

## 2020(令和二)年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：重力波望遠鏡 KAGRA の測定感度向上に資する雑音低減 および極微小散乱光計測技術の開発 英文：Development of scattered light measurement technique and noise reduction for improving sensitivity in KAGRA	
研究代表者	新潟大学工学部	大河正志
参加研究者	新潟大学／新潟工業短期大学	佐藤孝
	新潟大学工学部	鈴木孝昌
	防衛大学校電気情報学群通信工学科	上原知幸
	新潟大学大学院自然科学研究科	富士川雄太
	新潟大学大学院自然科学研究科	村上泰基
	新潟大学大学院自然科学研究科	小山直己
	新潟大学大学院自然科学研究科	廣瀬千晶
	新潟大学大学院自然科学研究科	中川瑞輝
研究成果概要	<p>散乱係数測定に関して、引き続き、マイケルソン干渉計の構成を用い、測定試料を 100 Hz 前後の周波数で振動させて、振幅散乱係数（本実験では振幅反射率）<math>\alpha</math> を評価し、測定手法や感度等の改善策について考察を行った。ND フィルタによる微弱散乱光を模した測定では、信号のフィルタ処理により、雑音が低減されたが、検出可能な最小振幅反射率は <math>10^{-4}</math> で、大幅な改善には至らなかった。また、試料として振幅反射率 0.052（カタログ値）の無反射コーティングガラスを使用し、本手法で振幅反射率を測定したところ 0.039 と算出され、低反射試料を対象とした測定系の動作を確認した。ただし、測定値や算出結果が干渉状態に大きく依存するため、算出結果の妥当性については、今後の検討を要する。ところで、振幅散乱係数の算出には、干渉信号の FFT スペクトルの基本波成分と 2 倍波成分を使用するが、スペクトルの広がり小さくするため、変調信号とサンプリング信号を同期させて干渉信号を取得することを試みた。この同期手法により、基本波および 2 倍波の周波数成分がより鮮明に得られることを確認した。これにより、今後の実験を進める上での計測系の設定条件がひとつ明確になった。さらに、<math>\alpha</math> を決定する上での誤差要因となる動作点と変調度について、シミュレーションによる考察を行った。その結果、変調度 <math>\pi</math> rad 付近では、2 次ベッセル関数の変化が小さく、動作点を 0 rad（dark fringe）とし、1 次ベッセル関数の値が 0 で、2 次ベッセル関数のみ現れる設定にするのが適当で、そのとき <math>\alpha</math> の算出誤差が小さくなることが分かった。</p> <p>大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、2020 年 4 月 7 日から 21 日までの 15 日間、ドイツの重力波望遠鏡 GEO600 との共同観測 O3GK を行った。この共同観測期間に発生したロ</p>	

ックロスについて、地面振動の状態検出および干渉計の状態検出の観点から、ロックロスの原因やロックロスに至る干渉計の状態等について考察を行った。

まず、本研究で対象とするロックロスを、干渉計が比較的安定な状態から生じたロックロスとし、ロックロスの直前 10 分以上ロックが続いていたものを抽出した。その結果、O3GK におけるロックロスの総数は 75 回であった。なお、干渉計の腕末端の透過光量変化から、ロックロスが起こった時間を決定した。

ところで、KAGRA では、地震計が 5 箇所に設置されている。これらの地震計のデータと地震観測、波浪観測、ダムの放流記録等のデータを基に、地震のような突発的な地面振動、日本海の波浪に起因する脈動、放流による振動等を判別し、ロックロスの原因について考察を行った。まず、突発的な地面振動の判定法については、O3GK 期間の地震計のデータを 128 秒単位で分割し、個々の分割されたデータに対し、0.05~5 Hz の帯域幅でバンドパスフィルタ処理を行った。そして、個々の区間ごとに peak-to-peak 値 (p-p 値) を読取り、その区間の代表値として、ヒストグラムを作成した。

地面振動のヒストグラムより、p-p 値の大きなものほど頻度が少なくなる一般的な傾向が見られた。ここでは、べき関数を用いてフィッティングして、15 日間に 0.1 回現れる p-p 値を閾値とし、閾値以上の p-p 値を大きな突発的な地面振動と判断することとした。ちなみに、IXV の Z 軸の地震計振動の場合、閾値は 8.9  $\mu\text{m}$  となった。この手法で、大きな突発的な地面振動と判断され、それがロックロスの原因と考えられるイベントが 5 回確認された。15 日間で 1 回現れる p-p 値を閾値とする緩めの閾値についても考察したところ、さらに 2 回のイベントが確認され、地震のような突発的な地面振動が原因となったロックロスは 7 回であった。一方、ヒストグラムには、p-p 値 5  $\mu\text{m/s}$  周辺に、べき関数の傾向とは異なる、頻度の盛り上がりが見られた。これは、日本海の波浪に伴う microseismic ではないかと考え、O3GK 期間における 1024 秒区間ごとの地面振動信号に 0.1~0.5 Hz の帯域幅でバンドフィルタ処理を行い、RMS 値を算出した。この結果と輪島港、伏木富山港の波の高さのデータとの間に良い一致が見られ、推測の妥当性が確認された。閾値を設定し評価したところ、波浪に伴なう microseismic が原因と推測されるロックロスは 8 回であった。

干渉計の状態に関しては、詳細を省略するが、干渉計の長さ制御やミラー制御における誤差信号の異常およびサチュレーションに着目し、ロックロスとの因果関係等について考察を行って、11 回の誤差信号の異常、7 回のサチュレーションを見出した。また、ロックロス前後のミラー角度の振る舞いについても考察し、角度異常や周波数 1 Hz の揺れを発見した。

以上の研究成果を基に、ロックロスの分析を自動化するシステム開発を行った。この分析システム (FujiLINCO) は python で記述されたプログラムで、一度実行するだけで、O3GK 期間の 75 回のロックロスに対して、本研究で対象としたすべての分析を行うことができ、分析結果は HTML ファイルとして出力される。