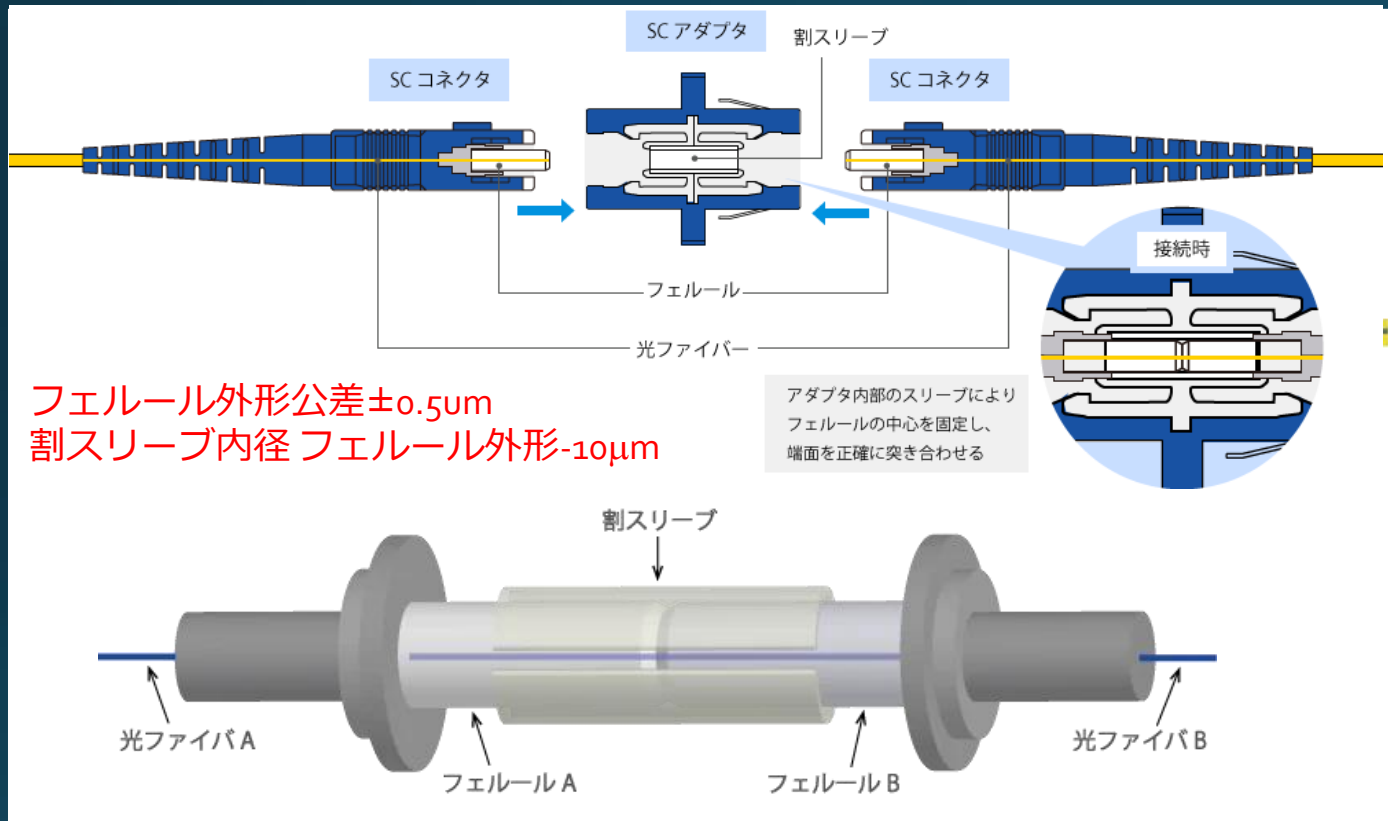


ファイバー交換機、どうやって作る？

- 既存のコネクター、アダプターを使って抜き差しできる製品は存在しない
- ファイバーを抜き差しできるロボットがあればいいんじゃない？
- 中央大学工学部の奥井さん（河原さんのお友達）と伊藤工業に相談
- ロボットアームでやるのはちょっと大変そうだが、SCタイプのコネクターなら、モーターでスライドして抜き差しできるのでは？



