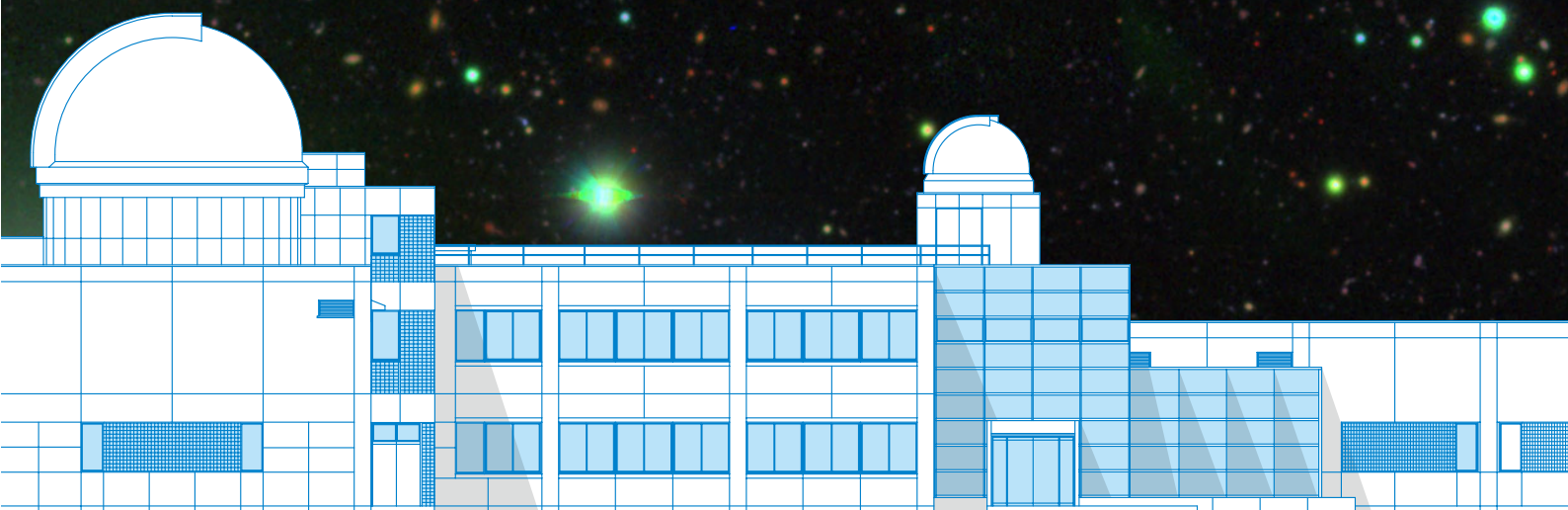


自然科学研究機構 国立天文台

先端技術センター



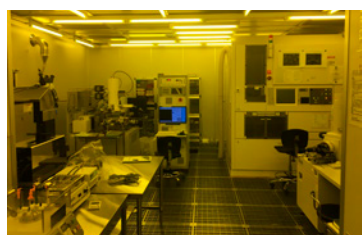
ADVANCED TECHNOLOGY CENTER

National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Science

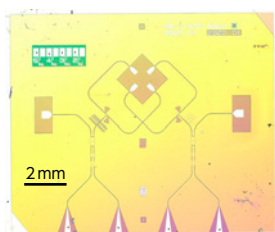
先端技術センターは、国立天文台の天文学研究を、観測機器の研究・技術開発という面から支えています。国立天文台が運用している望遠鏡や観測機器だけでなく、将来の観測計画のための望遠鏡や観測機器の基礎技術、応用技術の開発研究を実施しています。また、天文研究のコミュニティのために、共同開発研究を進めたり、観測機器開発を支援しています。



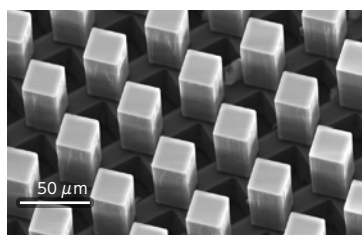
電波天文観測に必須の超高感度超伝導検出器などの開発をクリーンルームで行っています。水晶やシリコン基板上にフォトリソグラフィーなどの微細加工技術を用いて、テラヘルツ帯で動作する最先端の高周波回路や光学素子などを作製しています。



マイクロファブリケーションクリーンルーム



シリコン基板を用いた超伝導集積回路

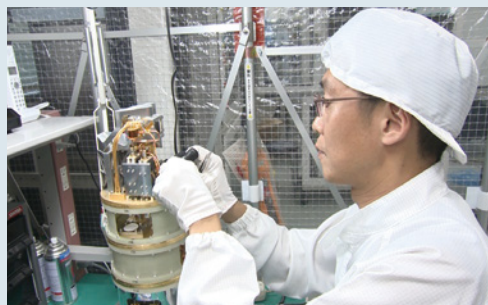
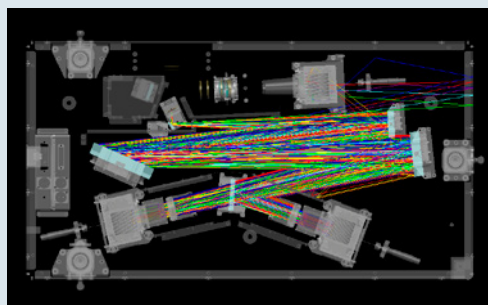


