

KAGRA 腕共振器鏡のための 13.5m 防振懸架系の開発

総研大、KAGRA コラボレーション^A

奥富弘基、KAGRA コラボレーション^A

Development of 13.5-meter-tall Vibration Isolation System for Arm Cavity Mirrors in KAGRA

Sokendai (GUAS), ^AKAGRA Collaboration

K. Okutomi, KAGRA Collaboration^A

KAGRA は基線長 3 km の L 字型の腕を持つマイケルソン干渉計型の重力波望遠鏡である。KAGRA では重力波による鏡間の潮汐的な距離の変化をレーザーを用いて観測する。このとき重力波以外の要因で鏡が揺れていると、重力波と区別できずに雑音として観測されてしまう。地球上における重力波望遠鏡では地面振動が鏡を揺らす主な要因となるため、地面振動を鏡に伝わりにくくするための防振装置が必要となる。

防振懸架系は鏡を多段振り子のように吊るすことで、地面振動に対する鏡の応答を低減させる防振装置である。KAGRA では重力波感度への各鏡の寄与に応じて、計 4 種類の防振懸架系を用いている。特に 3 km 腕共振器の鏡は重力波に対して最も敏感であるため、世界最高の防振性能を持つ全高 13.5m、全 9 段からなる多段振り子を地下トンネルの 2 階より懸架することで鏡を防振する。このうちタワー部と呼ばれる上 5 段には倒立振り子や geometric anti-spring などの機械的共振周波数を低くする機構が組み込まれており、10 Hz–1 kHz の重力波観測帯域において高い受動防振性能を実現している。またサファイア鏡を含む下 4 段は低温ペイロードと呼ばれ、K に冷却することで熱雑音の寄与を低減する。この腕共振器鏡用の防振懸架系への要求は、観測帯域における鏡の揺れを 10^{-19} m/Hz⁻¹ 以下に抑えることである。

また防振懸架系は鏡の位置・姿勢の制御性能を有している。これは防振懸架系が、1) 重力波観測時（干渉計を構成する際）には共振器の基線長や鏡のアラインメント角度を制御し、2) 突発的な外乱により鏡の振動が励起された時にはその揺れを速やかに減衰させる、という役割も持っているためである。重力波望遠鏡では、干渉計を構成する光共振器を常に共振状態に保つことで重力波による微小な基線長変化を検出している。しかし、地震などの外乱により鏡が大きく揺らされると干渉計は共振状態を保てなくなり、再び共振状態に復帰するまでの時間は重力波観測が困難になる。したがって、安定した重力波観測を行うためには外乱や環境変化に対してロバストな制御系を構築する必要がある。防振懸架系の各段には制御のためのセンサおよびアクチュエータが搭載されており、デジタルシステムを介して鏡の共振減衰や位置・姿勢制御を実現する。

現在、KAGRA では腕共振器鏡用の防振懸架系の計 4 台のうち 2 台のインストールが完了している。本講演では、そのうち 1 台の防振懸架系について低温ペイロードを除く上 5 段のタワー部の制御試験の結果を発表する。