

重力波望遠鏡の感度向上のための周波数依存スクイーズ光の開発

○有富尚紀、麻生洋一、Matteo Barsuglia、Eleonora Capocasa、Marc Eisenmann、Raffaele Flaminio、Yuefan Guo、Yao Chin Huang、Ray Kuang Lee、Matteo Leonardi、Harald Luck、Eleonora Polini、Pierre Prat、Matteo Tacca、高橋竜太郎、Henning Vahlbruch、Chien Ming Wu、Yuhang Zhao

(東大理、国立天文台、APC、LAPP、NIKHEF、国立清華大、MPG-AEI、ローマ第一大、総研大)

概要

重力波望遠鏡の感度は将来的には量子雑音という雑音によって制限される。この量子雑音を全周波数帯域で低減するためには、重力波望遠鏡の観測帯域である 70 Hz 程度でスクイーズ角が 90 度回転するような周波数依存スクイーズ光を干渉計に入射する必要がある。我々は、国立天文台の重力波望遠鏡 TAMA の 300 m 光共振器を用いて、70 Hz 程度での周波数依存スクイーズ光を実現することを目指している。

我々はこれまで 300 m 光共振器およびスクイーズ光源の開発を進め、300 m 光共振器については、フィネスおよびロスといった周波数依存スクイーズ光を実現する上で重要なパラメータが要求値を満たすことを確認した。また、スクイーズ光源については 20 Hz 以上で 5.4 dB のスクイーズ光の生成に成功した。そして、このスクイーズ光を 300 m 光共振器に入射することにより、300 m 光共振器を用いた 70 Hz 程度での周波数依存スクイーズに世界で初めて成功した。

1. イントロダクション

重力波望遠鏡の感度は将来的には量子雑音という雑音によって制限される。この量子雑音を全周波数帯域で低減するためには、重力波望遠鏡の観測帯域である 70 Hz 程度でスクイーズ角が 90 度回転するような周波数依存スクイーズ光を干渉計に入射する必要がある。この周波数依存スクイーズ光を実現するために、スクイーズ光をフィルターキャビティーと呼ばれる光共振器に入射することが提案されており、アメリカ、イタリアの重力波望遠鏡 LIGO, Virgo は次の 4 回目の重力波同時観測において 300 m のフィルターキャビティーを用いる予定である。しかし、フィルターキャビティーを用いた周波数依存スクイーズは、これまで MHz、kHz といった周波数帯で実現されているが、重力波望遠鏡で必要となる 70 Hz 程度での周波数依存スクイーズは未だ実現されていない。

70 Hz 程度の周波数依存スクイーズ光を実現するため、我々は、国立天文台の重力波望遠鏡 TAMA の 300 m 光共振器を用いて、70 Hz 程度での周波数依存スクイーズ光を実現することを目指している。

2. 実験装置

実験装置は図1のようにになっている。赤色の部分が300 m 光共振器、水色の部分がスクイーズ光源、グレーの部分が真空槽である。光パラメトリック発振器(OPO)でスクイーズ光が生成され、それが300 m のフィルターキャビティに入射される。フィルターキャビティから反射された光は、ローカルオシレータという光とともにホモダイン検出器で検出される。

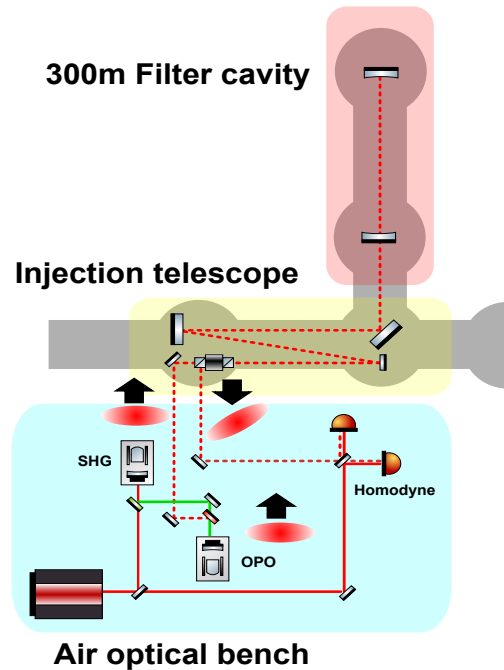


図1 実験装置

3. 実験結果

まず300 m 共振器について、光が共振器を往復する量を表すフィネスと、ロスという2つの重要なパラメータを測定した。フィネスとロスの設計値は4360と80 ppmなのに対し、測定されたフィネスは4425、ロスは50-90 ppm でおおむね設計値通りであった。