光学窓用のシリコン微細加工反射防止層

イオンビームスパッタ装置



光学設計部門では、極限の光学性能を実現するための光学設計やシミュレーションによる解析を行っています。機械設計部門では、飛翔体搭載装置が曝される激しい振動環境や、極低温や超高真空といった極限環境下で光学素子を高精度かつ安定的に保持する構造および駆動機構の設計を行っています。また、これら2つの部門による統合的な光学機械設計も行っています。



天文観測機器全体を組み立てて、運用環境や曝される環境を模擬して、要求されている性能を試験により確かめます。打ち上げ時や地震などの激しい振動環境への耐性試験、観測機器を運用する低温・真空環境などでの動作・制御試験を実施します。物質や粉塵などが付着ないように、大型クリーンルームや大型真空容器などに観測機器を格納して試験を実施することもあります。



設計

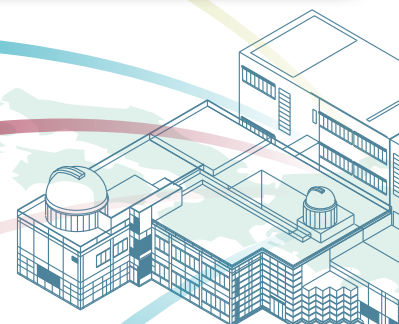
一貫した
開発体制のもと
観測機器をつくる

システム試験



Europe, ESO

Taiwan, ASIAA





製造グループでは望遠鏡に搭載される観測機器の主要部品や実験装置の機械系部品の加工、測定等を行っています。その範囲は詳細な設計図に基づく製作から、依頼元のイメージを形にすることにも対応しています。また、新たな技術として、金属3Dプリンターを用いた付加製造にも取り組み、切削加工と共に最先端の機器開発を支援しています。

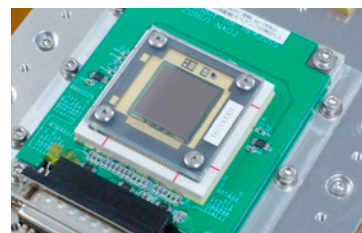


製造

天文観測機器の開発及び製作には、主に4つの作業の流れがあります。まず、観測機器に求められる要求仕様を満たす設計、機器及び構成部品などの製作、製作した機器が要求仕様を満たしていることを確認する評価、そして運用環境などを模擬した観測機器の総合的なシステム試験です。観測機器を立案する際に、これらの作業とその流れを見据えた長期的な視点を持つことが、観測機器開発の成否を分けると言っても過言ではありません。

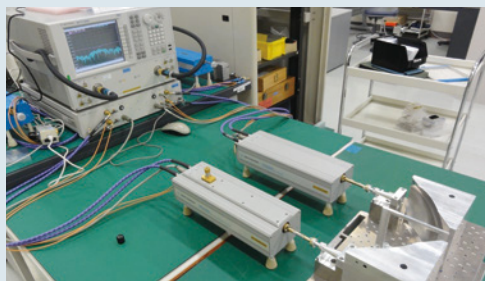


可視光・赤外線天文観測に必須の CCD・CMOS センサ・近赤外線検出器の開発は、企業と共同で行っています。周辺エレクトロニクスの開発や評価試験を ATC 内で行い、新しい観測機器の開発につなげます。回路システムの提供や検出器搭載などの支援も行っています。

