

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06284

研究課題名（和文）超高精度光格子時計による新たな工学・基礎物理学的応用の開拓

研究課題名（英文）Investigation of novel engineering and scientific applications of ultra-precise optical lattice clocks

研究代表者

香取 秀俊（Katori, Hidetoshi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：30233836

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 469,520,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、19桁の相対不確かさの光格子時計実現の課題解明と最適原子種の選定を行うとともに、原子時計による基礎物理学探索と工学応用に関する先駆的研究を展開した。有力候補の4原子種について、Cd原子の魔法波長の決定、Sr/Yb/Hgの周波数計測の整合性の検証、Sr光格子時計の実効魔法条件の決定等、実験的評価を行った。原子の運動制御性、高次/多重極分極効果、レーザー入手性・制御性などの総合的な検討から、Srを最適原子種と定め、2台の可搬型・光格子時計を開発した。これらを東京スカイツリーで運用し、従来の宇宙実験に比肩する5桁の精度で重力赤方偏移の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実証した18桁精度の小型・可搬な光格子時計は、局所位置不変性など相対論検証の実験可能性を一気に広げる。スカイツリーを使った実証実験の成果は、理論家の興味を喚起するとともに、メディアにも大きく取り上げられ、成果のアウトリーチとして有効に機能した。このような可搬時計は、従来手法では困難な大陸間での高精度時計比較を可能とし、SI秒の再定義に貢献する一方、1cmの相対論的測位を可能とする重力ポテンシャル計として機能し、将来の火山学、地震学に新しい観測手段を提供することが期待される。

研究成果の概要（英文）：We have experimentally investigated Sr, Yb, Hg, and Cd based clocks to find the most promising atomic element that leads to an ultraprecise clock with 19 digits precision. In particular, we have determined the magic wavelength for Cd atom, tested a “loop closure relation” for the frequency ratio of Sr/Yb/Hg-based clocks to prove the consistency of frequency ratio measurements, and determined the “operational magic condition” for Sr clock. From the viewpoints of controllability of atomic motion, higher-order/ and multipolar polarization effects of atoms, the black-body radiation shift, and maintainability of lasers, we take Sr to be the most favorable atomic candidate and developed transportable clocks. These clocks were transported to Tokyo Skytree, which provided the clocks with a height difference of 450 m. We have tested the gravitational red shift with 5 digits precision, which is competitive to that obtained in space experiments.

研究分野：量子エレクトロニクス

キーワード：光格子時計 魔法波長 相対論的測地 原子時計

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光格子時計は、本研究代表者が2001年のFrequency Standard and Metrology Symposiumで提案し、東大グループが2003年に最初の検証実験を、2004年には東大・産総研チームで初の絶対周波数測定を行った純国産の原子時計手法である。2005-2006年にかけてはJILA(米)、LNE-SYRTE(仏)の標準研究所で同手法の追試実験が行われた。2006年、日・米・仏グループの良好なデータの整合性を受けて、「秒の再定義」の有力候補である「秒の二次表現」の一つとして、国際度量衡委員会で採択された。この頃より、最適原子種の探索や18桁精度を目指した世界的な研究開発が精力的に始まった。

本研究提案を構想した2015年は、我々を含む世界の3グループで、18桁精度の光格子時計が実験室ベースの装置で実現し、2001年以来の時計開発の到達点が見えた年であった。今後の大きな課題は、光格子時計手法の実現に最適な原子種を決定しその精度の限界を見極めること、高精度原子時計に立脚した基礎物理学的/工学的応用の探索であった。

2. 研究の目的

本邦発の原子時計技術による「秒の再定義」へ向けた国際貢献を視野に入れ、①光格子時計の基礎物理を解明し、相対不確かさ $\Delta\nu/\nu_0 \approx 10^{-19}$ の実現の道筋をつけること、高精度原子時計を使った②基礎物理学の探索と③工学応用に関する先駆的研究を行うことを目的とした。

①光格子時計の基礎物理の解明と深化では、光格子時計構築の候補である複数の原子種(Sr、Yb、Hg、Cd)で時計を構築し、詳細な物理パラメータを決定することで、最適原子種を実験的に決定することを目指した。特に、光格子ポテンシャルの高次効果-トラップ光と原子の多重極相互作用と、原子の超分極効果を高精度に決定し、電気双極子相互作用を含めた全光格子ポテンシャルの不確かさを 10^{-19} に抑える動作点「実効的魔法条件」[H. Katori, et al., Strategies for reducing the light shift in atomic clocks. Phys. Rev. A 91, 052503 (2015)]が存在することを実証する。この一方、中空ファイバー中の魔法光格子を用いるミニチュア・超放射レーザーや、中空ファイバー中の魔法周波数ガイドによる新しい原子干渉計手法などを実験的に検討し、光格子時計が基礎をおく魔法周波数トラップの新しい応用、研究シーズの探索を行う。

②高精度周波数計測の基礎物理学への展開では、①で構築した超高精度原子時計の周波数比較によって、相対論の検証や基礎物理の探索を行い、テーブルトップ基礎物理実験の先駆けとなることを目指した。

