すばる望遠鏡可視光高分散分光器用の天文コムとファイバー入射系の開発

大宮正士 (ABC/NAOJ), 稲場肇, 大久保章, 柏木謙 (産総研), 青木和光, 臼田知史, 田實晃人, 神戸栄治, 新井彰, 森谷友由希, 西川淳, 泉浦秀行 (NAOJ), 佐藤文衛 (東京科学大), 三澤透 (信州大)

要旨

天体観測用にデザインされた、精密な波長較正光源になる**光周波数コム（天文コム）**を**すばる望遠鏡可視光高分散分光器HDS用**に導入することを目指して、天文コムの開発と導入の準備をすすめている。HDSへの導入を予定している産総研天文コム３号機（**HDSコム**）では、櫛状の輝線を生成可能な波長域は350~420nmと450~560nmと650~870nm、輝線間の間隔は30GHz程度を見込んでいる。HDSコム導入に向けて、1. 産総研天文コム２号機（**岡山コム**）の設計を基に改良したHDSコム装置の製作、2.　すばる望遠鏡ドーム内への導入と装置運用の検討、3.天体光と天文コム光をスリットに同時に入射させるファイバーフィードモジュールの製作、4. HDSコムを用いた視線速度測定と装置性能評価の検討を行っている。2025年度までにすばる望遠鏡に導入し、2026年からエンジニアリング観測を行う。

天文コム（天体観測用の光周波数コム）

- ✳ 天文コム：天文用にデザインされた光周波数コム
  - ✳ Murphy et al. 2007, Steinmetz et al. 2008, Li et al. 2008 etc.
  - ✳ 広い波長範囲に、同一の周波数間隔で、多数の輝線を並べて生成する
- ✳ 天文観測への応用 → 高分散分光器を用いた**視線速度精密測定での波長較正**
  - ✳ 一般のコムは数百MHzの間隔で輝線を生成するが、天文コムは数十GHz間隔
  - ✳ 可視光から近赤外線の広い波長範囲に渡って輝線を生成する必要がある
  - ✳ モニター観測のためには長期間に渡って安定性を維持することが要求される

天文コムでの目標

- ✳ 太陽型星の（ハビタブルゾーンの）地球型惑星の発見と特徴づけ
  - ✳ 詳細観測のターゲットのために太陽近傍に位置する恒星での発見が必要
    - ✳ 網羅的な観測に向いたドップラー法が最適
  - ✳ 10cm/s以下の精度（一点の測定の不確かさ）と安定性（系統誤差などによる測定点のばらつき）の視線速度精密測定を実現する必要がある
  - ✳ 太陽型星観測のためには可視光での超精密波長較正光源が必要 → **HDSコム**
- ✳ 宇宙膨張の直接測定： cm/sレベルの精度の視線速度測定が必要 → TMTへ

HDS' house at Opt. Nasmyth of the Subaru Telescope

“HDSコム” = HDS用の天文コム

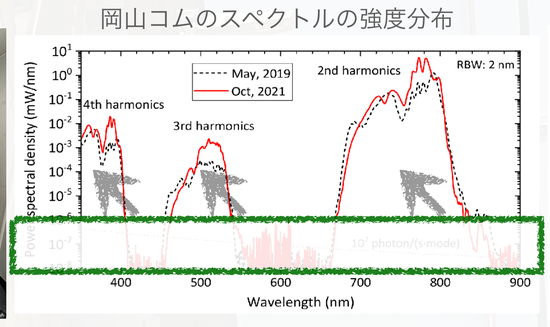
↓ATCでココを製作中

光周波数コムの仕様

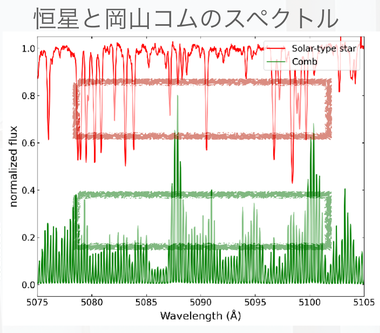
- ✳ 産総研天文コム３号機（岡山コム（２号機）の設計を基に改良）
  - ✳ 岡山コムは2019年から岡山188cm望遠鏡ドームで長期間運用している
    - ✳ Nakamura et al., Optics Express, 31(12), 20274-20285, 2023