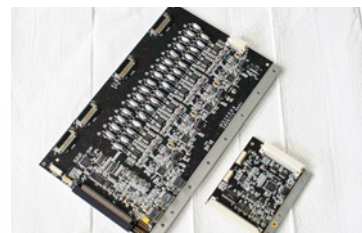


試験中の近赤外線検出器

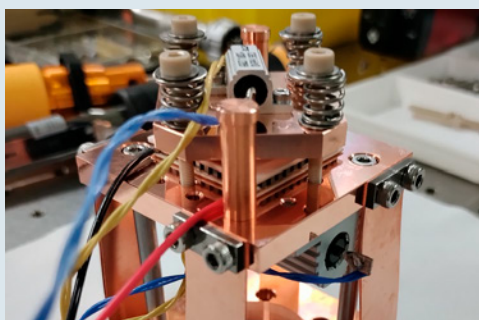
評価



ミリ波帯誘電率測定システム

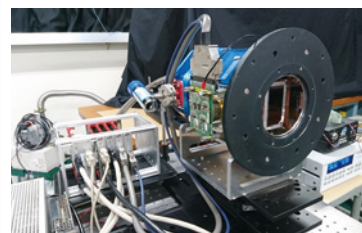


検出器周辺エレクトロニクス



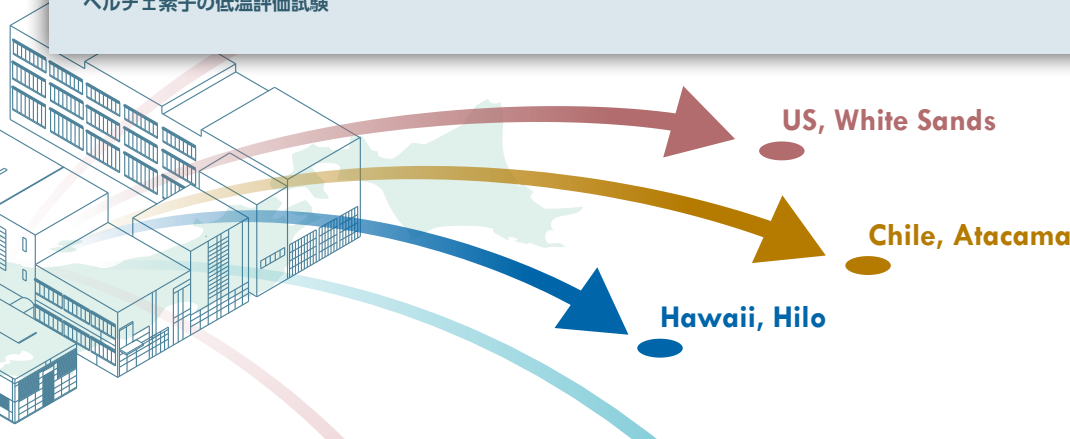
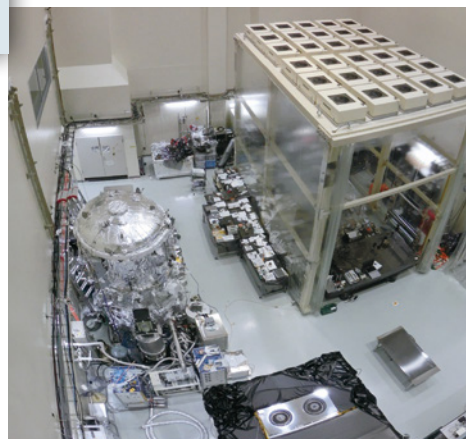
ペルチェ素子の低温評価試験

天文観測機器及びそれを構成する部品には様々な要求仕様・性能が求められています。寸法、重量だけでなく、機械特性、光学特性、耐久性など多岐にわたります。また、設計段階で要求仕様を満たすか不明の場合は、プロトタイプを製作して評価試験を行い、要求仕様の確認や調整をします。評価するシステムは、既製の測定装置を使ったり、用途に応じて部品や測定装置を新しく独自に製作したり、それらを組み合わせたりします。



CCD 評価装置

大クリーンルーム全景



重力波 でみる

重力波天文学は、宇宙からの微かな重力波を観測することで、従来の天文学では得られなかった宇宙の新たな姿を描き出すものです。まだ生まれたての分野ですが、すでにその実力の片鱗を示し始めています。先端技術センターでは、日本で現在建設中のKAGRA(大型低温重力波望遠鏡)が必要とする主要なコンポーネント(光学機器や防振装置など)の設計製作を行っています。

KAGRA

岐阜県飛騨市神岡の池ノ山に埋設されている日本初の本格的な大型の重力波望遠鏡で、2020年春にはじめての本格的な観測運転が始まりました。望遠鏡という言葉で想像される姿と異なり、それぞれが3kmにも及ぶ2本の坑道をL字型に掘削し、そこに敷設した真空容器の中をレーザー光が往来するという大規模なマイケルソン干渉計が検出器の本体です。

重力波、すなわち微弱な時空の歪みの周期的変化をとらえる程の繊細な感度を保つには、干渉計を構成する鏡をあらゆる雑音から守る必要があります。そのため、地面振動が小さい(東京の1/100以下)環境を建設地としたうえで、鏡には多段の振り子状の防振装置を導入しています。とくに重要な鏡については、熱雑音を避けるため-250℃近くまで冷却します。

先端技術センターでは、これまでに他の望遠鏡・検出器の装置開発で培ってきた技術力を生かし、これら鏡の防振装置をはじめ、干渉計が今の姿になるための大部分の装置、すなわち3kmのレーザー光軸のモニターや迷光対策など光学系と機械系が融合したさまざまな装置の設計、製造から設置までを行ってきました。また、KAGRAが次に目指す性能向上で必須となるサファイア製の鏡の開発にも貢献しようとしています。