③高精度原子時計の工学的応用の展開では、原子時計の重力赤方偏移を使った「重力ポテンシャル計」を実証し、これを使う相対論的測地の応用や社会実装の可能性を検討する。

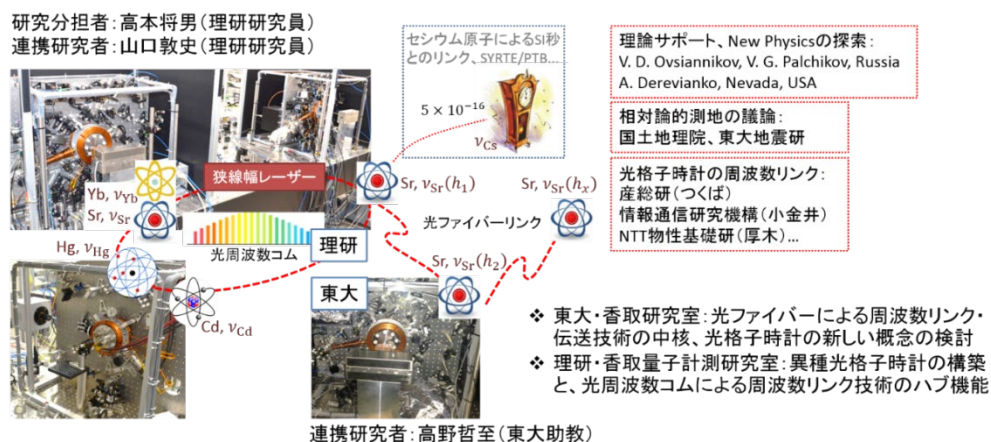


図1: 東大、理研の2つの拠点で、それぞれの学生中心、研究員中心のメンバー構成の特長を生かす研究を推進した。(提案時の研究メンバー、共同研究者を記載)

3. 研究の方法

研究代表者の所属する

- 東京大学・香取研究室(文京区・本郷)
- 理化学研究所・香取量子計測研究室(埼玉県・和光市)

を研究の拠点として(図1)、先行したERATO香取創造時空間プロジェクト(2010.10-2016.03)の光格子時計群を継承、発展させることで実験を進めた。東大では、中空ファイバー実験等、光格子時計の萌芽的研究を行い、理研では、高度なエンジニアリングが必要となる実験を中心に行った。

4. 研究成果

①**光格子時計の最適原子種の探索**: 光格子時計では、レーザーの偏光依存性を低減するために、電子の軌道角運動量がゼロ ($J = 0$) となる 2 状態 $^1S_0 \rightarrow ^3P_0$ をクロック遷移に使う。この結果、アルカリ土類金属原子など、最外殻軌道まで全て電子で満たされた原子が候補になる。表 1 に光格子時計の手法を適用可能な原子種をまとめた。 $J = 0 \rightarrow 0$ 遷移は禁制なので、核スピンをもつ同位体を使って、 $J = 1$ 状態と超微細混合することでクロック遷移を僅かに電気双極子許容にする。それぞれの原子の特長の見極めが必要なため、最適原子の選定は実験的アプローチが不可欠である。

表 1 の原子候補の中で、 ^{25}Mg は複雑なレーザー冷却の構成が必要で、 ^{43}Ca は自然存在比が 0.14% しかないので除外すると、残る有力候補は、 ^{87}Sr 、 ^{111}Cd 、 ^{171}Yb 、 ^{199}Hg である。重い原子ほどスピン軌道相互作用が大きく 2 段階冷却に用いる $^1S_0 \rightarrow ^3P_1$ 遷移のスピン禁制が弱くなる結果、レーザー冷却温度が上昇する。一方、軽い原子では遷移の禁制が強過ぎて効率的な冷却ができない。この中間に位置する Sr は、原子運動の制御の観点では最適解である。

可視域から近赤外のスペクトルをもつ原子では、その波長域での分極率が大きいので、室温の黒体輻射 (中心波長は約 10 μm) による光シフト (黒体シフト) が大きい。一方、紫外域にスペクトルをもつ原子を使えば、赤外域の分極率を小さくできるので、黒体シフトが低減する。この結果、Mg、Cd、Hg を使えば、Yb や Sr に対して黒体シフトが 1 桁低減する (表 1)。

19 桁の精度を狙うと、光シフトの超分極効果と多重極効果の高次項の寄与が支配的になる。分極率が小さく黒体シフトで有利な原子では、魔法波長での分極率 $\alpha^{E1}(\omega_m)$ も小さいものの、一般に原子温度が高く、原子の捕獲に強い光電場 $|\mathbf{E}(\omega, \mathbf{r})|^2$ が必要になる。この結果、 $|\mathbf{E}(\omega, \mathbf{r})|^4$ に比例する超分極効果が顕著になる。この電場強度を低減するには、効果的な冷却が可能な原子種が有利になる。これらのトレードオフから、可視光を使って極低温まで冷やせる Sr 原子を現時点での最適原子種と判断した。

光格子時計の安定動作や実用化の観点からは、高信頼な部品の入手性は極めて重要である。可視から近赤外のスペクトルをもつ Sr では、信頼性の高い半導体レーザーと光ファイバーなどの光学部品を利用可能なため、現時点では合理的な第一選択肢である。この結果、②、③で述べるラボ外運用可能な可搬時計が実現した。

原子	^{25}Mg	^{43}Ca	^{87}Sr	^{111}Cd	^{199}Hg	^{171}Yb
核スピン	5/2	7/2	9/2	1/2	1/2	1/2
魔法波長 (nm)	468	735	813	420	361	759
クロック波長 (nm)	458	660	698	332	266	578
1 次冷却波長 (nm)	285	423	461	229	185	399
2 次冷却波長 (nm)	457	657	689	326	254	556
冷却温度* (μK)	1.8	0.5	0.2	1.6	31	4.4
黒体シフト** (10^{-16})	-3.9	-26	-55	-2.8	-1.6	-26
超分極率 ($\mu\text{Hz}/(\text{kW}/\text{cm}^2)^2$)	---	500	-200	-5	-2	-300

表 1: 光格子時計が適用可能な原子種のリスト。(*)光子反跳温度 E_R/k_B または第 2 段階冷却の Doppler 温度 $\hbar\gamma/(2k_B)$ で算出。(**)300 K での黒体シフトのクロック周波数に対する相対値。

①の研究項目に関連する主要な論文成果は以下の通り。

①-1、【A. Yamaguchi, et al., Narrow-line Cooling and Determination of the Magic Wavelength of Cd, Phys. Rev. Lett. 123, 113201 (2019)】では Cd 原子の魔法波長を世界で初めて実験的に決定した。

