

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247042

研究課題名(和文)変位雑音相殺干渉計技術の展開による超標準量子限界干渉計の実現

研究課題名(英文)Development of super-SQL interferometry using displacement noise free technique

研究代表者

佐藤 修一 (SATO, Shuichi)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：30425409

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,200,000円

研究成果の概要(和文)：変位雑音フリー干渉計(DFI)技術を用いて、標準量子限界(SQL)を越えるための超高感度変位計の開発を行った。SQLにアクセスするためには低周波領域で高い変位感度を要求するため、低周波で卓越する擾乱源を抑圧することが本質的に重要である。そこで干渉計部の光学素子を固着したモノリシック干渉計にファイバー光学系で光源を供給するリジッド光学系を採用し、数Hz以上の周波数帯域で光の散乱雑音に制限される干渉計感度を実現した。さらに擾乱源である地面振動そのものを抑圧する方法として能動防振系を採用した。周波数帯域によって2-3桁程度の防振を実現し、地球上最も静かな環境以上の静寂な環境を実現した。

研究成果の概要(英文)：High-sensitivity displacement sensor had been developed to beat Standard Quantum Limit (SQL) using a technique of Displacement-noise Free Interferometer (DFI). In order to access to the SQL, high-displacement sensitivity is required in low frequency band, so it is essentially important to suppress disturbance remarkable in low-frequency band, like seismic noise. As one of solutions, employing the monolithic interferometer that fix the optics rigidly on the single base plate for a interferometer with optical fiber for laser light delivery, the sensitivity of the interferometer was limited by the shot noise (quantum noise) down to several Hz. Moreover, an active isolation system was developed as a way to suppress the seismic noise itself. Seismic isolation ratio of 2-3 orders of magnitude was realized in lo-frequency region, which corresponds to the seismic noise level of most quiet region on the earth.

研究分野：重力波天文学

キーワード：重力波

1. 研究開始当初の背景

世界で初めての重力波の直接検出を目指して世界の研究グループがしのぎを削っている。各地で大型のレーザー干渉計型検出器の建設が行われる中、日本の KAGRA 計画も 2010 年度よりようやく建設がスタートし、急ピッチで施設の整備が進められている。KAGRA 計画及び米国 LIGO 計画、欧州の VIRGO 計画はシステムのアップグレードを経て、2010 年代後半には現在よりも 1 桁高い感度を実現し、1 年に複数イベントの観測が現実的なものと予想される。特に米国 LIGO 計画などはすでに計画目標に近い感度での観測運用を実現し、更に感度の向上を実現した第二世代の検出器 advanced LIGO へのアップグレードを進めている。この種のアップグレードによって、世界の大型干渉計は、後述する標準量子限界に迫るような超高感度な領域に達する。

一方、米国と欧州では衛星を利用したスペース干渉計型重力波アンテナ LISA 計画が検討されており、2010 年中頃の前哨衛星 LISA pathfinder の打ち上げを目指して技術開発が行われている。この計画は地上の検出器よりも遥かに低周波の 1-30mHz の重力波検出を目指すことにより、ユニークなサイエンスを狙っている。

これに対し日本のグループは、地上の検出器群と LISA 計画の観測帯域の中間の未開拓領域を狙って、DECIGO (DECi-hertz Interferometer Gravitational-wave Observatory) 計画を提案した。DECIGO 計画は LISA 計画の 1/1000 のスケールのスペース干渉計で、0.1-10Hz を観測帯域としており、地上検出器群と LISA 計画が観測できない周波数領域を広くカバーする検出器である。

これらの重力波検出計画は、地上型・スペース型を問わず、光の干渉を用いた自由質点間の微小な相対距離変動の計測を重力波検出の原理としている。したがって、検出器の感度は究極的には光の量子雑音（散射雑音および輻射圧雑音）によってのみ制限される。事実、地上の干渉計群が今後数年間のアップグレードを経て、ありとあらゆる雑音を排除していった結果、2010 年代に実現するであろう次世代干渉計は散射雑音と輻射圧雑音との最小不確定性関係に似た関係で導かれる「標準量子限界 (SQL)」に迫る感度を持つと想定される。