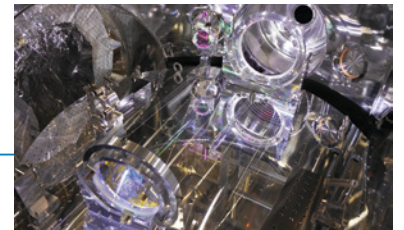
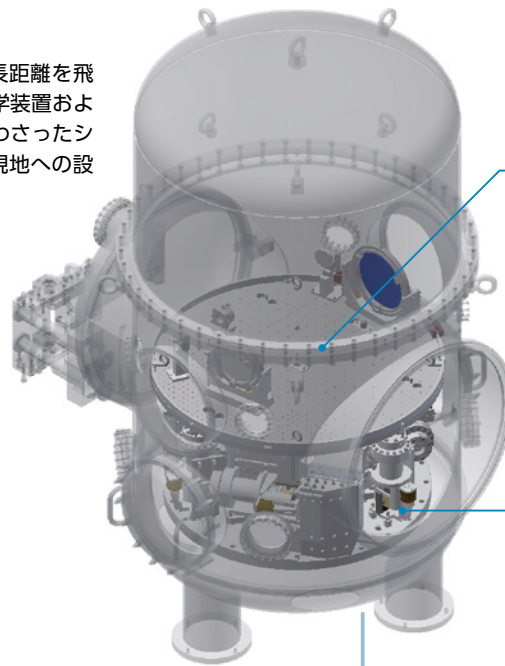
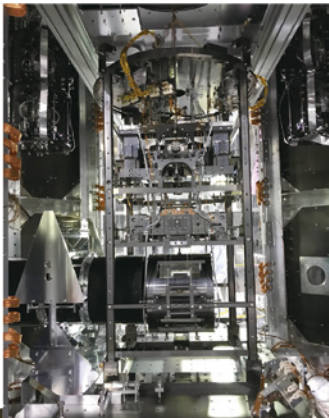
光学装置と防振装置

透過光モニター

長さ3kmの光共振器の光軸の揺れを検出する装置。長距離を飛んで広がったレーザービームを1/10に集光させる光学装置および、光軸揺れの誤検出対策のための防振機構が組み合わさったシステムで、ATCでは設計から組み立て、試験、そして現地への設置まで通して行った。

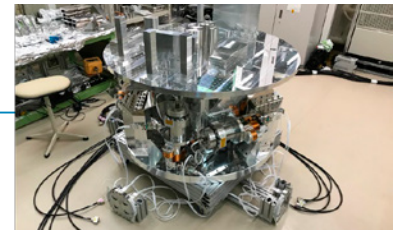
メインミラーと光学バッフル

メインミラーが設置されたクライオスタットの内部。メインミラーは約-250℃に冷やされるほか、防振のため頭上14mの振り子で吊り下げられている。メインミラーの左隣にATCで開発した防振光学バッフルが見えている。



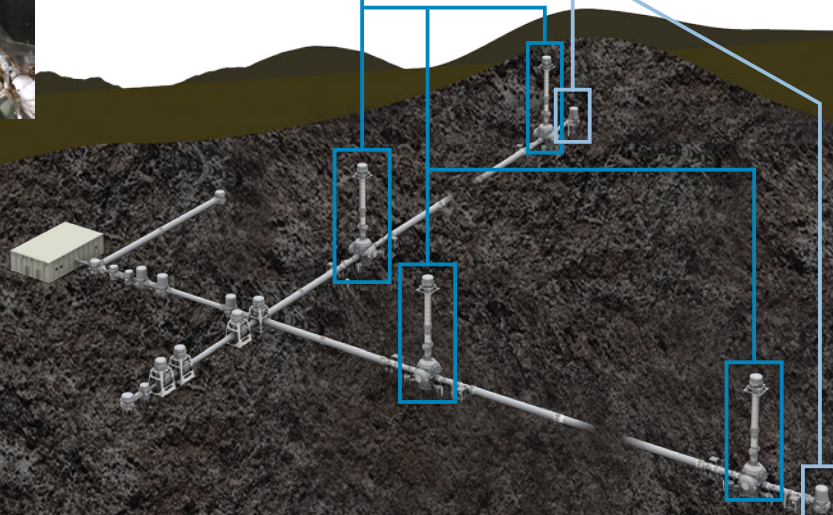
設置完了した光学系

反射型望遠鏡をベースにした光学系となっている。直径1mの真空槽内で縮小率1/10を達成するため光軸は折り返されている。ガラス材の吟味も重要であった。



性能試験中の防振台

振り子による受動防振と、搭載した各種のセンサー、アクチュエーターによる能動制御を組み合わせた防振台。三鷹のATCのクリーンブース内で組み立ておよび動作試験を行った。



光赤外線 でみる

光赤外線天文学は、目に見える光と熱として感じる赤外線を用いて宇宙を観察する天文学です。先端技術センターでは、ハワイ島マウナケア山にあるすばる望遠鏡に搭載されている観測装置の設計製作を担っているほか、世界最先端の望遠鏡として建設中のTMT (Thirty Meter Telescope) に搭載される観測装置の設計も行っています。