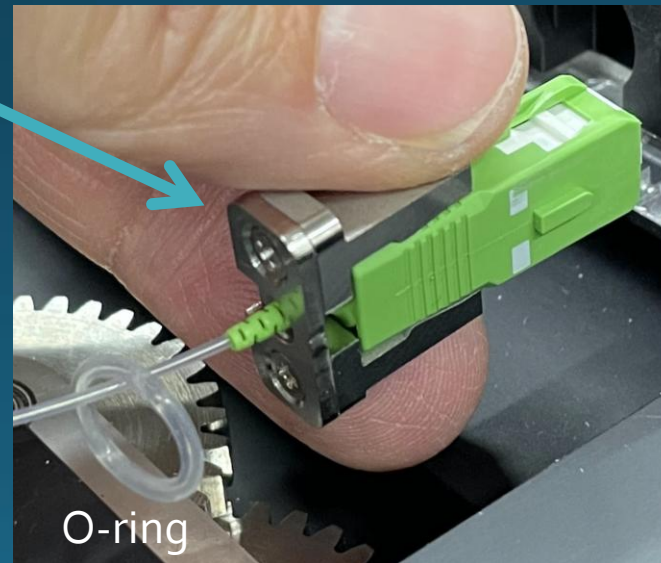
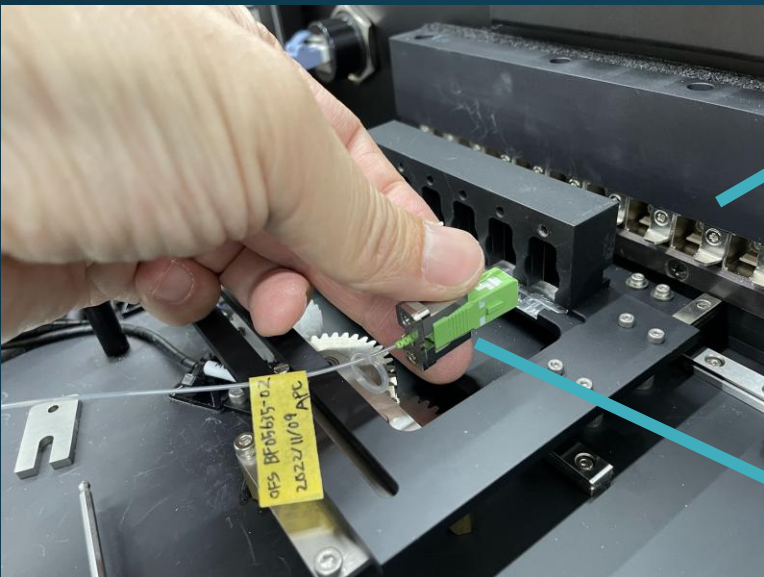
問題点



上：ファイバーラボ社Web siteより <https://www.fiberlabs.co.jp/tech-explan/about-optical-connector/>