①-2、【N. Ohmae, et al., Direct measurement of the frequency ratio for Hg and Yb optical lattice clocks and closure of the Hg/Yb/Sr loop, Opt. Express 28, 15112 (2020)】では、3 種の光格子時計について SI 秒の不確かさを超える精度で周波数比 $\nu_{\text{Hg}}/\nu_{\text{Sr}}$ 、 $\nu_{\text{Yb}}/\nu_{\text{Hg}}$ 、 $\nu_{\text{Sr}}/\nu_{\text{Yb}}$ を決定し、 $\nu_{\text{Hg}}/\nu_{\text{Sr}} \times \nu_{\text{Yb}}/\nu_{\text{Hg}} \times \nu_{\text{Sr}}/\nu_{\text{Yb}} - 1 = 0.4(1.3) \times 10^{-16}$ を実証した。これは SI 秒の実現精度を上回る光時計の評価法として知られる” Loop closure relation” の初めての適用として意義ある成果である。このほか、【T. Takano, R. Mizushima, and H. Katori, Precise determination of the isotope shift of ^{88}Sr - ^{87}Sr optical lattice clock by sharing perturbations, Appl. Phys. Exp. 10, 072801 (2017)】では 17 桁の精度で異種同位体の時計比較を行い、同位体シフトを高精度に決定した。この成果は、2017 年の CIPM の勧告値にも寄与した。同論文は APEX Spotlights に選定されている。

①-3、【I. Ushijima, M. Takamoto, and H. Katori, Operational Magic Intensity for Sr Optical Lattice Clocks, Phys. Rev. Lett. 121, 263202 (2018)】では、光格子中での多重極相互作用の効果と超分極効果を相殺する動作点「実効的魔法条件」を実験的に決定した。これは 18 桁超の光格子時計を実現する鍵となる概念である。

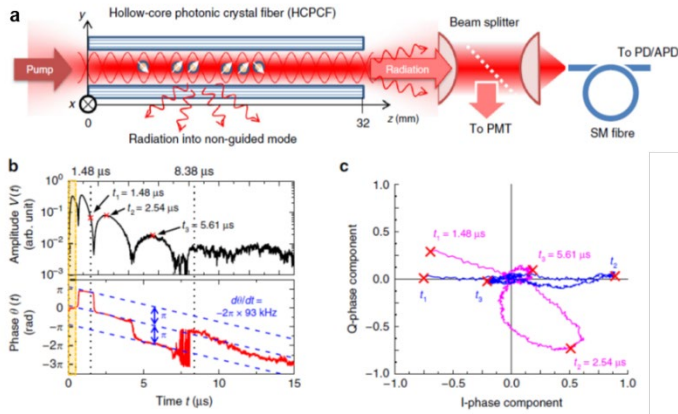
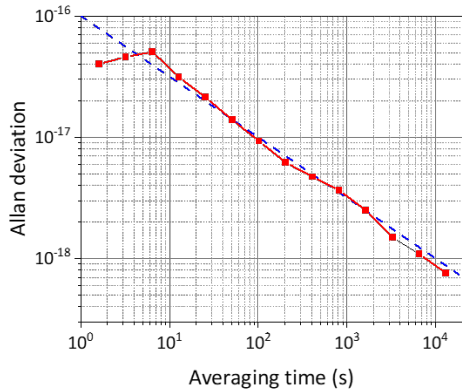


図 2：中空の光ファイバー中で魔法波長・光格子に捕獲された原子からの超放射の観測。a、実験系。超放射光をシングルモード光ファイバーに結合した。ポンプ光とのヘテロダイン信号から、シングルショットで超放射光の振幅(b)、位相(c)の時間的変化を観測することに成功した。

【S. Okaba, et al., Superradiance from lattice-confined atoms inside hollow core fibre, Commun. Phys. 2, 136 (2019)】では、魔法波長・光格子を中空コア光ファイバー中での原子トラップに適用し、原子の超放射を観測した(図 2)。この実験プラットフォームは、将来の光格子時計の小型化や、超放射レーザーの開発に役立つ可能性がある。また、【T. Akatsuka, T. Takahashi, and H. Katori, Optically guided atom interferometer tuned to magic wavelength, Appl. Phys. Exp. 10, 112501 (2017).】(APEX Spotlights に選定)では、魔法波長ガイドによる原子波干渉計の提案、実証を行った。

①-4、【S. Okaba, et al., Superradiance from lattice-confined atoms inside hollow core fibre, Commun. Phys. 2, 136 (2019)】



①-5、高安定度な時計レーザー開発による、時計比較安定度の向上。この結果、約 4 時間の測定時間で 8×10^{-19} の安定度を達成した(図 3)。

図 3: 2 台の可搬型光格子時計の安定度。高安定な時計レーザーを開発し、400ms のラムゼー分光で同期比較することで、 $1 \times 10^{-16}(\tau/s)^{-1/2}$ の安定度を得た。この結果、16,000 秒の平均時間で 8×10^{-19} の安定度に到達する。このような高安定度比較は、19 桁精度の時計評価に不可欠である。

②高精度周波数計測の基礎物理学への展開：光格子時計で実現される高精度な原子スペクトルの計測によって、局所位置不変性など相対論検証への展開が期待される。従来、超高精度な原子時計の実現は、環境の整備された実験室に限定されていたが、③で詳述するように、光格子時計の小型化・可搬化により実験室外での運用が可能となれば、基礎物理学の探索の対象範囲は一気に拡大する。

【M. Takamoto, et al., Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks, Nat. Photon. 14, 411 (2020).】では、18 桁の光格子時計の実験室外での運用実証として、東京スカイツリーに運び 450m の高低差を与えた光格子時計で重力赤方偏移の検証実験を行った。かつてこのような相対論検証の場は、ロケットや衛星を使って 1 万 km もの高低差を付けられる宇宙空間だった。時計精度を 1 万倍向上させた結果、同レベルの実験が km にも満たない地表の高低差で実験可能になる。このスカイツリー実験は、わずかな高低差で生じる相対論的效果を、次世代のセンシングに応用する最初の一步である。この成果は、100 件以上の報道がされ研究成果の効果的なアウトリーチとなるとともに、多くの理論家の興味を喚起した。例えば、Y. V. Stadnik はこの実験結果をもとに、基礎物理定数の恒常性についての新しい上限を付けた。