TMT

先端技術センターでは現在、TMTに搭載するIRISとWFOSという2つの観測装置を設計しています。IRISは赤外線で、WFOSは可視光で天体の画像と分光スペクトルを取得する事ができます。

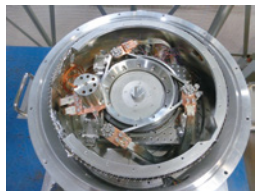
IRIS は日米加の国際協力で開発が行われています。日本は赤外線画像を取得する撮像系を担当しています。先端技術センターでは、液体窒素温度下(約-200℃)で回折限界の結像性能を持つ光学系と10年間メンテナンスなしで稼働する機械駆動系、一億分の一度の角度精度で天体の位置を測定する手法の開発等、これまでにない技術課題に挑戦しています。

赤外線波面センサー

支持構造

IRISの三次元モデル
日本が担当する赤外線カメラは真空容器の中に配置される。

真空容器



液体窒素温度で安定駆動する回転ステージ

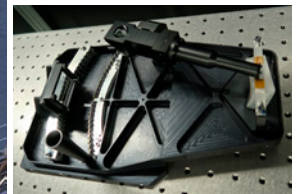
©NRC Herzberg Astronomy & Astrophysics / TMT-IRIS

WFOS はアメリカ・インドと共に開発が進められており、宇宙空間における銀間ガスの大規模構造解明などの成果が期待されています。先端技術センターでは視野全面を分光できる機能を付与する面分光ユニットの検討が行われています。

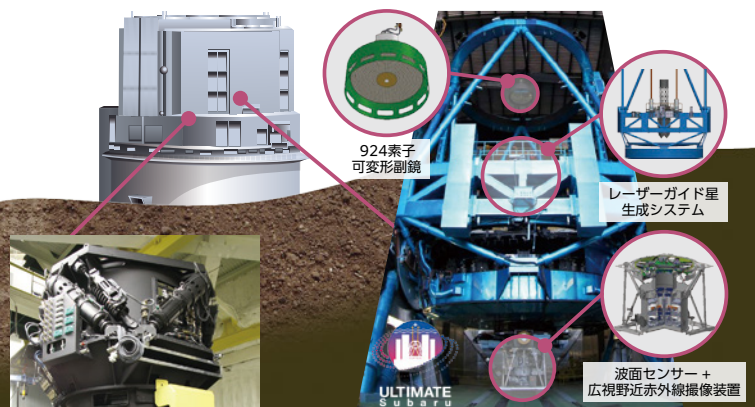


WFOSの外観図
(TMT国際天文台提供)

すばる望遠鏡の可視光撮像分光装置 FOCAS に組込まれている面分光ユニット。この開発経験を基に、WFOS用面分光ユニットの検討が進められている。



すばる望遠鏡



924素子可変形副鏡

レーザーガイド星生成システム

波面センサー + 広視野近赤外線撮像装置

HSC は、すばる望遠鏡の主焦点に搭載されているデジタルカメラです。先端技術センターで開発されたカメラ部には、焦点面に116個のCCD(合計約8億7000万画素)が並んでいます。CCDはデュワーに封入され、-100℃に冷却して、専用のエレクトロニクスで読み出されます。HSCは広視野、高解像度、高感度という特色を生かし、新しい天体や現象を探査する研究に力を発揮します。また重力レンズ効果を用いた、ダークマター分布の直接探査を目的とした観測も行っています。



HSC マップ : <https://hscmap.mtk.nao.ac.jp/>
HSCで観測した銀河を見ることができます

デュワーの中の焦点面に並べられた116個のCCD



ULTIMATE は、広視野にわたって大気揺らぎを補正する地表層補償光学 (GLAO) を搭載し、広視野赤外線撮像装置 (WFI) と連携することで、広視野かつ高解像度の近赤外線観測を実現します。すばる望遠鏡の次世代観測を担う中核装置として、先端技術センターがその開発を主導しています。

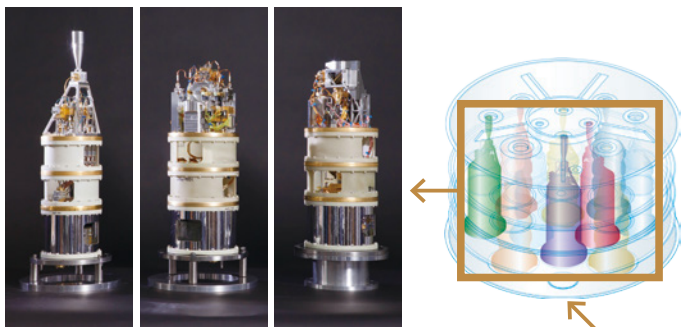
電波 でみる

電波天文学は、天体が発する電磁波の中でも波長が長く、目で見ることのできない「電波」の領域を観測します。先端技術センターでは、東アジア・北米・ヨーロッパの諸国および南米チリによる国際協力プロジェクトによって、チリ・アタカマ砂漠に建設したアルマ望遠鏡 (ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) や、長野県にある野辺山宇宙電波観測所をはじめ、国立天文台が国内外に所有する電波望遠鏡の搭載装置の開発や、大学および関連機関の電波天文観測装置の開発サポートを行っています。

