

NEWS RELEASE

正確に優しく鏡をつかみ、安全に交換する
次世代超大型望遠鏡 TMT 向け分割鏡交換ロボットを開発

三菱電機株式会社は、次世代超大型望遠鏡 TMT^{※1}の主鏡を構成する分割鏡を交換するロボットを開発しました。本ロボットを核とする世界初^{※2}の分割鏡交換システム(以下 SHS)^{※3}により、安全にかつ効率的に鏡を交換することで観測時間拡大を実現し、宇宙で最初の銀河やそのなかで誕生した宇宙で最初の星々の正体を解明する観測など、新しい天文学の研究分野の開拓に貢献します。

※1 Thirty Meter Telescope (30 メートル望遠鏡)

※2 2016 年 2 月 17 日現在 (当社調べ)

※3 Segment Handling System (分割鏡交換システム)



分割鏡交換ロボット (試作機)

開発の特長

1. 3つのビジョンセンサーにより正確に鏡の位置を計測

- ・センサーまわりのチェッカーマークを鏡に映すことにより、計測が困難な鏡の位置と姿勢を、正確に認識
- ・3つのビジョンセンサーを使用し、ロボットの分割鏡への安全なアプローチを実現

2. 高精度の力覚制御技術により優しく分割鏡を交換

- ・6軸の力覚センサーにより、分割鏡にかかる1キログラム以下の反力を検出し、鏡への負荷が小さくなるようにロボットの位置と姿勢を制御
- ・約250キログラムの分割鏡の重さで発生する構造変形の影響も考慮した力覚制御技術により、わずか0.5ミリメートルの隙間の取り付け軸に、過大な負荷をかけずに優しく鏡を交換

3. パラレルリンク機構により安全な鏡の運搬を実現

- ・独立して動作する6本のリンクを並列配置した独自のパラレルリンク機構により、上下のロングストロークを確保しながらXYZ軸の移動とそれぞれの回転の合計6自由度の駆動を実現
- ・主鏡に傷をつけないための安全な空間を、主鏡と移動するロボットの間に確保

次世代超大型望遠鏡 TMT の主鏡

口径30メートルの主鏡は、合計492枚の分割鏡で構成され、最外周の分割鏡は14.5度の傾斜があります。分割鏡(六角形)1枚は、対角1.44メートル、重量は約250キログラムです。観測性能を維持するために全ての鏡を2年に1回交換し、洗浄・蒸着を順次行う必要があります。

開発の背景

次世代超大型望遠鏡 TMT は、宇宙で最初の銀河やそのなかで誕生した宇宙で最初の星々「ファーストスター」を捉えるため、日本、米国、カナダ、中国、インドの 5 カ国の国際協力により、ハワイ・マウナケアに建設予定の共同プロジェクトです。当社は望遠鏡本体構造および SHS の開発を担います。TMT の主鏡は口径 30 メートル、492 枚の六角形の鏡で構成されており、その観測性能を維持するためには、分割鏡の洗浄・蒸着を順次行うことが必要です。当社は今回、分割鏡交換ロボット技術を開発し、本技術をキーテクノロジーとする世界初の SHS は、そのオートメーション機能で観測時間拡大に貢献します。