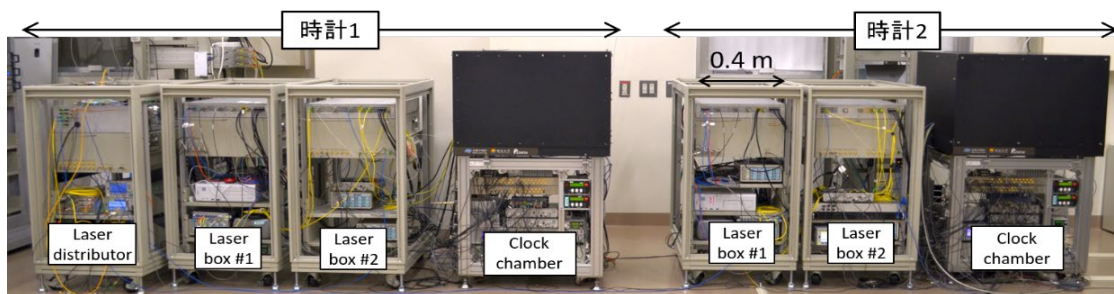


図 4: 2 台の光格子時計の全景。時計本体は $W75 \times D70 \times H60$ (cm^3) の磁気シールド部内に設置した。これを運転するのに必要な Laser box #1, 2 を合わせ時計 1 台の総体積は約 1000 リットル。

③可搬型光格子時計の開発と相対論的測位のフィールド実証: 従来の光格子時計では、それを構成するレーザー群、その制御回路、光学系によって、40 m²の実験室を埋め尽くすサイズで運用されていた。レーザー溶接によって調整箇所を排除した半導体レーザーを開発し、一方、島津製作所との共同研究で電子回路の小型化を行い、インターネット経由でリモート制御可能な時計を開発した (図 4)。

図 5 に時計の物理パッケージを示す。多段のペルチェ素子による冷却で、原子分光時の環境を冷却する黒体輻射シールドで、黒体シフトを低減した。この結果、Sr 原子のレーザー冷却温度が低く、かつ双極子分極率が大きいという特徴は、高次の光シフトを低減する利点になった。

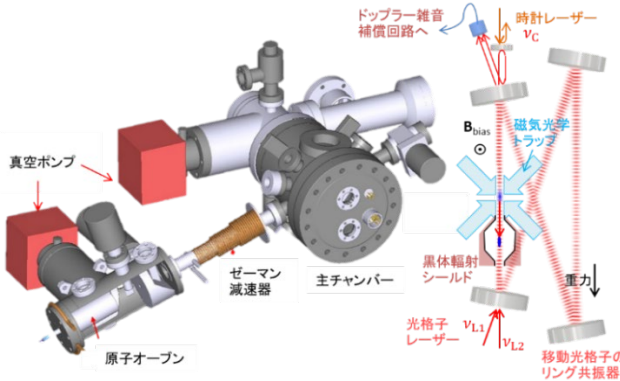


図 5: 磁気シールド内の光格子時計の真空系 (左) と、主チャンバーに構築された光学系 (右)。小型イオンポンプ付きの非蒸発型ゲッター (NEG) ポンプで 10⁻⁸ Pa 超の超高真空を実現する。外形 152 mm の主チャンバー内には磁気光学トラップされた極低温原子を捕獲し、黒体輻射シールドに輸送する移動光格子を構成。

一般相対性理論によれば、重力によって時間の進みが遅れる。これは重力赤方偏移と呼ばれ、重力加速度 g の地表近傍で高低差 $\Delta h = h_2 - h_1$ にある 2 台の時計では、

$$\Delta\nu/\nu = g\Delta h/c^2 \approx 1.1 \times 10^{-18} \Delta h/\text{cm}$$

だけ周波数が変化する。この結果、東京スカイツリーの地上階に設置した時計 1 から、地上 450m の展望回廊に設置した時計 2 を観測すると、原子のスペクトルは 21.18 Hz 高周波数側にシフトする (図 6)。

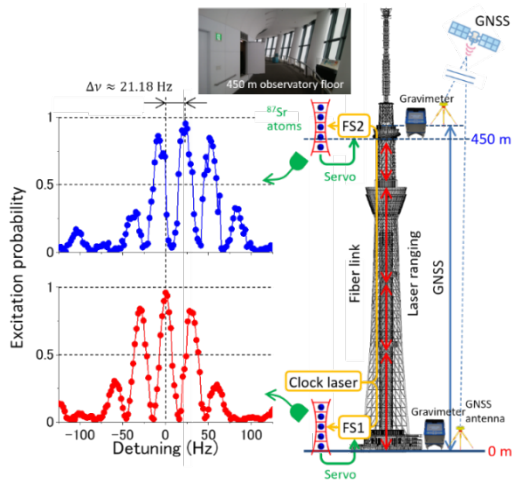


図 6: 東京スカイツリーでの時計比較。地上階、450m に時計を設置し、光ファイバーでクロック信号を伝送した。

スカイツリーで 2 台の時計の重力赤方偏移を測ったのち [図 7 (a)], 実験室に持ち帰って同じ高さに設置して周波数が 18 桁目まで一致することを確認した [図 7 (b)]。この結果を、従来の測量によって求めた重力ポテンシャル差 ($g\Delta h$) と比較することで、重力赤方偏移の予言を 5 桁の精度で検証した。