ALMA

先端技術センターでは、2014年2月まで約10年にわたりアルマ望遠鏡搭載用の3種類・合計219台の超高感度超伝導受信機の開発および製造・出荷を進めてきました。出荷した受信機は現在アンテナに搭載され、観測に使用されています。アルマ望遠鏡では、不具合が発生した受信機はそれぞれ開発元が責任を持って修理をおこないます。先端技術センターでは、日本で製造した受信機に不具合が出た場合の修理体制を整えつつ、測定系の改良も行っています。

また、アルマ望遠鏡の機能強化を目指す「アルマ2」計画の技術開発を進めています。アルマ望遠鏡の同時受信帯域を、現在と比べて少なくとも2倍以上に広帯域化することを目指し、次世代バンド8受信機やデータ伝送システムの開発を推進しています。



先端技術センターで開発したアルマ望遠鏡搭載受信機
左から Band4 (125-163GHz)、Band8 (385-500GHz)、
Band10 (787-950GHz)
アルマ望遠鏡のアンテナは全部で
10種類の受信機を搭載する。

ASTE 望遠鏡・野辺山45m 望遠鏡

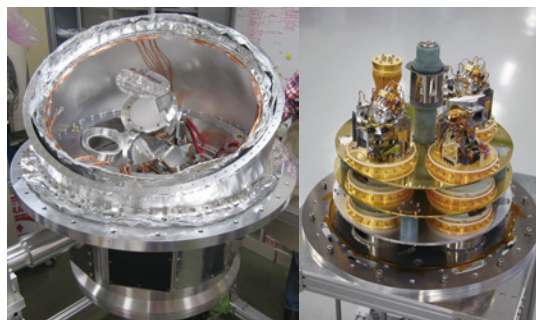
アステ (ASTE: Atacama Submillimeter Telescope Experiment) は、アルマ望遠鏡の敷地内で国立天文台が独自に運用する直径10mのサブミリ波望遠鏡です。また、野辺山45m電波望遠鏡は、野辺山宇宙電波観測所で40年以上にわたり運用されている国内最大のミリ波電波望遠鏡です。先端技術センターでは、これらに搭載する新規クライオスタットや搭載受信機の開発、改良、保守とその支援を、国内外の研究機関や大学と協力して行っています。

(左) 開発中の多色ミリ波サブミリ波カメラ

ほぼ絶対零度 (-273度) の極低温に冷却した超伝導素子を用いて、星や銀河の誕生の謎に迫る。

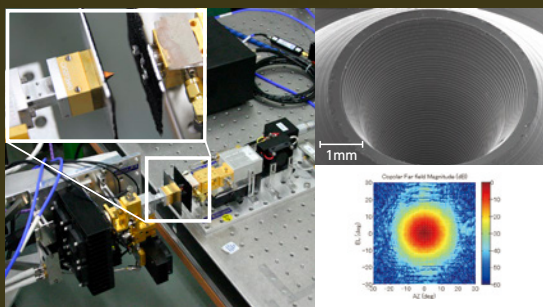
(右) 3本のカートリッジ式受信機を搭載可能なASTE用クライオスタット内部

これまでは固定式1ポート、カートリッジ式1ポートだったが、3箇所全てカートリッジ式に改良し、より様々な受信機の搭載が簡単にできるようになった。



将来に向けた新規技術開発

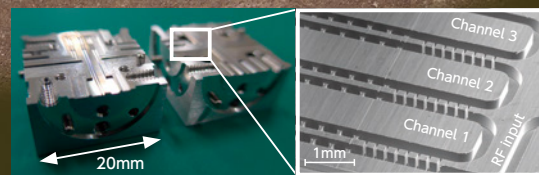
更なる高周波化、広帯域化、多素子化を目指す開発や、新しい方式での観測に向けた基礎技術開発を行っています。これらは、アルマ望遠鏡をはじめ、アステ望遠鏡、野辺山45m望遠鏡のほか、国内外の様々な望遠鏡や人工衛星への搭載を目指しています。