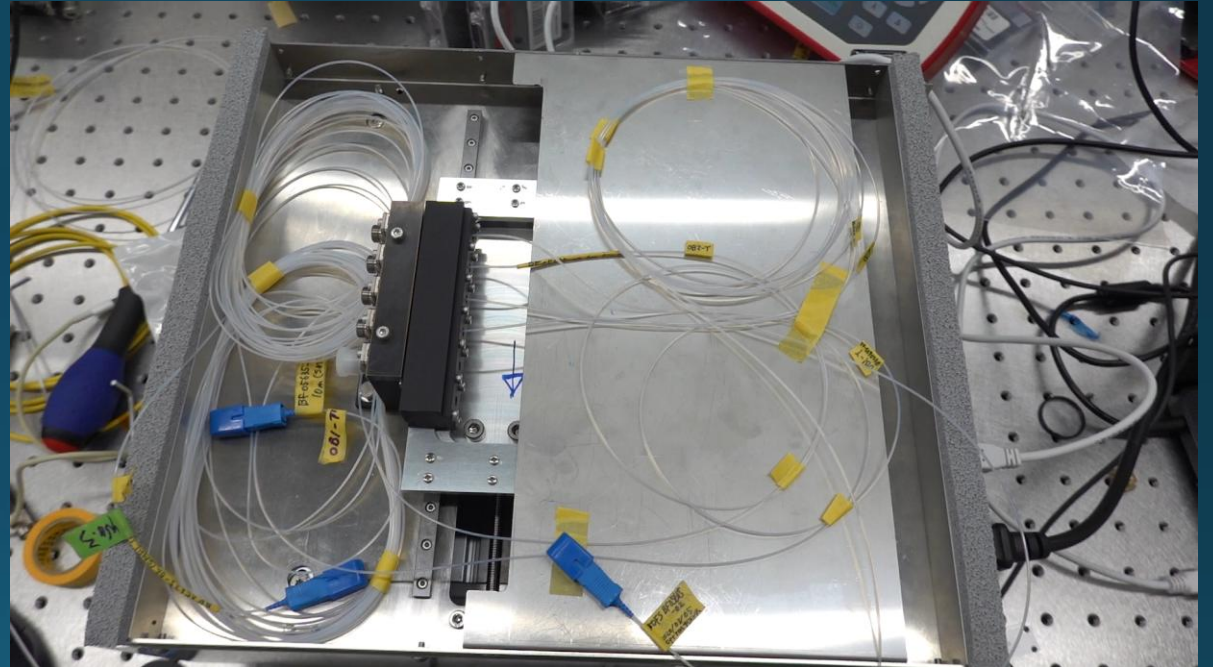
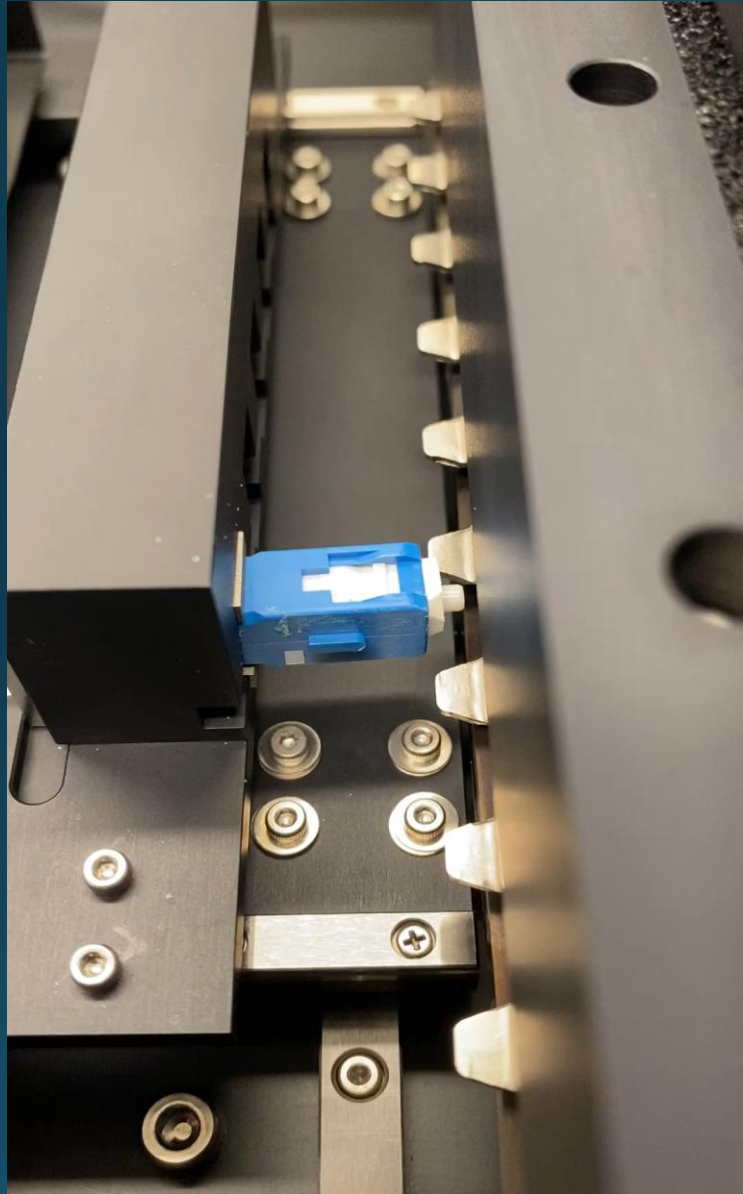
下：Orbay株式会社HPより <https://orbray.com/magazine/archives/350>

- ファイバーをアダプターを介して接続するのは、実はそんなに簡単ではない
- ファイバーのフェルールを、フェルール径より $10\mu\text{m}$ ほど内径が小さい割スリーブ内に押し込む
- 機械的にフェルールをちゃんと保持して、かつ精密に位置制御すればできるだろうが、制御が大変・高コスト
- そもそも人間がファイバーを接続するときは、かなりいいかげんな精度でやっているの、それを模倣すれば良いのでは



- ファイバーはゆるくしか拘束しない
- アダプターへの挿入はガイド金具を通して行う
- ファイバーを押し込みすぎて破損させないように、後ろからo-ringを介して押しこむ
- 最後のファイバー端面のコンタクトは、アダプター内蔵のラッチで行う
- ラッチでコネクターをつかんだら、コネクターに力がかからないように「手を離す」（を機械的にやる）
- ファイバーを破損させることなく、手動での接続と変わらない高効率（SMFで>95%以上）を実現