図 1. ハワイ・マウナケア山頂に建設される TMT イメージ（国立天文台提供）

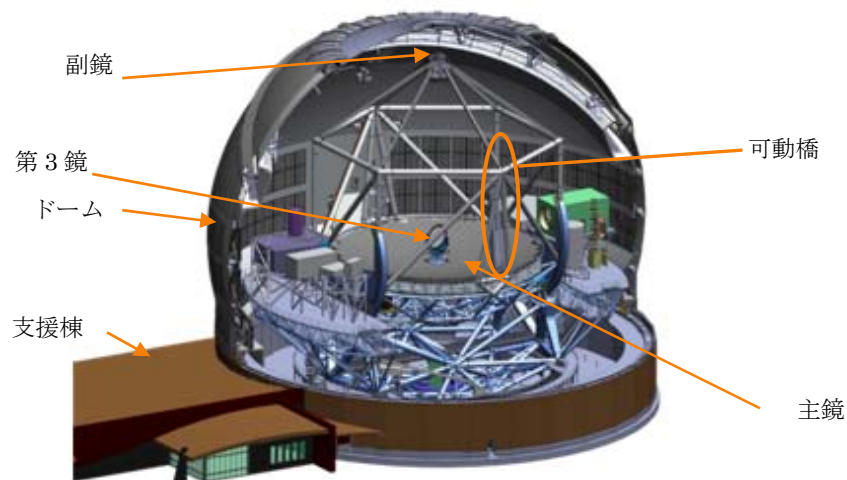


図 2. TMT 望遠鏡 概要図（Courtesy TMT International Observatory）

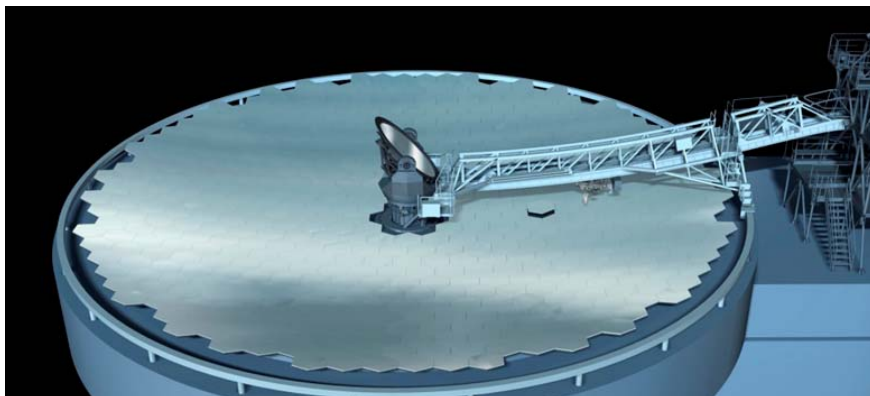


図 3. TMT 主鏡と SHS

SHS（分割鏡交換システム）概要

分割鏡交換システムは、鏡の交換時に、主鏡の上部には円周方向に回転する「可動橋（ブリッジ）」を展開し、その下部にある半径方向に移動する「分割鏡交換ロボット」により、分割鏡の取り付けおよび取り外しを行い、分割鏡交換の高速化・省人化を実現します。