(左) 1.25-1.5THz帯コルゲートホーンの
ビームパターン測定の様子

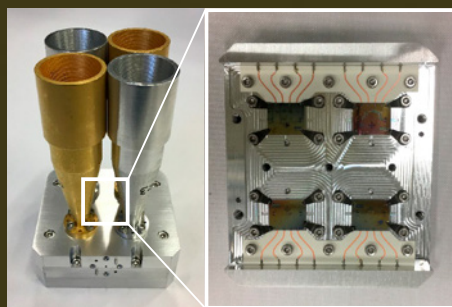
(右上) コルゲートホーンアンテナ開口部のSEM写真

(右下) 1.48THzビームパターン測定結果



広帯域同時受信を目指した導波管フィルタ回路

開発中の多素子集積型
SIS (超伝導体-絶縁体-超伝導体) 受信機



超伝導多ピクセル検出器 (MKID)

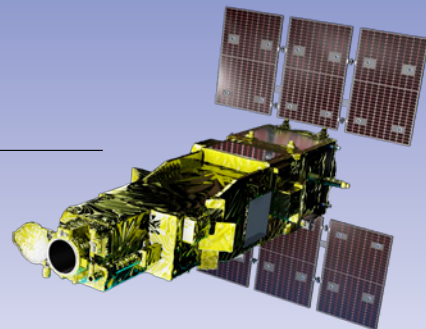
ミリ波光子が超伝導クーパー対を壊す時に、超伝導力学的インダクタンスと抵抗値の変化を、超伝導共振器を用いて読み出す新しい検出器。

宇宙から みる

宇宙天文学では、地球大気の影響を受けることなく、あらゆる波長で宇宙を観測することができます。先端技術センターでは、衛星に搭載する観測装置の開発も行っています。地上で使われ成熟した技術と既存の宇宙技術を組合わせて、宇宙空間で使用可能な技術に発展させる取り組みは、衛星に搭載する観測装置開発の大事なプロセスです。

SOLAR-C (EUVST)

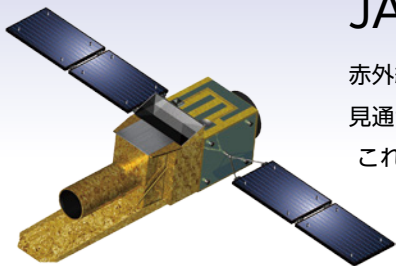
2020年代後半の実現を目指して計画されている次世代の太陽観測衛星です。高い解像力と感度をもった紫外線の観測装置により、一万度の彩層から数百万度を超えて加熱されるコロナまでの広い温度域を、隙間なく分光観測します。プラズマやエネルギーの流れを捉えるこの先鋭的な観測を実現することにより、磁場により引き起こされる太陽活動現象の機構の解明を目指しています。



©JAXA/NAOJ

JASMINE

赤外線で位置天文観測を行う世界初の衛星計画で、2030年代前半の打上げを目指しています。可視光では見通せない天の川銀河の中心領域にある星々の位置と動きを、10万分の1秒角に迫る高精度で測定します。これにより銀河中心に潜んでいる天の川銀河全体の変遷の痕跡を捉え、天の川銀河全体の形成史を解き明かします。また、太陽より軽い恒星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星の探査も行います。



©国立天文台

SUNRISE-3 気球望遠鏡

SUNRISE-3は2024年にフライトを計画する国際共同気球プロジェクトで、口径1mの大型光学望遠鏡で成層圏から太陽を観測します。高解像度で高精度な近赤外線偏光分光観測により、太陽大気における磁場の3次元構造を測定し、磁気エネルギーの輸送と散逸過程に迫ります。気球フライト時の熱真空環境でも性能を発揮する光学構造開発と、性能を実証する試験を先端技術センターのクリーンルームと熱真空設備で行いました。



フライトを待つSUNRISE気球望遠鏡

スウェーデン・キルナから打ち上げられ大西洋上空をカナダまで飛行しながら太陽の観測を行います。©MPS/IAA/KIS/APL/NAOJ



SUNRISE気球搭載装置の開発

近赤外線偏光分光装置の組立・試験を大クリーンルームにて行った。

CLASP and CLASP2

NASAの観測ロケットを使って、太陽の彩層・遷移層(彩層とコロナの間にある薄い層)が放つ紫外線域のスペクトル線を、高精度(<0.1%)で偏光分光観測するプロジェクトです。彩層・遷移層の磁場の直接計測を目指しています。2015年の初飛行実験(CLASP)では、ライマンα線(波長121.6nmの水素原子が出す輝線)の偏光分光観測に世界で初めて成功し、偏光に潜むハンレ効果の手掛かりをつかみました。

2019年の再飛行実験(CLASP2)では、電離マグネシウム輝線(波長280nm)の偏光分光観測により、彩層底部からコロナ直下の彩層最上部に至る磁場の様子が明らかとなりました。このような新しい観測技術の確立を目指す開発は、その科学成果とともに、SOLAR-Cなどの次世代衛星計画への布石となります。(画像提供:国立天文台、JAXA、NASA/MSFC)