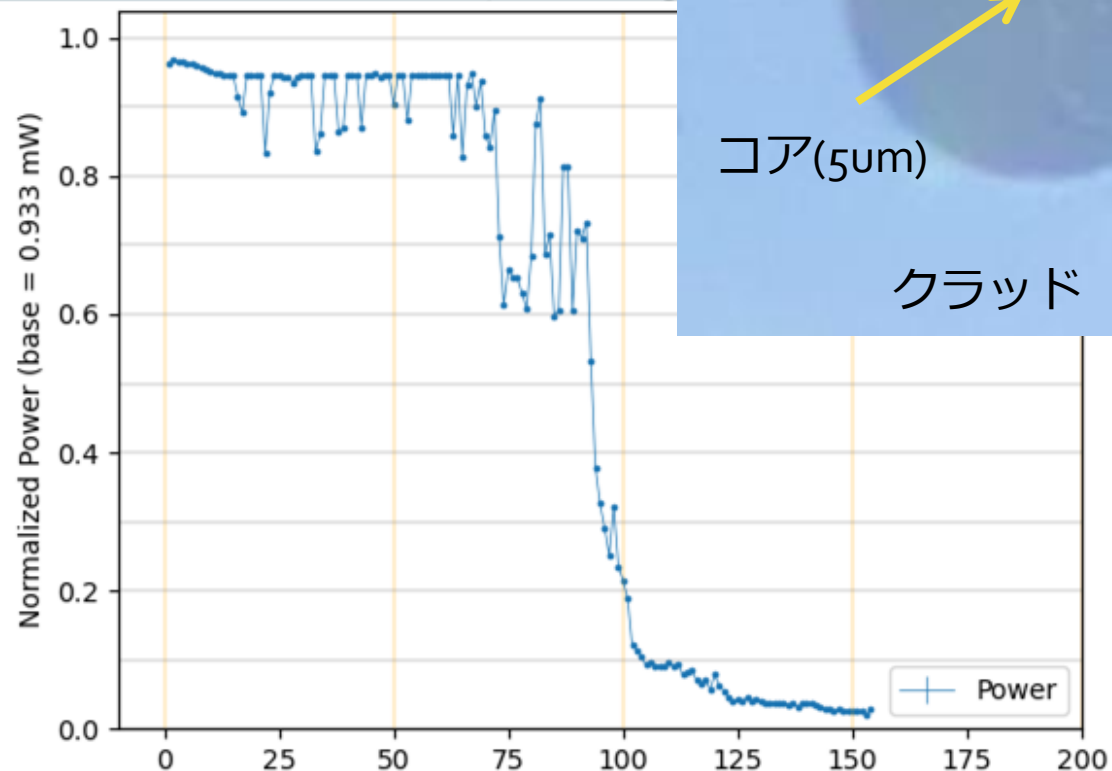
IRD、REACH(SCExAO+IRD)で運用中



問題点 2

- ダストがファイバー端面に付着して、大きな光の損失につながる
- シングルモードファイバーのコア直径は $\sim 5\mu\text{m}$ 程度と小さいので、微小なダストでも大きな損失になる
- 端面検査とクリーニング機構を追加
- 目標抜き差し回数 ~ 3000