標準量子限界とは散射雑音と輻射圧雑音で決まる干渉計感度スペクトルの最小値の包絡線であり、干渉計の光源であるレーザーのパワーを上げて散射雑音レベルを下げる、という論理が通用しない。つまり、自由質点を巨大にすることでしか解決できない感度の壁があるのである。

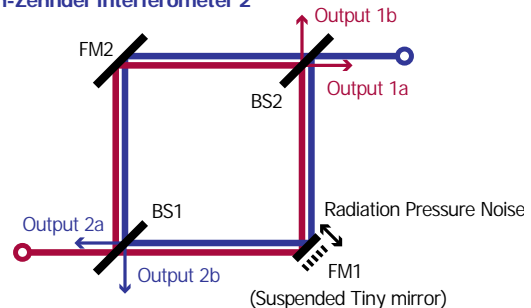
2. 研究の目的

「雑音を低減する」という従来の方法とは全く異なるアプローチである変位雑音相殺技術をさらに展開することによって、レーザー干渉計による位置測定の量子力学的限界である標準量子限界を越える方法を提案し、実験によって超標準量子限界となるレーザー干渉計を実現することを目的とする。前述のように、早晚、レーザー干渉を用いた重力波アンテナはこの標準量子限界で制限される感度に迫ると予想されることから、この量子雑音限界を破ることは干渉計の低周波領域での感度限界を取り除くことと等価でもある。その結果、標準量子限界という究極の感度の壁を破ることを実証することのインパクトはもとより、天体の合体からの重力波の観測に重要な役割を果たす低周波領域の感度の向上に直結することはきわめて重要である。結果として探査対象となる重力波源が増加することにより、更に豊かなサイエンスを期待できることは、天文学としての重力波研究にとって大変意義が深い。

3. 研究の方法

本研究では、これまで推進してきた変位雑音相殺干渉計技術を発展・改良し、コンパクトながら超高感度なレーザー干渉計 (光位相センサー) を構築することで標準量子限界 (SQL) を越える実験をおこなう。「ハイパワーのレーザーを用いる」こと、「軽量の鏡 (試験質量) を用いる」こと、および「徹底された防振系を用いる」ことの 3 つが本研究のキーワードである。従来の重力波研究で培われてきた最先端技術をつぎ込みながらも、テーブルトップサイズのコンパクトな干渉計でありながら、標準量子限界という高い科学目標にいち早く辿り着ける可能性を秘めた計画であることが最大の特徴である。

Mach-Zehnder interferometer 1
Mach-Zehnder interferometer 2



本研究のアイデアの核心は変位雑音に感度のない DFI を使うことで変位雑音の一種である輻射圧雑音をも相殺するという点にある。したがって、基本となる干渉計光学設計は最もシンプルな DFI である双方向マッハツェンダー干渉計を採用する。

この干渉計では2つの干渉計出力を演算することにより、FM1 および FM2 の変位雑音が光に付加する位相情報は理想的に相殺できる。一方で BS1 と BS2 の位相情報は、マッハツェンダー干渉計 1 と 2 とで時間差で受け取るため原理的には相殺しない。ところが、相殺の程度は干渉計に於ける光学素子の非対称性のスケール(BSがFMからどれだけずれているか)と、観測周波数で定まる。例えば干渉計のスケールが 10cm の場合、1Hz の変位情報に対しては $1/c \approx 10^{-9}$ 程度の相殺効果を期待できるということになる。本実験でもまさにこの効果を利用し、干渉計を小さくコンパクトに作ることで BS の変位情報が寄与しない設計を採用する。また、本実験は(変位雑音に感度のない)高感度の「光位相センサ」を開発することが目的なので、干渉計の腕は長い必要はない。特に心臓部となる MZI 部分のサイズは 10cm 程度である。また、輻射圧雑音レベルを上げるためには干渉計内光強度が重要であるが、高出力レーザーで補うことにして共振器などの光学系は使わず、できるだけ簡素にコンパクトに開発を進めた。