岡山コム装置本体

岡山コムのスペクトルの強度分布



恒星と岡山コムのスペクトル



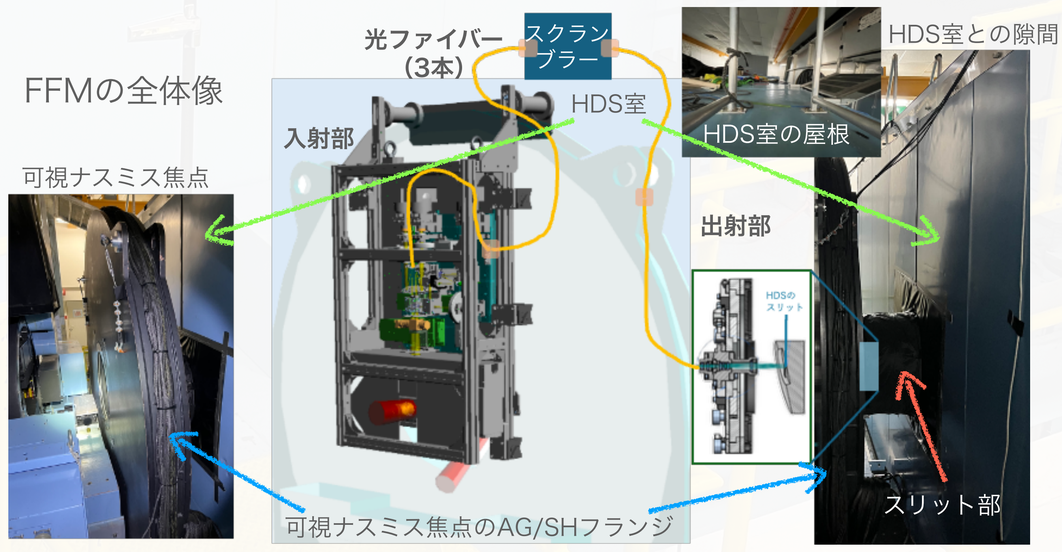
- ✳ 間隔周波数（輝線間の間隔）　＃分光器の仕様に最適な間隔に変更可能
  - ✳ **30GHz**　＃500nm付近で~**0.25**Å間隔に相当
- ✳ 櫛状の輝線を生成可能な見込みの波長範囲
  - ✳ **350 - 430 nm（青）, 450 - 570 nm（緑）, 630 - 875 nm（赤）**
  - ✳ 岡山コムより周波数域が10%以上広くなる見込み
- ✳ 長期可動性：高非線形ファイバーとリッジ型PPLN導波路による可視光発生により高い長期可動性が期待できる（上記論文参照）
- ✳ 日本企業による製作：迅速な対応、比較的低価格での製作が期待できる

ファイバーフィードモジュール（FFM）

*MMF: Multi-Mode Fiber

- ✳ 天文コムと天体の光を並べて同時にHDSのスリットに入射させる装置
  - ✳ 天体光をスリットの手前で上に曲げて、焦点位置に光ファイバーを置く
  - ✳ ファイバー（MMF*）の数：**3本（天体用、Sky用、コム用）**
- ✳ FFMの装置構成
  - ✳ 入射部：天体光を上方に折り曲げて焦点位置の光ファイバーに入れる
  - ✳ 光ファイバー部：入射部から出射部まで光ファイバーでつなぐ
  - ✳ 出射部：出射光をF値を変換してスリットに入れる