効率

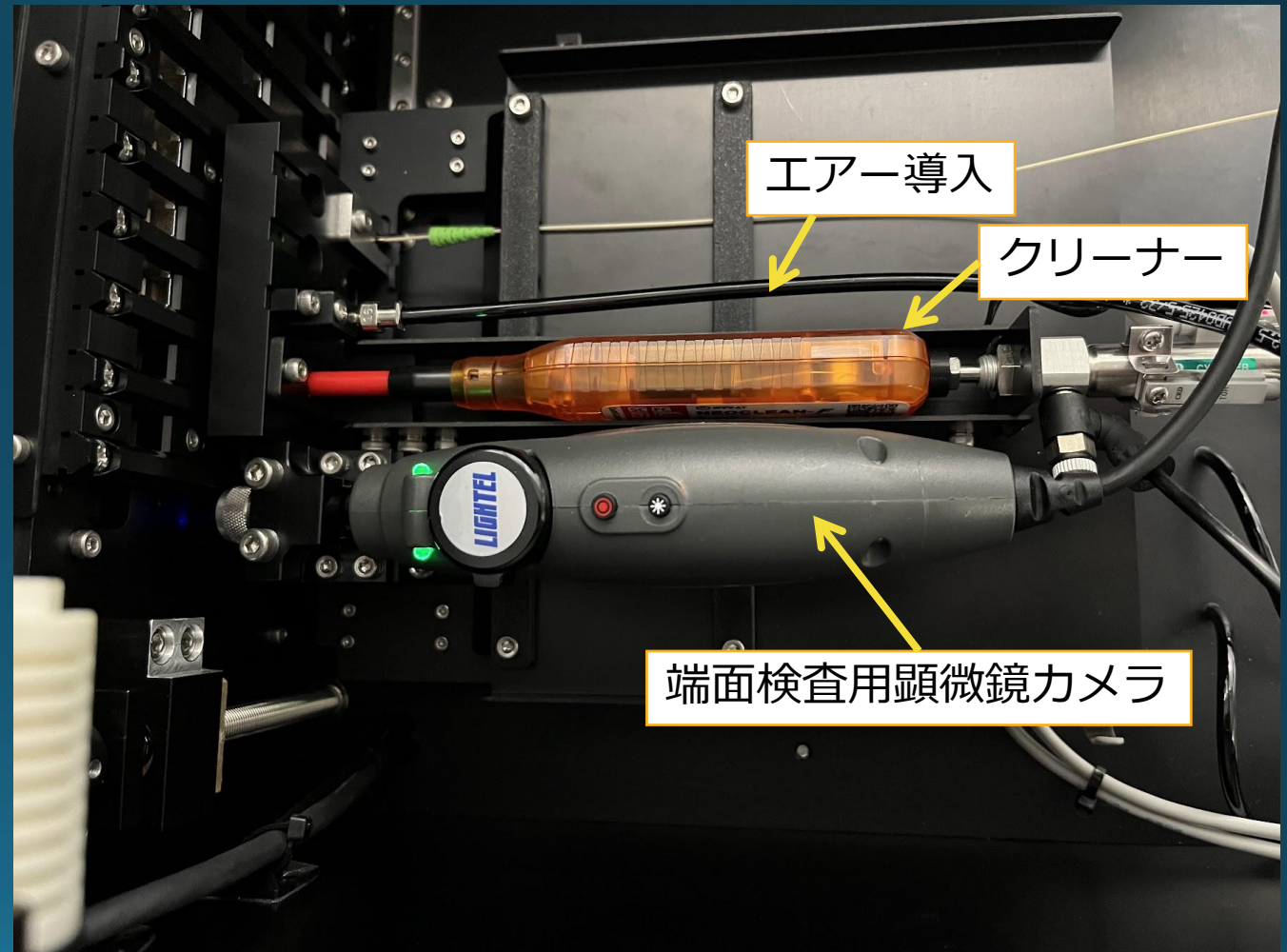


コア($5\mu\text{m}$)

クラッド ($125\mu\text{m}$)