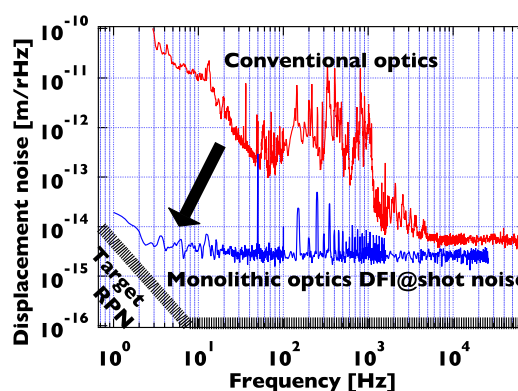
4. 研究成果

(1) 防振系の開発：モノリシック化

プロトタイプを用いた実証試験の結果を総合すると、干渉計を構成する光学素子の純粋な並進運動による変位雑音の他に、広い意味での干渉計の非対称性が干渉計の感度を制限していることが示されてきた。これら雑音の源あるいは伝播経路をひとつずつ排除することで余剰雑音を低減し、感度の向上をはかった。干渉計の真空化に引き続き、干渉計部の光学素子を固定化したモノリシック光学系を採用することで大幅な雑音の低減、感度向上を実現した。DFI 機構による変位雑音の相殺、および干渉計部の真空化などによる対処では改善しなかった。主に 1kHz 以下の低周波領域での余剰雑音が一挙に低減した。これは一義的には変位雑音自身が抑圧された効果が顕著に見えていることに相当する。一方で、それ以外にも干渉計のある種の非対称性が抑えられる効果があり、双方向の干渉計に関する感度の差が大幅に小さくなっている。これによって潜在的には DFI 機構の効率の改善が期待される。

モノリシック干渉計を用いた DFI では、シングル MZI で 1kHz 以下に残っていた余剰雑音の多くが DFI 機構によって相殺されている結果として、数 Hz 以上の周波数帯域ではほぼ散乱雑音レベルの感度を実現した。しかしながら数 Hz 以下には依然相殺しきれないフロア状の余剰雑音が残存している。この周波数領域における散乱雑音レベルでの計測では、突発的な地面振動励起によるスペクトルの悪化が無視できない。もう少し広い領域に渡る広い意味での防振が必要ということである。

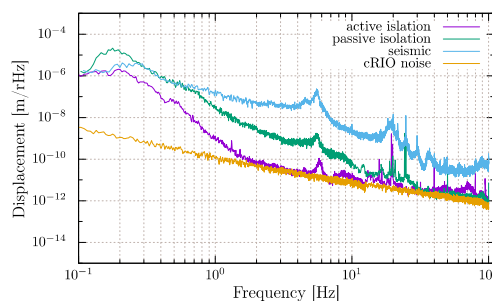
これらの結果を受けて、レーザー光源から



モノリシック干渉計までの入射光学系を光ファイバーで結び、自由空間での光の伝播部分をなくすと共に、通常の光学マウントの代わりに固着光学系を用いることで全ての光学系をモノリシック構造とした全モノリシック干渉計を設計・製作した。現在は、この可能な部分は全てモノリシック化した干渉計を用いた DFI の感度測定と雑音評価を行った。

(2) 防振系の開発：能動防振

地面振動由来の変位雑音を低減する方法として、干渉計のモノリシック化に代表される伝播経路の遮断と併せて振動源そのものの低減(これも伝播経路の遮断の一種と考えることもできる)も重要である。これを踏まえ、高感度地震計(センサ)と受動防振装置(支持機構)を組み合わせた能動防振系の開発を行った。受動防振装置はヘキサポッドなどの固定支持機構を用いる場合に比較して防振効果も得られることがポイントである。高感度地震計としては Nanometrics 社製品を選定し性能評価を行った。受動防振装置としては Minus-k 社の低固有周波数除振台を採用した。外部環境と機械的に完全に孤立したスタンドアロンの制御系とし、大気中での実験ながら被防振台の振動レベルは 2-3 桁の防振に成功した。更に真空槽そのものを防振したのち、真空槽の内部でさらに光学定盤を能動防振するといった 2 段階構成の防振系とし、1Hz での防振比を稼ぐ構成とした。



能動防振系の開発については高感度地震計(センサ)と受動防振装置(支持機構)の特性の評価を進めつつ、真空槽内で閉じた系で能動防振制御系が成立するような全体システムの設計を行った。併せて真空槽内の構造・配置の設計を進め、機構部分の構築を行った