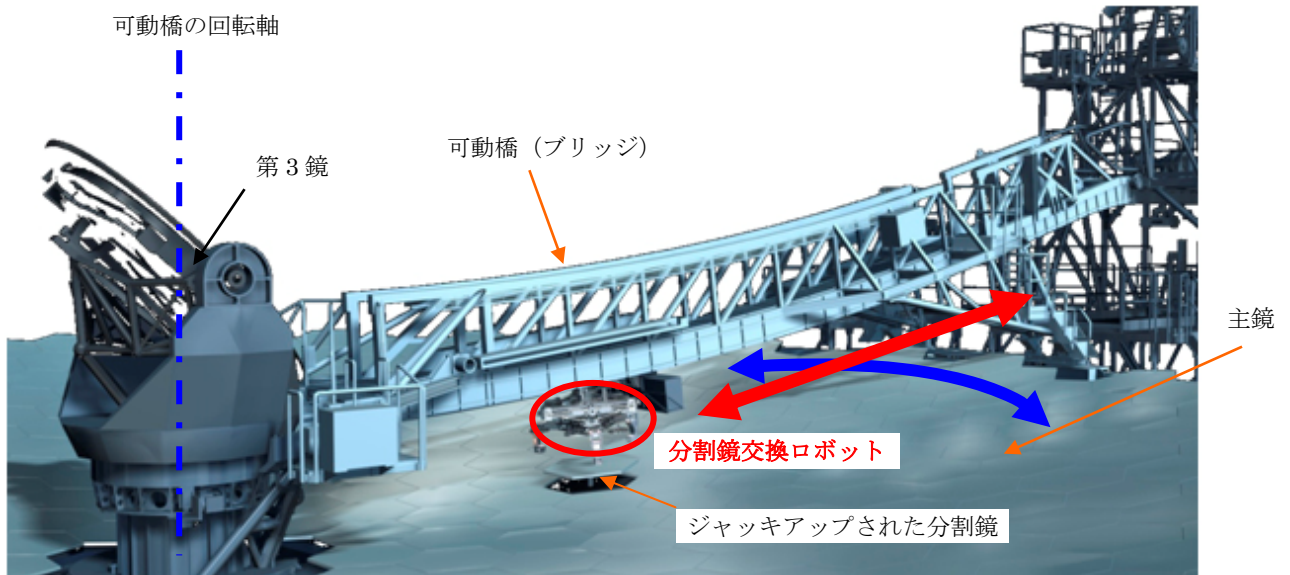


図 4. SHS 概要図

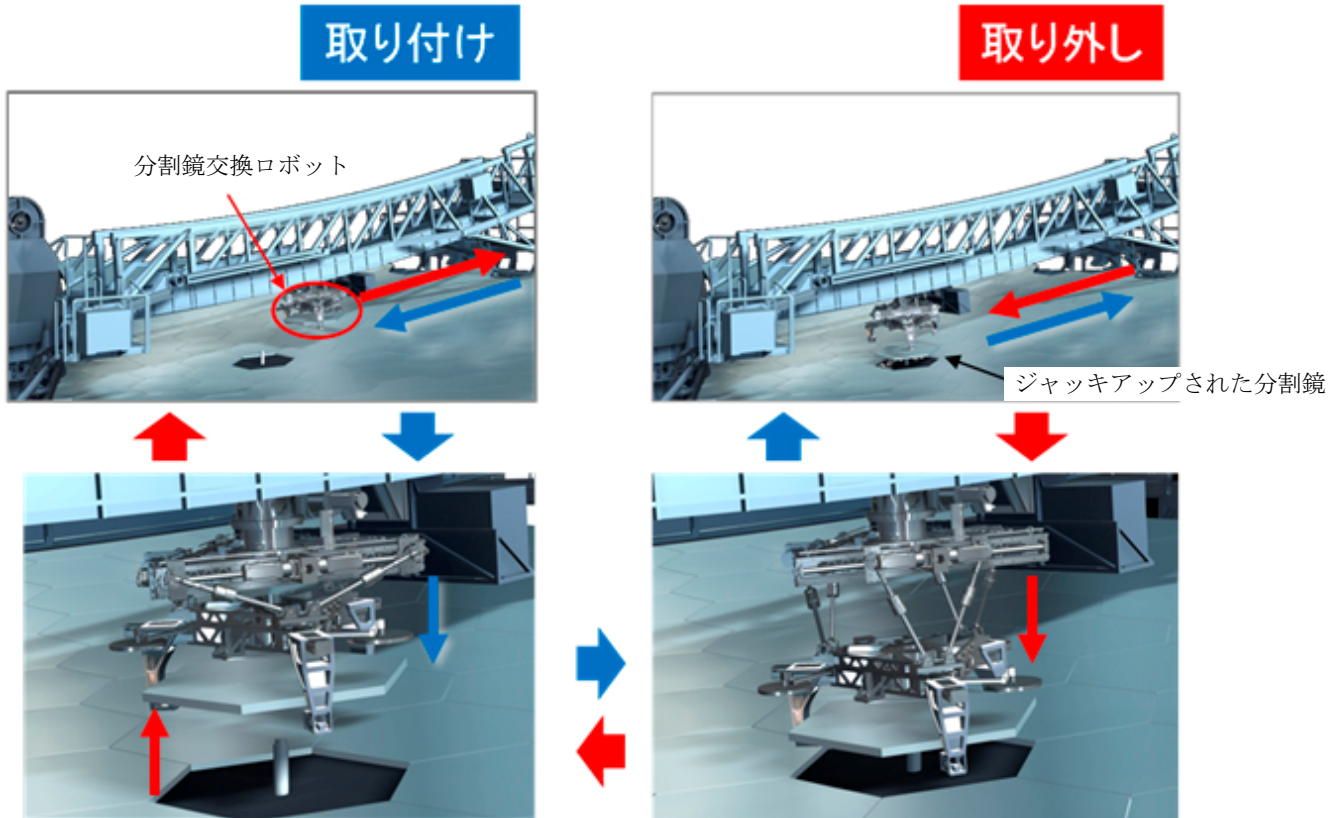


図 5. SHS による鏡の取り付け・取り外し

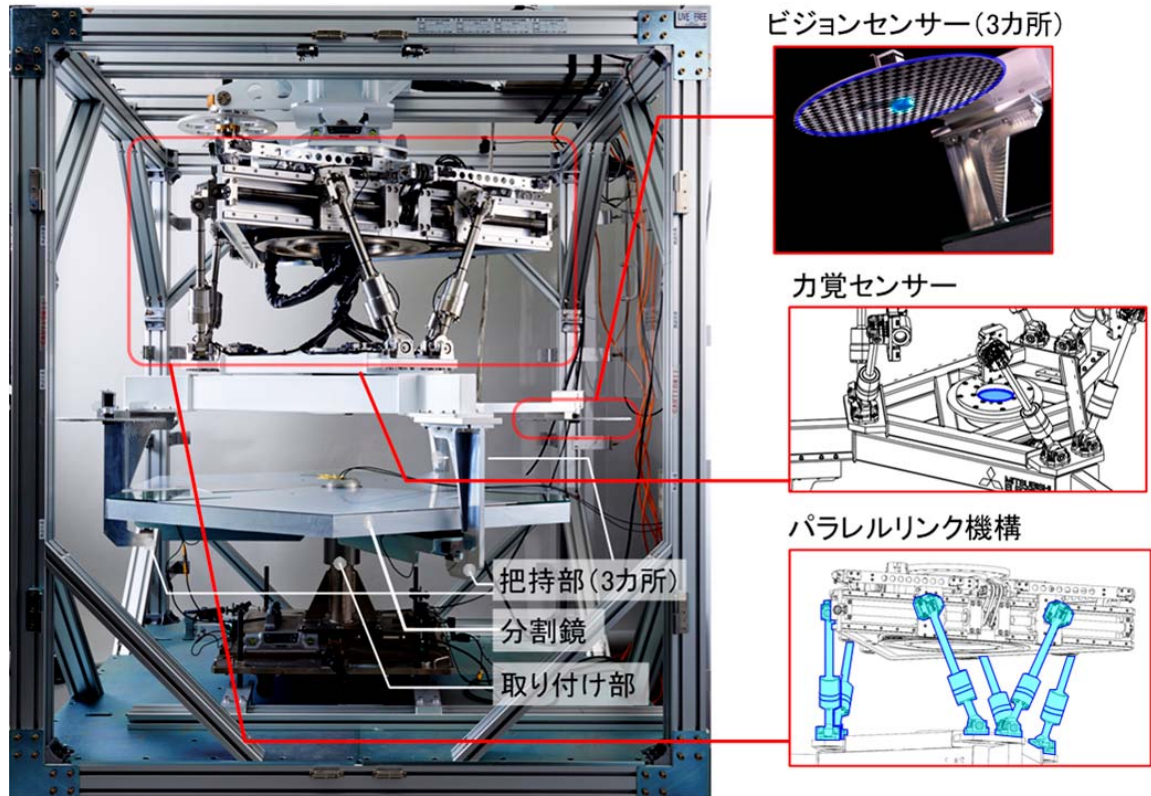


図 6. 分割鏡交換ロボット 概要図

1. 3つのビジョンセンサーにより正確に鏡の位置を計測

口径 30 メートルの主鏡は、合計 492 枚の分割鏡で構成されています。通常、反射率が高い鏡の位置と姿勢の計測は困難でしたが、ロボットに搭載しているビジョンセンサーの周囲に白と黒のチェッカーマークを取り付け、ジャッキアップされた分割鏡にこのチェッカーマークを写し込ませ指標にすることで、分割鏡の位置と姿勢を検出します。3つのビジョンセンサーを利用することで、形状や傾きの異なる分割鏡を正確に認識して、ロボットの分割鏡への安全なアプローチを実現します。