こうした時計の比較で測地を行う手法は、相対論的測地と呼ばれる。18 桁の精度をもつ光格子時計では、1 cm の高低差に対応する重力シフトを計測可能である。

一般に、水準測量の累積誤差は、路線長 S に対して $2.5\sqrt{S}/\text{km mm}$ とされ、20 km 以上の路線長なら相対論的測地が有利になる。このような累積誤差が生じない相対論的測地の特長は、長距離の比高で顕著になる。ヨーロッパでは、ドイツ、フランス、イギリスの光格子時計を 2000km 超の光ファイバーで繋ぎ、次世代の秒の定義の共有と全欧州圏での標高体系の統一を狙うプロジェクトが進行している。

数日から数週間の測定時間がかかる水準測量と違って、時計を使った相対論的測地は、時々刻々と変わる動的な情報を計測可能である。例えば、マグマの上昇にともなう山腹の上昇が 1 cm/10h で起こるなら、例えば図 3 に示した、現状の光格子時計で検出も可能である。

実時間性をもつ測量として現在使われているのが、GNSS (全地球測位システム) であるが、衛星測位では大気擾乱による数 cm の不確かさが不可避である。本研究成果による相対論的測地は、このような従来手法との相補的な運用が期待される。

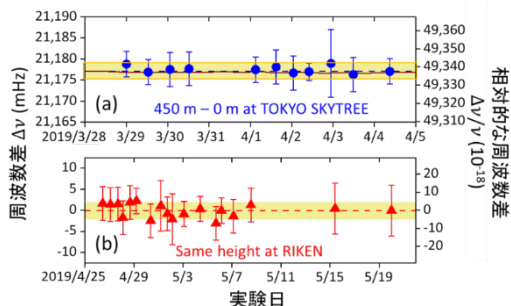


図 7: 時計比較の実験結果。左軸は地上階と 450m に設置した 2 台の時計のクロック周波数差 $\Delta\nu$ 。右軸は、クロック周波数 ν に対する相対値 $\Delta\nu/\nu$ 。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ohmae Noriaki, Takamoto Masao, Takahashi Yosuke, Kokubun Motohide, Araki Kuniya, Hinton Andrew, Ushijima Ichiro, Muramatsu Takashi, Furumiya Tetsuo, Sakai Yuya, Moriya Naoji, Kamiya Naohiro, Fujii Kazuaki, Muramatsu Ryuya, Shiimado Toshihiro, Katori Hidetoshi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Transportable Strontium Optical Lattice Clocks Operated Outside Laboratory at the Level of 10-18 Uncertainty	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Quantum Technologies	6. 最初と最後の頁 2100015-1, -10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qute.202100015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takamoto Masao, Ushijima Ichiro, Ohmae Noriaki, Yahagi Toshihiro, Kokado Kensuke, Shinkai Hisaaki, Katori Hidetoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Photonics	6. 最初と最後の頁 411 ~ 415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41566-020-0619-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohmae Noriaki, Bregolin Filippo, Nemitz Nils, Katori Hidetoshi	4. 巻 28
2. 論文標題 Direct measurement of the frequency ratio for Hg and Yb optical lattice clocks and closure of the Hg/Yb/Sr loop	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 15112 ~ 15121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.391602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akatsuka Tomoya, Hashiguchi Koji, Takahashi Tadahiro, Ohmae Noriaki, Takamoto Masao, Katori Hidetoshi	4. 巻 103
2. 論文標題 Three-stage laser cooling of Sr atoms using the 5s5pP23 metastable state below Doppler temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 23331-1, -11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.103.023331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akatsuka Tomoya, Goh Takashi, Imai Hiromitsu, Oguri Katsuya, Ishizawa Atsushi, Ushijima Ichiro, Ohmae Noriaki, Takamoto Masao, Katori Hidetoshi, Hashimoto Toshikazu, Gotoh Hideki, Sogawa Tetsuomi	4. 巻 28
2. 論文標題 Optical frequency distribution using laser repeater stations with planar lightwave circuits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 9186 ~ 9197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.383526	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohmae N., Katori H.	4. 巻 90
2. 論文標題 626-nm single-frequency semiconductor laser system operated near room temperature for mW-level second-harmonic generation at 313 nm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 063201-1, -5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5096368	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi A., Safronova M. S., Gibble K., Katori H.	4. 巻 123
2. 論文標題 Narrow-line Cooling and Determination of the Magic Wavelength of Cd	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 113201-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.113201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashiguchi Koji, Akatsuka Tomoya, Ohmae Noriaki, Takamoto Masao, Katori Hidetoshi	4. 巻 100
2. 論文標題 Frequency measurement on the 5s5p ² P ₂₃ 7s4d ² D ₃₃ transition of Sr ⁸⁸ atoms using the photon-momentum-transfer technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 042513-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.042513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okaba Shoichi, Yu Deshui, Vincetti Luca, Benabid Fetah, Katori Hidetoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Superradiance from lattice-confined atoms inside hollow core fibre	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0237-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nemitz Nils, A. A. Yorgensen, Yanagimoto Ryotatsu, Bregolin Filippo, Katori Hidetoshi	4. 巻 99
2. 論文標題 Modeling light shifts in optical lattice clocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 033424-1, -13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.033424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohmae Noriaki, Sakama Shunsuke, Katori Hidetoshi	4. 巻 139
2. 論文標題 High-stability Optical Frequency Transfer with All-Fiber Architecture for Optical Lattice Clocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 126 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.126	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Ohmae, S. Sakama, and H. Katori	4. 巻 102
2. 論文標題 High-stability optical frequency transfer with all-fiber architecture for optical lattice clocks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electron. Comm. Jpn.	6. 最初と最後の頁 43,48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ushijima Ichiro, Takamoto Masao, Katori Hidetoshi	4. 巻 121
2. 論文標題 Operational Magic Intensity for Sr Optical Lattice Clocks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 263202-1, -4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.263202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagimoto Ryotatsu, Nemitz Nils, Bregolin Filippo, Katori Hidetoshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Decomposed description of Ramsey spectra under atomic interactions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 012704-1, -6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.98.012704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 I.Ushijima, M.Takamoto and H. Katori	4. 巻 ECT-018
2. 論文標題 高次光シフト評価によるSr光格子時計の実効魔法光格子強度の決定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Paper of Technical Meeting on Electronic circuits	6. 最初と最後の頁 1,3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akatsuka Tomoya, Takahashi Tadahiro, Katori Hidetoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Optically guided atom interferometer tuned to magic wavelength	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 112501-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.112501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takano Tetsushi, Mizushima Ray, Katori Hidetoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Publisher's Note: "Precise determination of the isotope shift of 88Sr?87Sr optical lattice clock by sharing perturbations"	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 072801-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.089201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohmae Noriaki, Kuse Naoya, Fermann Martin E., Katori Hidetoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 All-polarization-maintaining, single-port Er: fiber comb for high-stability comparison of optical lattice clocks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 062503-1-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.062503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takano Tetsushi, Takamoto Masao, Ushijima Ichiro, Ohmae Noriaki, Akatsuka Tomoya, Yamaguchi Atsushi, Kuroishi Yuki, Munekane Hiroshi, Miyahara Basara, Katori Hidetoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Geopotential measurements with synchronously linked optical lattice clocks	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Photonics	6. 最初と最後の頁 662 ~ 666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nphoton.2016.159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ovsianikov V. D., Marmo S. I., Palchikov V. G., Katori H.	4. 巻 93
2. 論文標題 Higher-order effects on the precision of clocks of neutral atoms in optical lattices	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 43420-1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.93.043420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計92件（うち招待講演 65件 / うち国際学会 45件）