．制御は真空槽内に設置したバッテリー駆動の計算機で行うこととし，主要な部分はデジタル制御とする．3軸のセンサを複数配置することによって光学定盤の剛体6自由をセンシングし，制御するための制御アルゴリズムの設計と実装も並行して進めた．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- 1) Shuichi Sato for the DECIGO collaboration, "The status of DECIGO", IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (2017) 1824304 (526071879) 012010, 査読有
- 2) Takashi Nakamura, Masaki Ando, Tomoya Kinugawa, Hiroyuki Nakano, Kazunari Eda, Shuichi Sato, Mitsuru Musha, Tomotada Akutsu, Takahiro Tanaka, Naoki Seto, Nobuyuki Kanda and Yousuke Itoh, "Pre-DECIGO can get the smoking gun to decide the astrophysical or cosmological origin of GW150914-like binary black holes", Prog. Theor. Exp. Phys.(2016) 093E01, 査読有
- 3) K Okutomi, T Akutsu, M Ando, M Nikaido, N Tanaka, Y Torii, S Sato, K Izumi, D Chen, DPF Working Group, "Residual Gas Noise in the Test-mass Module for DECIGO Pathfinder", Journal of Physics: Conference Series 610 (2015) 012040, 査読有

〔学会発表〕(計53件)

- 1) 鈴木敏一, 佐藤修二, 他 KAGRA コラボレーション (218人中92番目), KAGRAの現状, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中市), 2017年3月17日~20日)
- 2) 安東正樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (78): DECIGO/B-DECIGO の概要, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中市), 2017年3月17日~20日)
- 3) 中野寛之, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (79): DECIGO のサイエンス, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中市), 2017年3月17日~20日)
- 4) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (81): B-DECIGO の設計, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中市), 2017年3月17日~20日)
- 5) 久保海, 野々村拓也, 東浦孝典, 大塩裕哉, 船木一幸, 佐藤修二, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (82): μ N スラストスタンドの開発, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中

市), 2017年3月17日~20日)

- 6) 村越萌, 佐藤修二, 森本睦子, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (83): B-DECIGO の軌道設計, 日本物理学会 第72回年次大会, (大阪大学(大阪府豊中市), 2017年3月17日~20日)
- 7) 道村唯太, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション (218人中92番目), 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA プロジェクトの現状, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 8) 佐藤修二, (シンポジウム講演) 宇宙重力波望遠鏡への展開 Space gravitational wave observatories, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 9) 安東正樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (73): 概要, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 10) 瀬戸直樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (74): DECIGO のサイエンス, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 11) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (76): pre-DECIGO の設計, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 12) 阿久津智忠, 安東正樹, 佐藤修二, 武者満, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (77): 干渉計設計, 日本物理学会秋季大会 (宮崎大学(宮崎県宮崎市), 2016年9月21日~24日)
- 13) S.Sato, "The status of DECIGO", LISA Symposium Meeting; 5.-9.Sept. 2016; University of Zurich, Switzerland.
- 14) 安東正樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (68): DECIGO 計画の概要, 日本物理学会 第71回年次大会, (東北学院大学(宮城県仙台市), 2016年3月19日~22日)
- 15) 瀬戸直樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ (144中64番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (69): DECIGO のサイエンス, 日本物理学会 第71回年次大会, (東北学院大学(宮城県仙台市), 2016年3月19日~22日)
- 16) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (71): pre-DECIGO の設計, 日本物理学会 第71回年次大会 (東北学院大学(宮城県仙台市), 2016年3月19日~22日)
- 17) 久保海, 野々村拓也, 東浦孝典, 大塩裕哉, 船木一幸, 佐藤修二, スペース重