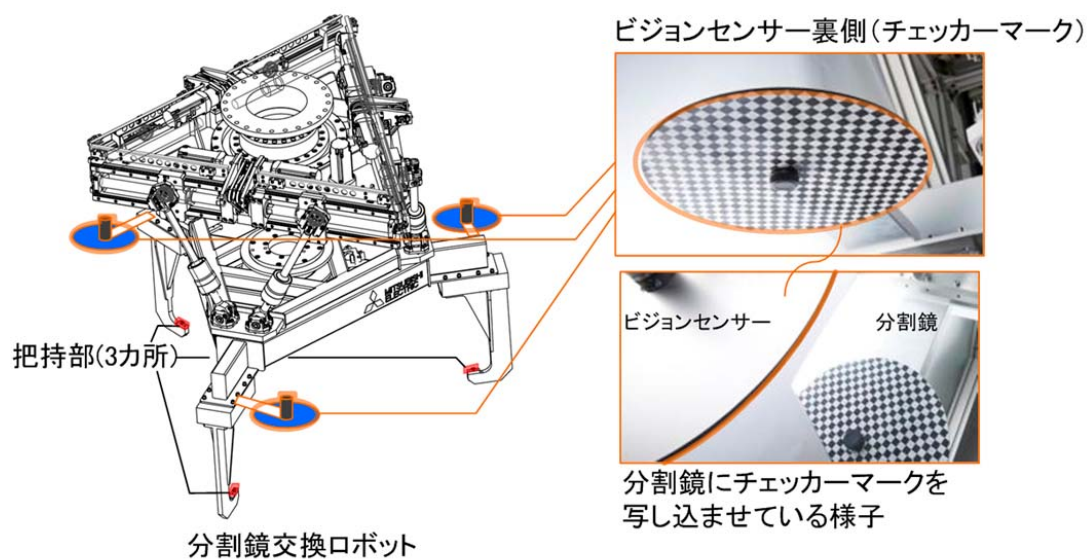


図 7. ビジョンセンサー概要

2. 高精度の力覚制御技術により優しく分割鏡を交換

分割鏡を交換するための把持部や取り付け部といったインターフェースは鏡の裏側にあるため、ビジョンセンサーで認識することができません。6軸の力覚センサーにより、分割鏡にかかる1キログラム以下の反力を検出し、鏡への負荷が小さくなるように、ロボットを駆動しながら位置と姿勢を制御します。このように人が押してもビクともしないロボットを、力覚制御により柔軟に制御することで、3つの把持部にかかる重量を均等にし、約250キログラムの分割鏡の重さで発生する構造変形も検知し、補正することで、交換時の鏡への負荷を小さくします。取り付け部と力覚制御アルゴリズムのブラシアップにより、492枚の傾きの異なるわずか0.5ミリメートルの隙間の取り付け軸に、60%の交換時間の短縮※4を実現しながら、鏡に過大な負荷を与えることなく優しく交換します。

※4 人手による交換との比較による

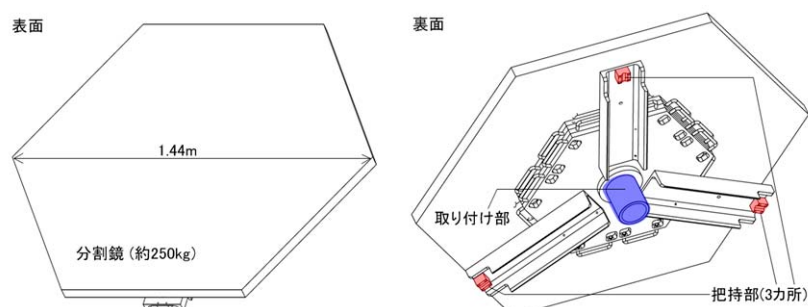
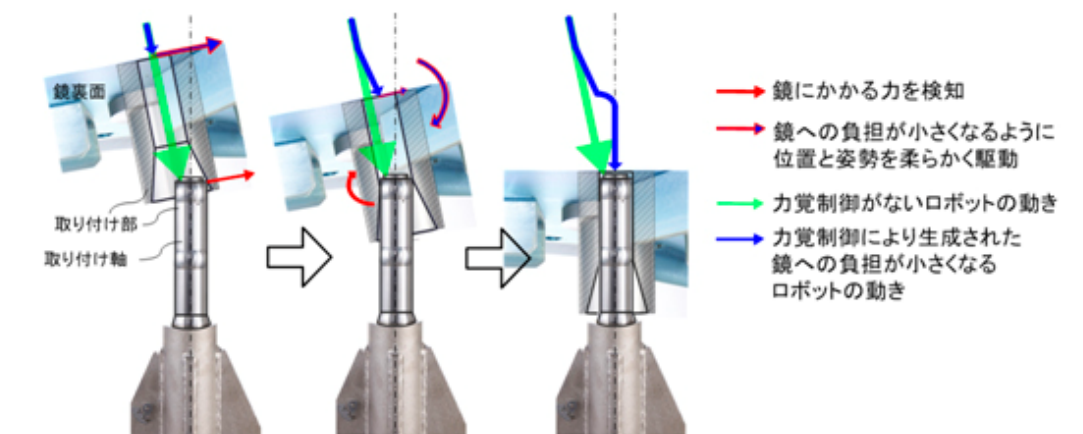
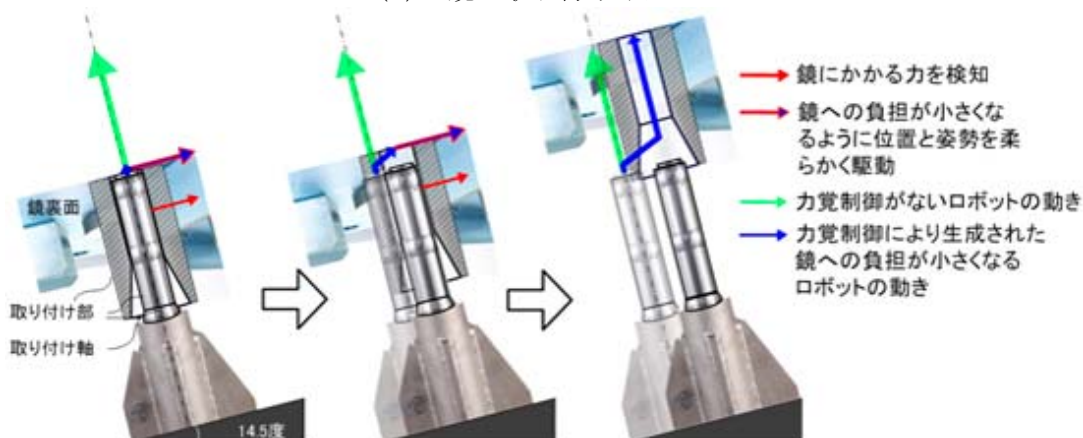