1. 発表者名 M. Takamoto, N. Ohmae, I. Ushijima, H. Katori
2. 発表標題 Development of transportable optical lattice clocks for geodetic applications
3. 学会等名 CLEO 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Katori
2. 発表標題 Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift
3. 学会等名 51st Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Takamoto
2. 発表標題 Development of Transportable Optical Lattice Clocks and Test of General Relativity
3. 学会等名 2020 NCHU-RIKEN Workshop on Devices and Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Katori
2. 発表標題 Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift
3. 学会等名 OSA Quantum 2.0 Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤
3. 学会等名 量子ICTフォーラム / 合同技術推進委員会(QKD、QMS) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 可搬型光格子時計による東京スカイツリーでの相対論検証実験と測地応用に向けて
3. 学会等名 文部科学省 第3回研究法人サイエンスカフェ (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計 ~ 時空のゆがみを見る時計 ~
3. 学会等名 第16回 日立財団科学技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 Curiosity-drivenなサイエンスから実用化へ
3. 学会等名 日本電子株式会社経営交流会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤
3. 学会等名 第344回科学技術展望懇談会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 セイコーソリューションズ 技術者フォーラム 特別講演
3. 学会等名 セイコーソリューションズ 技術者フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Katori
2. 発表標題 Optical Lattice Clocks: Choice of atomic elements for science and practicality
3. 学会等名 International Workshop on Forefront Optical Lattice Clocks: from Curiosity-Driven Research to Real-World Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 I. Ushijima
2. 発表標題 Transportable optical lattice clocks with 18-digit precision
3. 学会等名 TCFS-Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 Development of an on-vehicle optical lattice clock for geodetic applications
3. 学会等名 第8回RAPシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楊暁達
2. 発表標題 光格子時計の可搬化に向けたSr原子のトラップと時計遷移分光
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井弘光, 赤塚友哉, 小栗克弥, 石澤淳, 高本将男, 牛島一朗, 大前宣昭, 田中愛幸, 香取秀俊, 後藤秀樹, 寒川哲臣
2. 発表標題 厚木-和光間光格子時計ネットワークを用いた遠隔標高差測定
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Ohmae, M. Takamoto, I. Ushijima, T. Yahagi, K. Kokado, H. Shinkai, H. Katori
2. 発表標題 Transportable optical lattice clocks to test gravitational redshift in a broadcasting tower
3. 学会等名 55th Rencontres de Moriond 2021 on Gravitation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Current Status of Optical Lattice Clocks at RIKEN & UT
3. 学会等名 IFCS-EFTF2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 光格子時計-時計の18桁目を読む-
3. 学会等名 超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会 (PIF) 2019年度 定期総会講演会・展示会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Magic conditions for optical lattice clocks to operate at 10-19 uncertainty
3. 学会等名 CLEO/EUROPE-EQEC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 光格子時計
3. 学会等名 第6回板橋区-光学の板橋: 先進フォトニクス技術の産学官連携事例- (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical lattice clocks and their applications---From curiosity-driven research (1999) to practical devices---
3. 学会等名 ICPEAC Deauville 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical lattice clocks---From curiosity-driven research to practical devices---
3. 学会等名 日英量子センシング・計測研究ワークショップ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical lattice clocks and their field operation
3. 学会等名 Physics of fundamental Symmetries and Interactions - PSI2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 光格子時計の小型・高性能化, 現状と展望
3. 学会等名 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「宇宙量子エレクトロニクス」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 光格子時計が拓く新たな時空間情報基盤
3. 学会等名 量子ICTフォーラム2019技術シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical lattice clocks “From curiosity-driven research to practical devices
3. 学会等名 QUANTUM TECHNOLOGY SEMINAR ~How collaboration of Japanese and Danish researchers is contributing to current and future innovation ~ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift
3. 学会等名 ENS/UTokyo WS on Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 時空のゆがみを見る時計 - 光格子時計 -
3. 学会等名 第42回ATI 公開フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 300 億年に1 秒しかずれない時計 『はかる』を極める 21世紀の計量
3. 学会等名 2019年度日本物理学会公開講座（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Transportable Optical Lattice Clocks to Test Gravitational Redshift
3. 学会等名 EU-USA-Japan International Symposium on Quantum Technology (ISQT) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 20年目の光格子時計-Curiosity driven scienceから、小型、高性能化、社会実装へー
3. 学会等名 光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) 第2回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香取 秀俊
2. 発表標題 時空のゆがみを見る時計：Curiosity drivenなサイエンスから社会実装へ
3. 学会等名 第24回 豊田理研懇話会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Magic conditions for optical lattice clocks to operate at 10^{-19} uncertainty
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Magic conditions for optical lattice clocks to operate at 10^{-19} uncertainty
3. 学会等名 Kavli IPMU Visions for table-top dark matter experiments (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Magic conditions for optical lattice clocks to operate at 10^{-19} uncertainty
3. 学会等名 The 13th Japan-US Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Connecting optical lattice clocks at 10^{-18} uncertainty
3. 学会等名 The 670th Wilhelm and Else Heraeus-Seminar, Fundamental Constants: Basic Physics and Units (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical Lattice Clocks: Seeking for a Future Second
3. 学会等名 DENMARK AND JAPAN STI SEMINAR QUANTUM TECHNOLOGY CREATING THE FUTURE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計：新しい時間をつくる、使う
3. 学会等名 電子情報通信学会 システムナノ技術に関する特別研究専門委員会(SNT)、第1回研究会「ナノ光技術の最前線～最先端アカデミアからベンチャー企業まで～」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 新しい時間をつくる、使う - 光格子時計 -
3. 学会等名 日本学術会議公開シンポジウム「新しい国際単位系(SI)重さ、電気、温度、そして時間の計測と私たちの暮らし」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計：新しい時間をつくる、使う
3. 学会等名 光技術動向セミナー(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計：時空のゆがみを見る時計
3. 学会等名 大人が楽しむ科学教室・千葉市科学フェスタ2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計：時空のゆがみを見る時計
3. 学会等名 富士山測候所を活用する会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計：新しい時間をつくる、使う
3. 学会等名 I S & I 研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Ushijima, M. Takamoto and H. Katori
2. 発表標題 Operational magic intensity of Sr optical lattice clocks
3. 学会等名 7th International Workshop on Ultra-cold Group 2 Atoms（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牛島一朗、高本将男、香取秀俊
2. 発表標題 高次光シフト評価によるSr光格子時計の実効魔法光格子強度の決定
3. 学会等名 電子回路研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 光格子時計による超精密計測の実現とその応用
3. 学会等名 第11回SAP理研シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masao Takamoto, Ichiro Ushijima, Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Development of cryogenic strontium optical lattice clocks and their applications
3. 学会等名 Frontiers in Optics/Laser Science 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masao Takamoto, Ichiro Ushijima, Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Geopotential measurements with synchronously linked optical lattice clocks
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水嶋玲, 原田直輝, 香取秀俊
2. 発表標題 イッテルビウム光格子時計の同位体シフト測定
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会(2019年)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口敦史