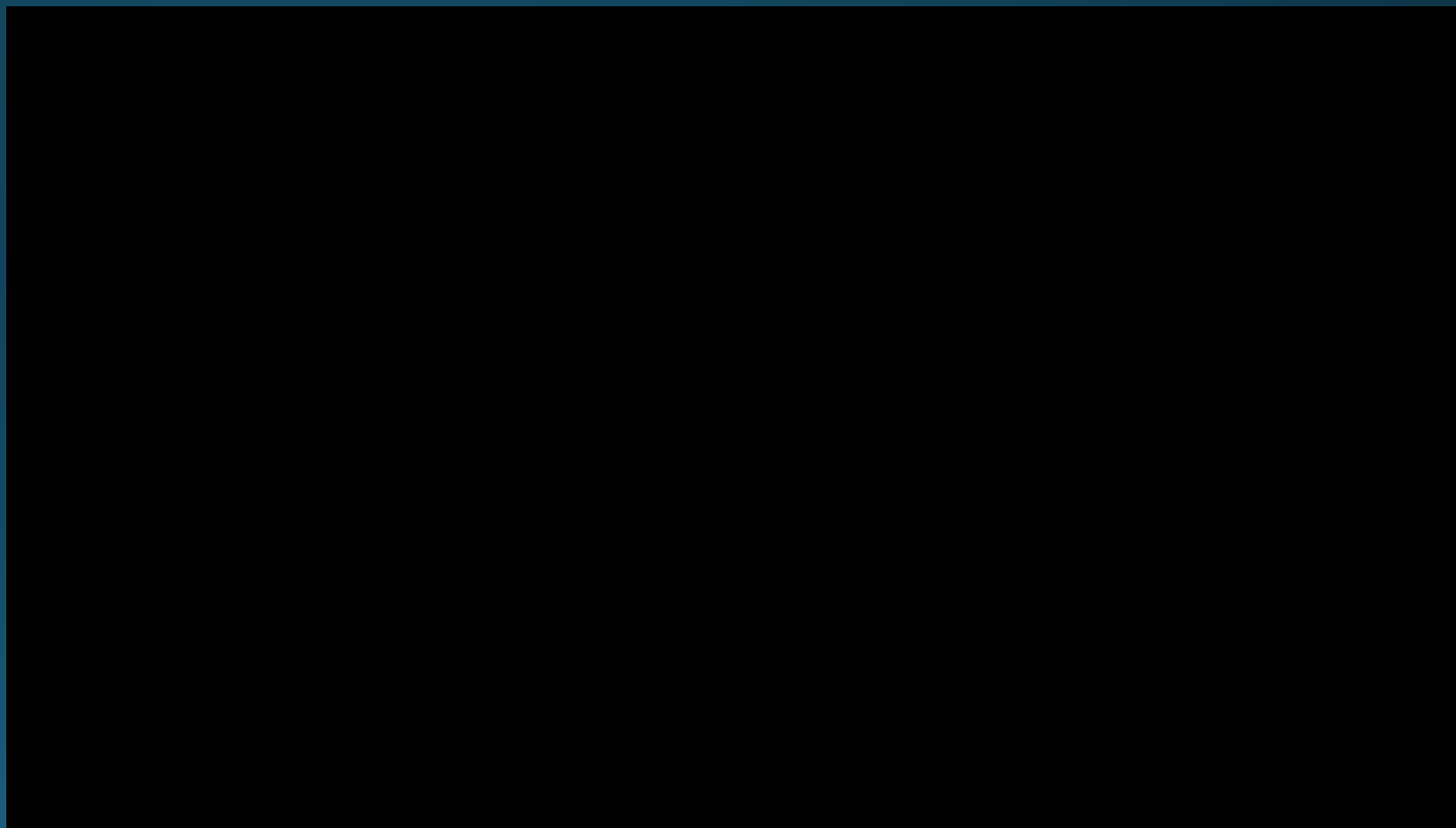
端面検査 & クリーニング機構の実装

- 圧縮空気を針先から端面に吹き付けるエアークリーニング
 - あまり効果はないかも・・・
- アダプター内部のファイバー端面をクリーニングする、市販のクロスクリーナー
 - 布（クロス）が送り出されて端面のダストをを拭き取る
 - 圧縮空気による駆動
- 市販の端面検査用顕微鏡UBSカメラ（オートフォーカス機能付き）
- 筐体内を陽圧にしてダストの混入を防ぐ