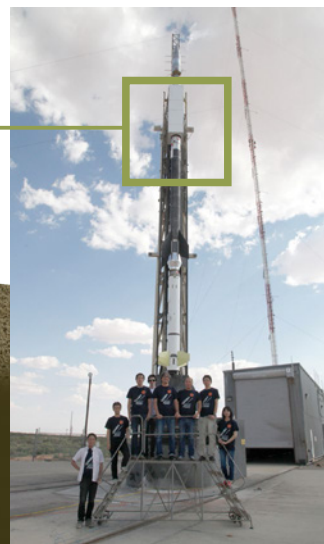


CLASP
ライマンα線の高精度
偏光分光観測装置



光学調整を行っている様子

大クリーンルームにて、CLASPの組立・試験を行った。

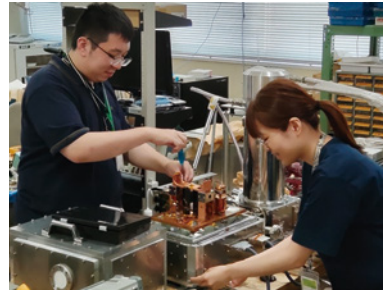


発射台で打ち上げを待つCLASP

2015年9月NASAの観測ロケットで打ち上げられた。大気圏外を飛行するわずか5分の間に観測を行った。

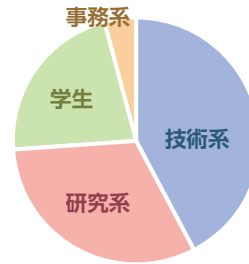
大学・大学院教育

「総合研究大学院大学 先端学術院 天文科学コース」を基盤に、博士号取得を目的とする大学院教育を行っています。また連携大学院制度を通して東京大学、東邦大学、筑波大学、大阪公立大学などから大学院生を受入れ、研究指導を行っています。最先端の天文観測機器開発に関わりながら研究や開発の実績と経験が豊富な研究者、技術者のノウハウを得られる利点を生かし、世界で活躍できる人材の育成をめざしています。さらに、スプリングスクールやサマースチューデントのようなイベントを通して、天文機器開発に興味を持つ学部生の指導も幅広く受入れています。



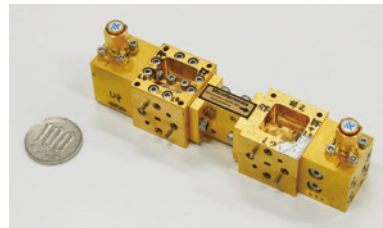
構成メンバー

観測機器の着想から実現性の検討、設計、製作、組立調整、性能検証という一連の研究開発の流れの中、様々な専門技術や専門知識を持つ技術系スタッフ、研究系スタッフおよび大学院生が活動しています。これらの活動を円滑に進めるためには、予算、時間、人材、設備などのリソース管理を行う事務系スタッフのサポートが必要です。先端技術センターでは、いずれの職種においても意欲のある人材を歓迎します。募集は国立天文台から不定期に行われますので、興味のある方は国立天文台のホームページ等をご確認ください。



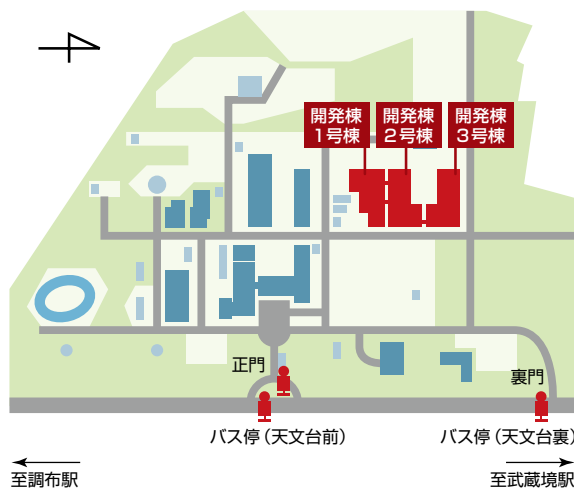
産業連携の取組み

先端技術センターでは、開発した天文観測装置用の技術を社会に生かすことを目的とし、産業連携室と協力して活動を行っています。電波望遠鏡のために開発された超低消費電力マイクロ波増幅器を誤り耐性型量子コンピューターに適用したり、大気揺らぎを補正して鮮明な天体の像を得るために開発された補償光学技術を顕微鏡等の天文用以外の光学機器や通信に応用するといった取り組みを進めています。これらの産業連携活動を推進する組織として、「社会実装プログラム」を立ち上げ、活動を強化しています。また、スペースイノベーションセンターと協力し、民間企業による宇宙開発の技術支援を行っています。



超低消費電力マイクロ波増幅器

アクセス



JR中央線武蔵境駅南口より

小田急バス「境91 狛江駅北口行」

京王線調布駅北口より

小田急バス「境91 武蔵境駅南口行」

「鷹51 三鷹駅行」

京王バス 「武91 武蔵小金井駅南口行」

いずれも「天文台前」下車