- 力波アンテナ DECIGO 計画 (72): μN スラスタスタンドの開発, 日本物理学会 第 71 回年次大会, (東北学院大学(宮城県仙台市), 2016 年 3 月 19 日~22 日)
- 18) 高橋竜太郎, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション(144 中 64 番目), 大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)プロジェクトの現状, 日本物理学会 第 71 回年次大会, (東北学院大学(宮城県仙台市), 2016 年 3 月 19 日~22 日)
- 19) 内山隆, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション(218 人中 92 番目), 大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)プロジェクトの現状, 日本物理学会秋季大会(大阪市立大学(大阪府大阪市), 2015 年 9 月 25 日~28 日)
- 20) 安東正樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ(144 中 64 番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(64): DECIGO 計画の概要, 日本物理学会秋季大会(大阪市立大学(大阪府大阪市), 2015 年 9 月 25 日~28 日)
- 21) 瀬戸直樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ(144 中 64 番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(65): DECIGO のサイエンス, 日本物理学会秋季大会(大阪市立大学(大阪府大阪市), 2015 年 9 月 25 日~28 日)
- 22) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(67): pre-DECIGO の設計, 日本物理学会秋季大会(大阪市立大学(大阪府大阪市), 2015 年 9 月 25 日~28 日)
- 23) 道村唯太, 麻生洋一, 宗宮健太郎, 宮川治, 中野雅之, 山元一広, 辰巳大輔, 阿久津智忠, 安東正樹, 齊藤高大, 加川智大, 我妻一博, 和泉究, 新井宏二, 山本博章, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション(218 人中 92 番目), 重力波望遠鏡 KAGRA の主干渉計制御設計, 日本物理学会 第 70 回年次大会, (早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 21 日~24 日)
- 24) 安東正樹, 川村静児, 瀬戸直樹, 中村卓史, 坪野公夫, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ(144 中 6 番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(59): DECIGO/DPF の概要, 日本物理学会 第 70 回年次大会, (早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 21 日~24 日)
- 25) 瀬戸直樹, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ(144 中 6 番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(60): DECIGO のサイエンス, 日本物理学会 第 70 回年次大会, (早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 21 日~24 日)
- 26) 奥富弘基, 麻生洋一, 阿久津智忠, 安東正樹, 二階堂瑞希, 佐藤修二, 陳聃, 上田暁俊, 鳥居泰男, 和泉究, DPF ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(62): 干渉計地上実験, 日本物理学会 第 70 回年次大会, (早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 21 日~24 日)
- 27) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(63): pre-DECIGO の設計, 日本物理学会 第 70 回年次大会, (早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 21 日~24 日)
- 28) 麻生洋一, 梶田隆章, 黒田和明, 大橋正健, 川村静児, 佐藤修二, 他 KAGRA コラボレーション(218 人中 92 番目), 大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)プロジェクトの現状, 日本物理学会秋季大会(佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2014 年 9 月 18 日~21 日)
- 29) 安東正樹, 川村静児, 瀬戸直樹, 中村卓史, 坪野公夫, 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ(144 中 6 番目), スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(55): DECIGO/DPF の概要, 日本物理学会秋季大会(佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2014 年 9 月 18 日~21 日)
- 30) 阿久津智忠, 奥富弘基, 安東正樹, 佐藤修二, 武者満, 上田暁俊, DPF ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(56): 干渉計・信号処理, 日本物理学会秋季大会(佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2014 年 9 月 18 日~21 日)
- 31) 奥富弘基, 阿久津智忠, 安東正樹, 二階堂瑞希, 田中伸幸, 鳥居泰男, 佐藤修二, 和泉究, 陳たん, DPF ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(57): 試験マス, 日本物理学会秋季大会(佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2014 年 9 月 18 日~21 日)
- 32) 佐藤修二, DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(58): ドラッグフリー, 日本物理学会秋季大会(佐賀大学(佐賀県佐賀市), 2014 年 9 月 18 日~21 日)
- 33) S.Sato for the DECIGO and DPF collaboration "Status of DECIGO", GWADW2014 Takayama, Hida, Gifu, Japan May25-30
- 34) 安東正樹, 梶田隆章, 黒田和明, 大橋正健, 川村静児, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション(218 人中 92 番目), 大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)プロジェクトの現状, 日本物理学会 第 69 回年次大会, (東海大学(神奈川県平塚市), 2014 年 3 月 27 日~30 日)
- 35) 内山隆, 大橋正健, 三代木伸二, 宮川治, 大石奈緒子, 佐藤修二, KAGRA コラボレーション(218 人中 92 番目), 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設状況 III, 日本物理学会 第 69 回年次大会, (東海大学(神奈川県平塚市), 2014 年 3 月 27 日~30 日)
- 36) 安東正樹, 川村静児, 瀬戸直樹, 中村卓史, 坪野公夫, 佐藤修二, DECIGO ワーキ