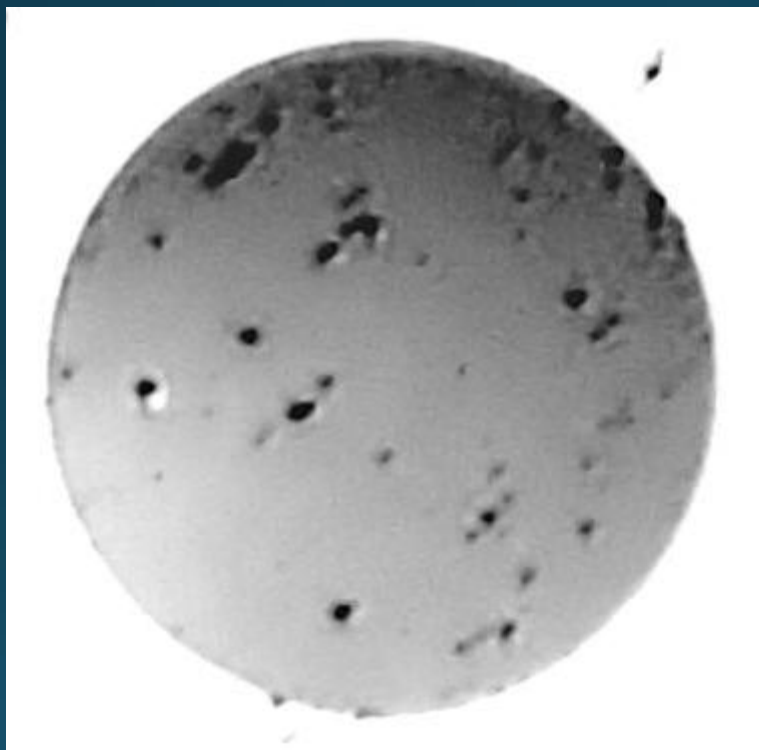


クリーニングクロス

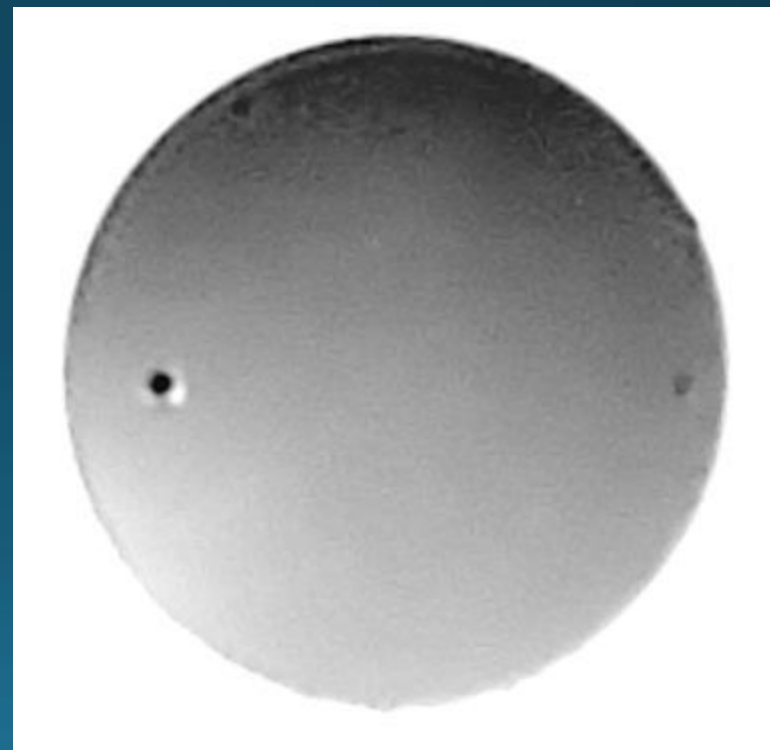


スティッククリーナーによるクリーニング効果

クリーニング前

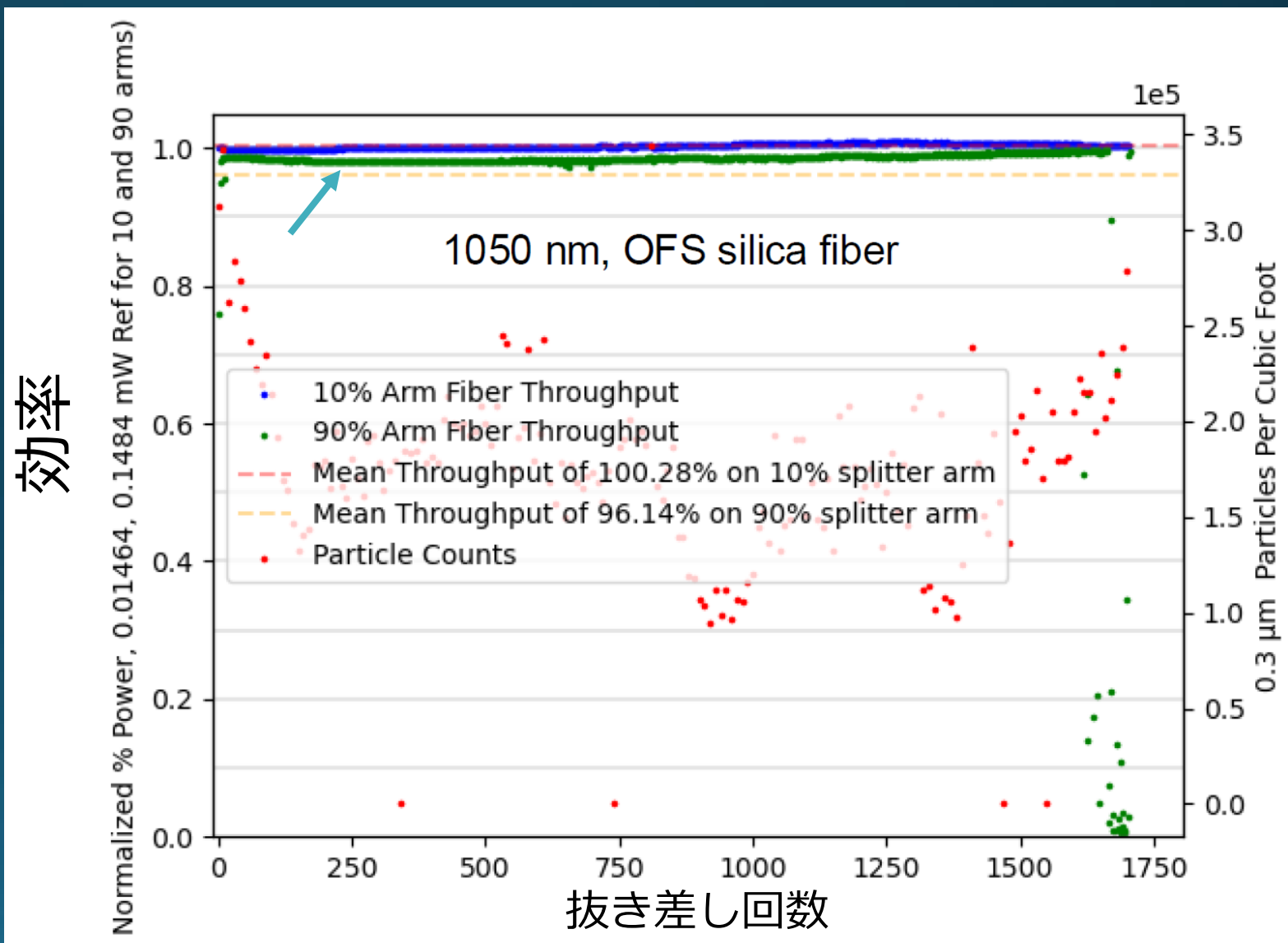


クリーニング後



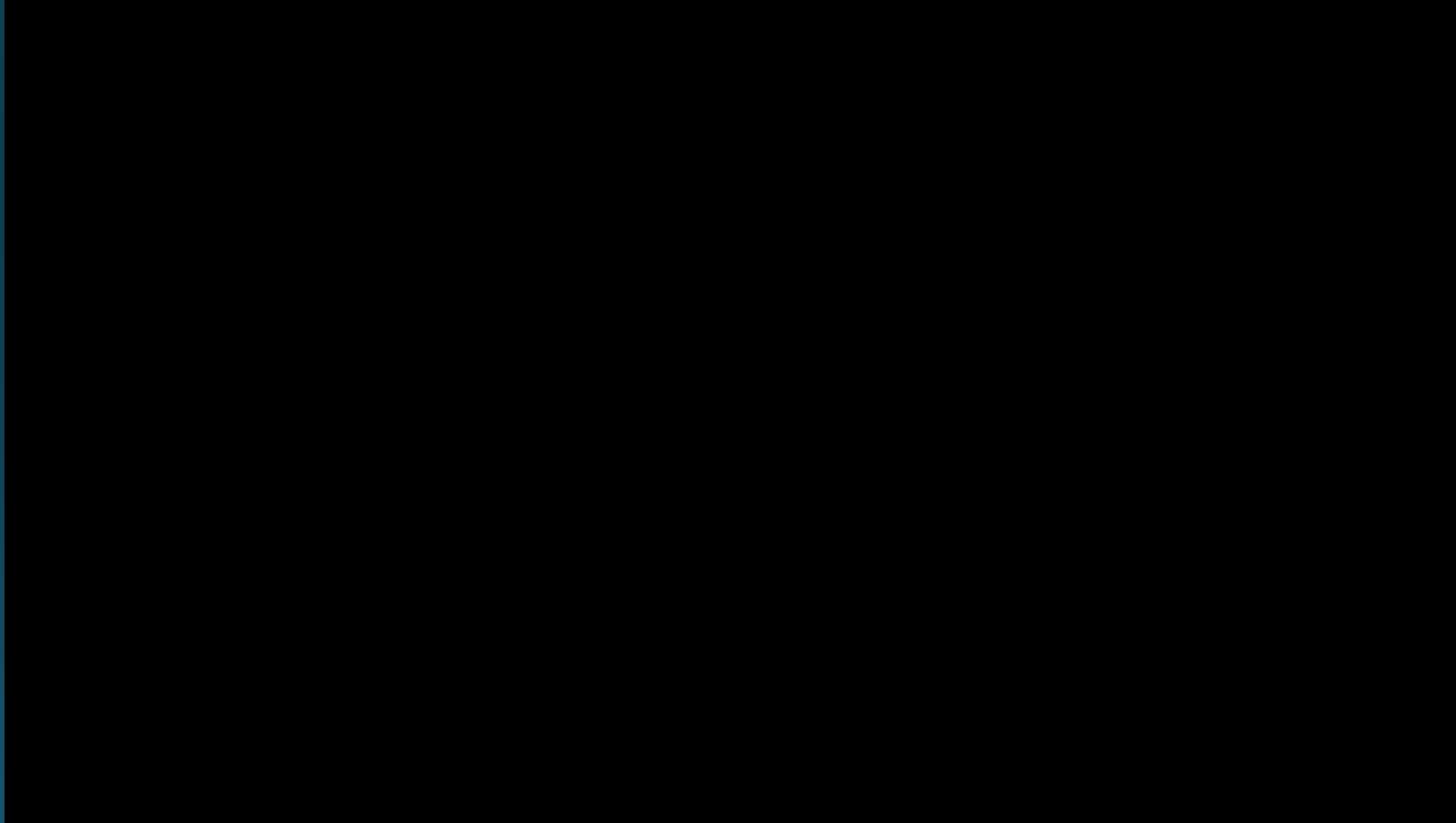
顕微鏡カメラによりファイバー端面を撮影

- 接続効率を落とさずに1500回以上の抜き差しを達成！
- しかし、ダストとは関係のない要因で効率が著しく悪化するケースがあり（原因調査中、おそらく機械的な問題）
- 最終目標は3000回以上



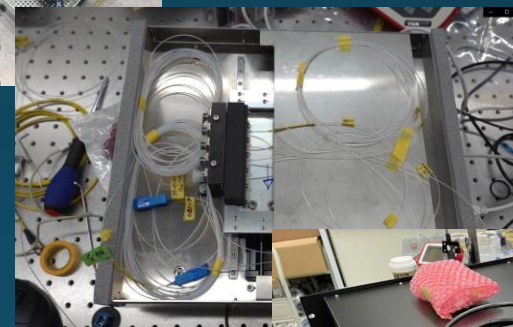
第4世代

クリーニング機能、カメラで端面検査



開発の歴史

- 第1世代
 - 試作機、3Dプリンターで部品製作
 - 3 x 3 ファイバー
 - ファイバー抜き差しのためのDCサーボモーター制御はArduino (ワンボードマイコン)で
 - 部品の強度不足により10回程度の抜き差しで、奥まで差し込むことができなくなった
- 第2世代
 - 基本的な構造は第1世代と同じだが、信頼性・耐久性を向上、ほぼ金属で作り直し
 - 4x5ファイバー
 - IRD/REACHで使用中
- 第3世代
 - 3000回以上の耐久試験用
 - Pythonで制御
 - 4x11ファイバー
- 第4世代
 - 顕微鏡検査、エアークリーニング、クロスクリーニングを実装
 - 両側のファイバーが動くようになり、組み合わせ数大幅に増加（片側は水平、片側は垂直方向）
 - 4x11ファイバー



まとめ

- Subaru/IRD, REACH用の光ファイバー交換機開発
- Keck/HISPEC、TMT/MODHISに搭載することを目指して開発中
- 効率を落とさずに1500回以上のファイバーの抜き差しを実現
- 端面検査、クリーニング機能を実装
- ダスト付着以外の効果での効率悪化の原因は調査中