2. 発表標題 カドミウム光格子時計の開発
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡場翔一, 香取秀俊
2. 発表標題 中空ファイバー中における冷却Sr原子集団の超放射
3. 学会等名 第6回RAPシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoichi Okaba, Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Super-radiance in a hollow-core photonic crystal fiber
3. 学会等名 13th US-Japan Joint Seminar (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Yamaguchi
2. 発表標題 Laser cooling of cadmium towards an optical lattice clock
3. 学会等名 Novel optical clocks in atoms and nuclei (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 (Plenary talk) Optical Lattice Clocks: Reading the 18th Decimal Places of Frequency
3. 学会等名 SPIE PHOTONIC WEST LASE 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical Lattice Clocks: Seeking for a Future Second
3. 学会等名 JAPAN-DENMARK 150TH ANNIVERSARY YEAR OF DIPLOMATIC RELATIONSHIP, PHOTONICS CREATING THE FUTURE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Connecting optical lattice clocks at 10^{-18} uncertainty
3. 学会等名 The 24th Congress of the International Commission for optics, ICO-24 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical lattice clocks and applications
3. 学会等名 ICOLS 2017 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON LASER SPECTROSCOPY (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 (Keynote Address) Reading 18th decimal places of time with optical lattice clocks: miniaturization and new application
3. 学会等名 MEMS Engineer Forum (MEF) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計 - 時空のゆがみを見る時計 -
3. 学会等名 サイテックサロン (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 新しい時間をつくる、使う
3. 学会等名 弾性波素子技術第150委員会 第151回 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の考案、実証および高精度化
3. 学会等名 第14回江崎玲於奈賞・第28回つくば賞・第27回つくば奨励賞、授賞式・受賞記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の現状と展開
3. 学会等名 光技術動向調査委員会、第1回委員会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牛島一朗
2. 発表標題 光格子時計の発展と応用
3. 学会等名 板橋区 I・NEXT会議（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Ohmae, N. Kuse, M. E. Fermann, and H. Katori
2. 発表標題 All-polarization-maintaining, single-port Er: fiber comb for high-stability frequency comparison of optical lattice clocks
3. 学会等名 IFCS-EFTF2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大前宣昭, 久世直也, Martin E. Fermann, 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の高安定比較のための低雑音エルビウムファイバコムの開発
3. 学会等名 電気学会電子回路委員会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noriaki Ohmae
2. 発表標題 Frequency comparison of optical lattice clocks
3. 学会等名 The 3rd Australia New Zealand Conference on Optics and Photonics (ANZCOP 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大前宣昭, 久世直也, M. E. Fermann, 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の高安定比較に向けた超低雑音全偏波保持エルビウムファイバコムの開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriaki Ohmae
2. 発表標題 Frequency comparison of optical lattice clocks
3. 学会等名 Fundamental Physics Using Atoms (FPUA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 光格子時計が実現する高精度周波数計測とその実用化に向けて
3. 学会等名 第33回先端光量子科学アライアンスセミナー「光周波数コム技術の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Takamoto, I. Ushijima, M. Das, H. Katori
2. 発表標題 Development of cryogenic Sr optical lattice clocks and their applications
3. 学会等名 URSI 2017 GASS (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 光格子時計による超精密計測の実現とその応用
3. 学会等名 第37回先端光量子科学アライアンスセミナー(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高本将男
2. 発表標題 光格子時計で刻む正確な秒とその応用について
3. 学会等名 第14回エクストリームフォトニクス研究会「アト秒から秒にいたるダイナミクス研究の最前線」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 忠宏, 小峯 裕介, 赤塚 友哉, 高本 将男, 香取 秀俊
2. 発表標題 中空コアファイバ中におけるストロンチウム時計遷移分光
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takahashi, T. Akatsuka, and H.Katori
2. 発表標題 Atom Interferometry with the Sr Optical Clock Transition Inside an Optical Guide
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and Photonics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水嶋玲, Filippo Bregolin, 柳本凌達, Asbjorn Jorgensen, Nils Nemitz, 牛島一朗, 大前宣昭, 高本将男, 香取秀俊
2. 発表標題 低温イッテルビウム光格子時計の高精度化へ向けた光シフト評価
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王昊宇, 牛島一朗, 高本将男, 香取秀俊
2. 発表標題 体積ブラッグ回折格子を用いたストロンチウム光格子時計の光シフト低減
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriaki Ohmae, Naoya Kuse, Martin Fermann, and Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Single-port Er fiber comb for high-stability frequency comparison of optical lattice clocks
3. 学会等名 2016 IEEE International Frequency Control Symposium (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Frequency ratios of optical lattice clocks at the 17th decimal place
3. 学会等名 47th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Frequency ratios of optical lattice clocks at the 17th decimal place
3. 学会等名 The 25th International Conference on Atomic Physics ICAP 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsushi Yamaguchi, Kurt Gibble, Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Narrow-line laser cooling of cadmium towards a portable optical lattice clock
3. 学会等名 The 25th International Conference on Atomic Physics ICAP 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nils Nemitz, Asbjorn Jorgensen, Ryotatsu Yanagimoto, Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Investigating lattice-light induced frequency shifts in an ytterbium optical lattice clock
3. 学会等名 The 25th International Conference on Atomic Physics ICAP 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 I. Ushijima, M. Das, M. Takamoto and H. Katori
2. 発表標題 Cryogenic optical lattice clocks towards an uncertainty of sub- 10^{-18} level
3. 学会等名 MPLP-2-16: Modern Problems of Laser Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Frequency ratios of optical lattice clocks at the 17th decimal place
3. 学会等名 Varying Constants and Fundamental Cosmology - VARCOSMOFUN ' 16 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山口 敦史, Kurt Gibble, 香取 秀俊
2. 発表標題 時計遷移分光に向けたCd原子のレーザー冷却III
3. 学会等名 日本物理学会2016年秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大前宣昭、久世直也、M. E. Fermann、香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の安定度向上に向けた全偏波保持・単一ポートエルビウムファイバコムの開発および安定度評価
3. 学会等名 第77回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 香取秀俊
2. 発表標題 18桁の精度が創出するイノベーションの将来予測、イノベーション創出の要諦
3. 学会等名 丸文財団設立20周年記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 (Plenary talk)Optical Lattice Clocks
3. 学会等名 Seeking for a New Second, International Symposium on Optomechatronic Technology (ISOT 2016 Itabashi Tokyo) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Optical Lattice Clocks: Reading the 18th decimal place of frequency
3. 学会等名 55th International Winter Meeting on Nuclear Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidetoshi Katori
2. 発表標題 Connecting optical lattice clocks at 10^{-18} uncertainty
3. 学会等名 geo-Q General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋忠宏, 小峯裕介, 赤塚友哉, 高本将男, 香取秀俊
2. 発表標題 光双極子ガイド内におけるストロンチウムを用いた原子干渉計の実現
3. 学会等名 日本物理学会2017年年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤塚友哉, 橋口幸治, 大前宣昭, 高本将男, 香取秀俊
2. 発表標題 光格子時計の高安定度化に向けた準安定状態ストロンチウム原子の中赤外分光および冷却
3. 学会等名 日本物理学会2017年年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高野哲至, 水嶋玲, 香取秀俊
2. 発表標題 交互運転による ^{88}Sr - ^{87}Sr 光格子時計の同位体シフト測定
3. 学会等名 日本物理学会2017年年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計19件