- ンググループ(144中6番目),スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(50):DECIGOのサイエンス,日本物理学会 第69回年次大会,(東海大学(神奈川県平塚市),2014年3月27日~30日)
- 37) 阿久津智忠,奥富弘基,二階堂瑞希,安東正樹,佐藤修二,武者満,上田暁俊,田中伸幸,鳥居泰男,和泉究,DPF ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(51):干渉計・信号処理,日本物理学会 第69回年次大会,(東海大学(神奈川県平塚市),2014年3月27日~30日)
- 38) 奥富弘基,阿久津智忠,安東正樹,二階堂瑞希,田中伸幸,鳥居康男,佐藤修二,和泉究,陳たん,DPF ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(52):試験マス,日本物理学会 第69回年次大会,(東海大学(神奈川県平塚市),2014年3月27日~30日)
- 39) 佐藤修二,DECIGO ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(53):ドラッグフリー制御,日本物理学会 第69回年次大会,(東海大学(神奈川県平塚市),2014年3月27日~30日)
- 40) 大橋正健,梶田隆章,黒田和明,川村静児,佐藤修二,KAGRA コラボレーション(218人中92番目),大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)プロジェクトの現状,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 41) 内山隆,大橋正健,三代木伸二,宮川治,大石奈緒子,佐藤修二,KAGRA コラボレーション(218人中92番目),大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設状況 II,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 42) 安東正樹,川村静児,瀬戸直樹,中村卓史,坪野公夫,佐藤修二,DECIGO Collaboration(144中6番目),スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(44):DECIGO/DPF の概要,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 43) 阿久津智忠,奥富弘基,二階堂瑞希,安東正樹,佐藤修二,武者満,上田暁俊,田中伸幸,鳥居泰男,和泉究,DPF ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(46):干渉計・信号処理,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 44) 奥富弘基,阿久津智忠,安東正樹,二階堂瑞希,田中伸幸,鳥居康男,佐藤修二,和泉究,陳たん,DPF ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(47):試験マスモジュール,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 45) 佐藤修二,DECIGO ワーキンググループ,

- スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(48):ドラッグフリー制御,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)
- 46) 東浦孝典,船木一幸,大塩裕哉,佐藤修二,DECIGO ワーキンググループ,スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(49):DPF に向けた超低推力ノイズ計測スタンドの開発,日本物理学会秋季大会(高知大学(高知県高知市),2013年9月20日~23日)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計1件)
 名称:干渉型測距計
 発明者:佐藤修一
 権利者:学校法人法政大学
 種類:特許
 番号:特願 2016-062591
 出願年月日:2016年3月25日
 国内外の別:国内

〔その他〕

学位論文

- 1) 白澤光純「変位雑音フリー干渉計を用いた量子非破壊測定技術の研究」修士論文,法政大学(2017年)
- 2) 大田翔史「変位雑音フリー干渉計(DFI)重力波検出器のための能動防振システムの開発」修士論文,法政大学(2017年)
- 3) 久保海「捻じれ振り子を用いた微小推力雑音計測のためのスラストスタンドの開発」修士論文,法政大学(2017年)
- 4) 斎藤陽平「重力波検出のための結合共振器の制御」修士論文,法政大学(2017年)
- 5) 東浦孝典「Alignment Free 干渉計の開発」修士論文,法政大学(2014年)

6. 研究組織

- (1)研究代表者
 佐藤 修一 (SATO, Shuichi)
 法政大学・理工学部・教授
 研究者番号:30425409
- (2)研究分担者
 高橋 竜太郎 (TAKAHASHI, Ryutaro)
 国立天文台・重力波プロジェクト推進室・助教
 研究者番号:60270451
- (3)連携研究者
 川村 静児(KAWAMURA, Seiji)
 東京大学・宇宙線研究所・教授
 研究者番号:40301725