次に、スクイーズ光源について、生成された周波数依存していないスクイーズ光のスペクトルは図2である。20Hz以上で5.4 dBのスクイーズレベルが得られた(赤線)。一方、アンチスクイーズレベルは14.6 dBであった(青線)。

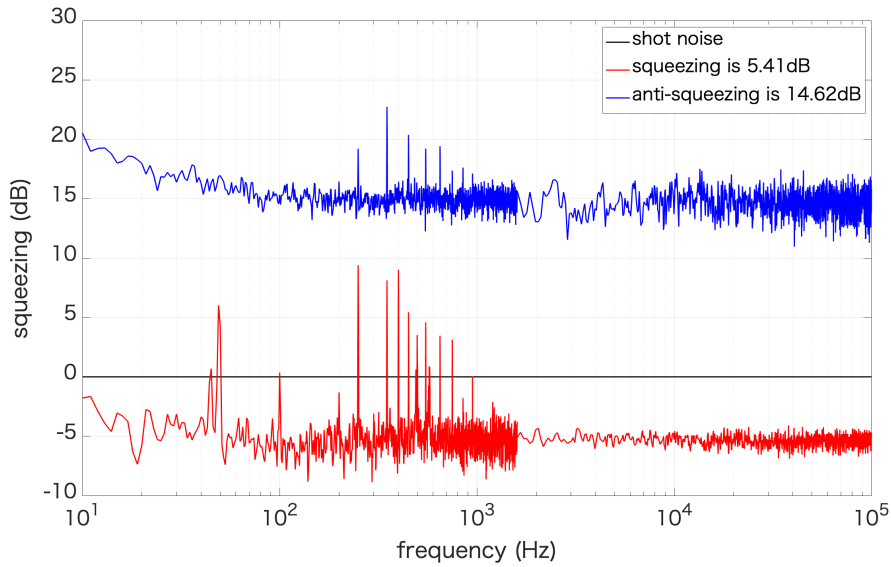


図2 周波数依存していないスクイーズ光

最後に、生成されたスクイーズ光を 300 m フィルターキャビティに入射することによって、図3のように 70 Hz 程度での周波数依存スクイーズに成功した。ホモダイン角が 0 度(赤線)、高周波では 3 dB 程度のスクイーズであるが、低周波では 8 dB 程度のアンチスクイーズになっている。一方、ホモダイン角が 90 度(青線)では高周波では 10 dB 程度のアンチスクイーズであるが、低周波では 0 dB 程度になっている。低周波のスクイーズレベルを制限しているのは、スクイーズ光とフィルターキャビティ、およびスクイーズ光とローカルオシレーターのモードミスマッチであり、高周波のスクイーズレベルを制限しているのはフィルターキャビティの入射、出射光学系でのロスである。また、低周波で測定データが理論と一致していない原因は、ローカルオシレーターの散乱光雑音であり、現在これを低減するための対策を進めている。

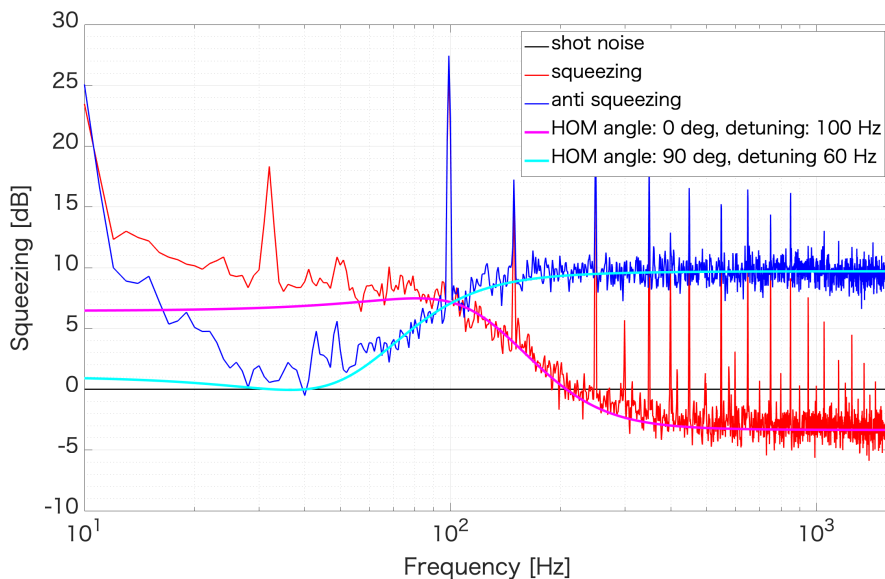


図3 70 Hz 程度での周波数依存スクイーズ光