図 8. 分割鏡交換インターフェース



(a) 鏡の取り付けイメージ



(b) 鏡の取り外しイメージ

図 9. 力覚制御技術 概要（取り付け部拡大）

3. 平行リンク機構 により安全な鏡の運搬を実現

独立して動作する 6 本のリンクを並列配置した独自の平行リンク機構により、上下のロングストロークを確保しながら XYZ 軸の移動とそれぞれの回転の合計 6 自由度の駆動ができます。主鏡と移動するロボットの間主鏡を傷つけないための安全空間を確保します。また、駆動部には自動締りができるローラーネジを採用し、地震などで電源消失した場合でも駆動部は動かず、掴んだ鏡を落とさない堅牢な機構を実現しています。

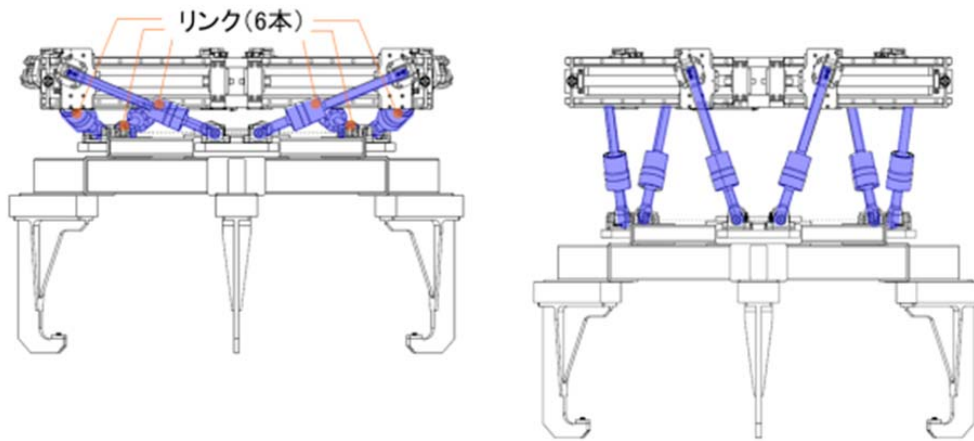


図 10. 上下ロングストロークする独自の平行リンク機構

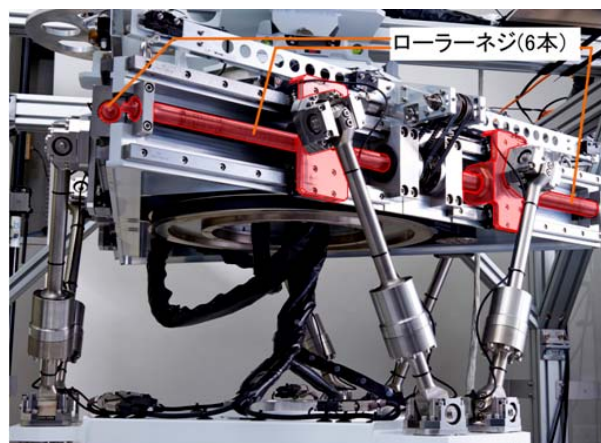


図 11. 自動締りができるローラーネジ

商標関連

TMT は TMT 観測所公社の米国における登録商標です。

特許

国内 機構：1 件、ビジョンセンサー：1 件、力覚：2 件
海外 機構：1 件、ビジョンセンサー：1 件、力覚：1 件

謝辞

本技術開発は、大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台との契約のもとで実施されました。

開発担当研究所

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町八丁目 1 番 1 号
FAX 06-6497-7289
http://www.MitsubishiElectric.co.jp/corporate/randd/inquiry/index_at.html