FFMの全体像



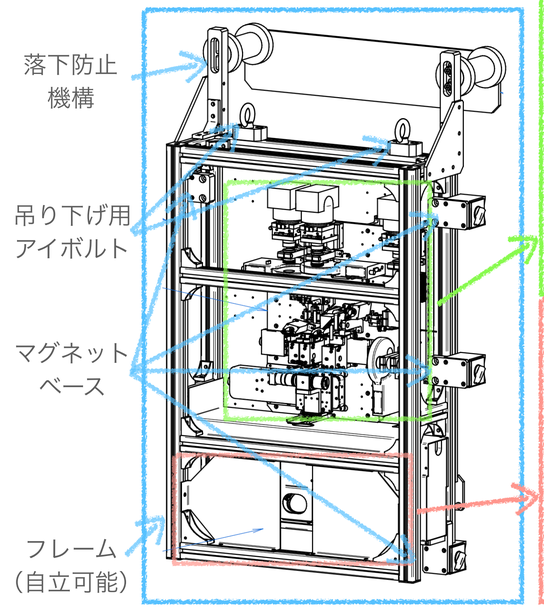
天文コム使用時のHDS/すばるの仕様

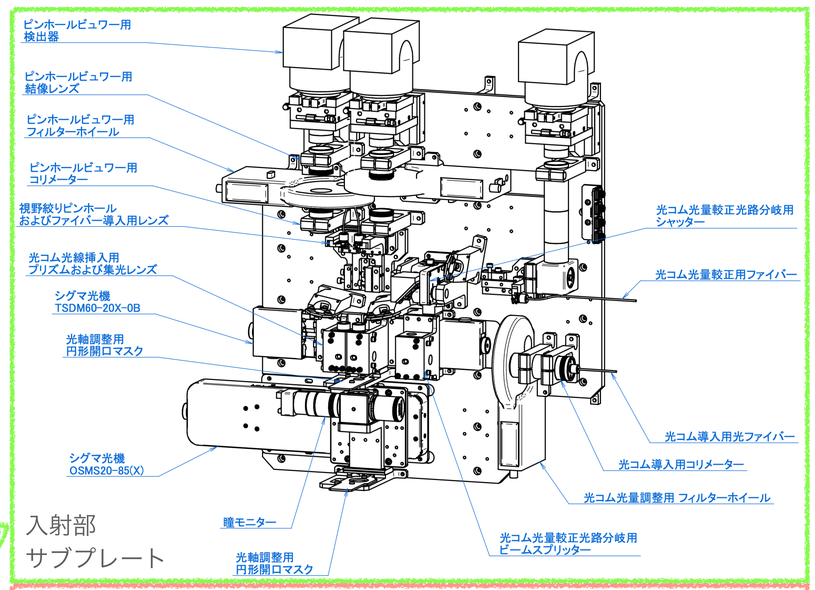
- ✳ 分解能（R=Δλ/λ）: **>36,000（変更可能）**
- ✳ 同時に取得可能、かつ、輝線を多数含む、波長域の例
  - ✳ 青緑バンド：**335 - 500 nm, 390 - 555 nm, 439 - 606 nm**
  - ✳ 赤バンド：**650 - 900 nm**　（フリンジと大気吸収に注意が必要）
- ✳ 視線速度測定の精度（不確かさ）： **~0.8 m/s = 80 cm/s**　（目標）

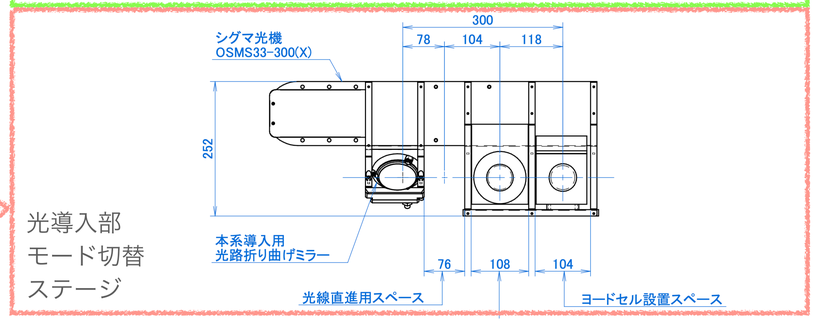
ファイバーフィードモジュール入射部の機能と構成

- ✳ 観測モードの切り替え
- ✳ 光ファイバーへの入射
- ✳ 光コムの導入
- ✳ 天体ガイド
- ✳ 光軸合わせ

入射部（全体）







HDSコムの目標・計画

- ✳ **天文コム装置のマウナケア山頂での運用**
- ✳ **すばる望遠鏡の視線速度精密測定装置への使用法の確立**
- ✳ **（短周期の）系外惑星の発見、検証、特徴づけ**

スケジュール

岡山コムの運用：2019年~

製作企業への技術移転とコム装置の製作：2021年~2025年

ファイバーフィードモジュールの製作：~2025年秋

すばる望遠鏡へのインストール：2026年初頭

すばる望遠鏡でのエンジニアリング観測の開始：2026年後期

すばる望遠鏡でのサイエンス観測（共同利用）の開始：2027年後期

(シミュレーション：天文コムのスペクトル)