

重力波望遠鏡 KAGRA における防振装置とその運用

正田亜八香（国立天文台）

概要(Abstract)

KAGRA は岐阜県飛騨市で開発が進められているレーザー干渉計型重力波望遠鏡である。KAGRA で使用される鏡は、地面振動による雑音の導入を防ぐために振子状の防振装置で懸架されている。2018 年までにハードウェアのインストールは終了し、現在はこれらを使用して望遠鏡の制御および運用を行っている。防振装置をスムーズに運用するため、100 以上にもおよぶ防振装置のチャンネルの簡易モニターや、防振装置の保護システム、非専門家でもスムーズに任意の防振装置の応答を引き出せるアプリなどを開発した。

1. 重力波望遠鏡 KAGRA

KAGRA は岐阜県飛騨市に建設されたレーザー干渉計型重力波望遠鏡である。図 1 のような複雑な構成のレーザー干渉計を用いて、重力波による時空の歪みに応じて変化する 3 km 離れた鏡の間の距離を高精度で測定する装置である。

現在ハードウェアのインストールは終了し、干渉計の最終調整が行われている。一刻も早い KAGRA の国際重力波観測ネットワークの参入によって、重力波の到来方向といった信号パラメータの決定精度の向上や、少ない数の重力波望遠鏡では分離しきれなかったパラメータの分離などといった新しいサイエンスが期待されている。

ただし、重力波をとらえるために KAGRA では 3 km の距離の変動を 100 Hz で約 10^{-21} m の精度で測定することを目標としている。このために、様々な雑音を低減する技術が導入されており、そのひとつが防振装置である。

2. KAGRA の防振装置

KAGRA の感度は様々な要因で制限されるが、特に Black hole などといった重い星の連星合体が見えやすい低周波数帯では、地面の微弱な揺れによってレーザー干渉計を構成する鏡が揺れてしまうことによる雑音（地面振動雑音）が大きくなる。KAGRA では、地下という地面振動の小さい環境での建設、および防振装置によってこの地面振動を低減している。この防振装置は振子状になっており、振子の共振周波数（数 10 mHz ~ 1 Hz）よりも高い周波数では地面振動の揺れが伝わりにくくなっている。鏡ごとの重力波に対する感度に応じて計 4 種類の防振装置を使用している。最大のもの（図 1 のピンク部分で使用されている防振装置）は高さ 13.5m におよぶ 8 段の振子になっ

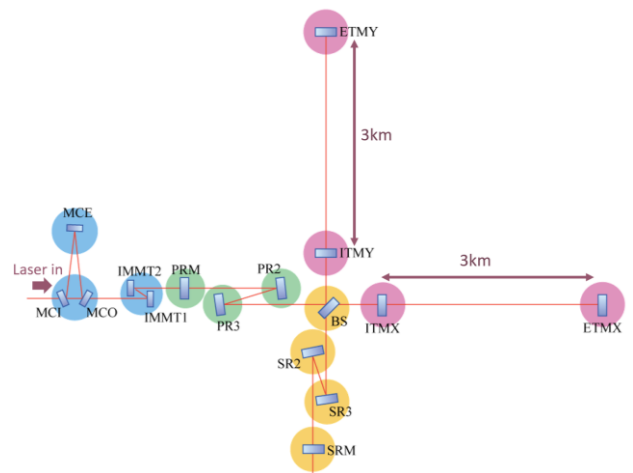


図 1 : KAGRA レーザー干渉計の構成

ており、1 台当たり 30 以上のモニターが搭載されている。これらの信号はデジタルシステムに取り込まれ、防振装置の状態を一定に保つなどの制御が行われている。

3. 干渉計のための防振系運用

重力波望遠鏡における防振装置の運用状態には主に 2 種類ある。ひとつは研究者が防振装置を含めた干渉計の状態を調整しながら望遠鏡の感度を向上させるためのコミッショニング中の運用と、重力波検出のための連続観測運転中の運用である。どちらにおいても、防振装置の非専門家が全部で 100 を超えるチャンネルを持つ防振装置の状態を適切に判断できることや、防振装置のアクチュエータを操作しても破損の危険がないこと、必要に応じて防振装置の応答モデルなどを簡単に引き出すことができることが重要となる。

チャンネルの効率的なモニタシステムには、全防振系の位置情報の信号および制御信号が規定の範囲を超えていないかを色で示したインジケータを 1 画面に示したモニターを用意したほか、その日のスペクトルのトレンドを表示し雑音の変動をわかりやすくしたサマリーページを LIGO の協力のもと導入した。さらに、インジケータ画面などには誰かが防振装置を使った測定中か否かを示すものもあり、複数の科学者・技術者が同時に複数個所で測定を行うような重力波望遠鏡のコミッショニングにおいては、お互いの測定を邪魔しないための簡易コミュニケーションツールともなっている。

また防振保護の観点からは、防振系の大きな揺れを感知した際の出力シャットダウンシステムをアップグレードした。既存のものは出力を瞬時に落としてしまうものであったが、DC で力をかけている場合はこのシャットダウンシステムが逆に防振系を大きく揺らし防振装置の破損を招く要因となってしまうていた。そこで設定時間でゆっくりと落としていくようなアップグレードを行った。また、何かトラブルが起きた時にすぐに防振装置の状態を把握できるよう、コマンド一つで健康診断を行えるスクリプトも用意してある。

そのほか、レーザーや低温系など様々な分野を専門とする科学者が防振装置を扱って干渉計をチューニングしていく重力波望遠鏡の開発の中では、防振装置の扱いを極力簡単化することが望遠鏡のより迅速なコミッショニングに役立つ。このため様々な制御状態を自動で推移できる自動化スクリプトを LIGO の協力のもと導入したほか、防振装置の応答を簡単にグラフおよび数式で呼び出すことができるウェブアプリの開発も行った。特にこのアプリは複雑な防振装置の制御フィルタを設計するスピードを飛躍的に向上させた。その他、干渉計のノイズ源の情報を一元化し他のメンバーと共有しやすくするウェブアプリなど、様々なユーザーインターフェースの開発を行った。

これらによって KAGRA ではハードウェアのインストールから約 1 年強で複雑な干渉計 (Power Recycling Fabry-Perot Michelson) の制御に成功し、世界重力波観測網への参入を目前に控えるまでになった。

4. まとめ

重力波望遠鏡 KAGRA の鏡のための防振装置では、そのチャンネル数が多いことや、非専門家も防振装置を扱うという特性から、ほかの望遠鏡にはない特殊なモニターや保護システム、ユーザー

インターフェースなどが望遠鏡のスムーズな感度向上および安定観測のためには重要となる。このため、LIGO と共通のツールを導入したほか、独自のツールを開発した。これによって現在 KAGRA ではほかの重力波望遠鏡に類を見ないスピードでの干渉計の調整および感度向上が進められており、今年度末前までに観測運転を開始する予定である。