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 公益社団法人 日本表面真空学会	5. 総ページ数 1
3. 書名 表面と真空	

1. 著者名 山口敦史, 香取秀俊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社 サイエンス社	5. 総ページ数 7
3. 書名 数理科学	

1. 著者名 大前宣昭、高本将男、牛島一朗、香取秀俊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 一般社団法人 電子情報通信学会	5. 総ページ数 5
3. 書名 電子情報通信学会誌	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2023年
2. 出版社 東京書籍	5. 総ページ数 2
3. 書名 東京書籍 高校物理基礎教科書	

1. 著者名 高本将男、香取秀俊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1
3. 書名 量子センシングハンドブック	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2018年
2. 出版社 パリティ	5. 総ページ数 7
3. 書名 実用デバイスへと進化する光格子時計	

1. 著者名 田中愛幸・黒石裕樹・香取秀俊	4. 発行年 2018年
2. 出版社 地震ジャーナル	5. 総ページ数 11
3. 書名 光格子時計の地震・火山研究応用の可能性を探る	

1. 著者名 高本将男	4. 発行年 2018年
2. 出版社 パリティ	5. 総ページ数 5
3. 書名 光周波数比の精密計測と物理定数の恒常性	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2017年
2. 出版社 数理科学(サイエンス社)	5. 総ページ数 5
3. 書名 「量子計測」～光格子時計をつくる～ 特集「現代物理学の捉え方」- 研究者はいかに問題を設定しているか	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2017年
2. 出版社 電子情報通信学会誌(電子情報通信学会)	5. 総ページ数 8
3. 書名 イーサクロック どこでも光格子時計	

1. 著者名 玉川徹, 真貝寿明, 野田篤司, 香取秀俊, 牧野淳一郎, 戎崎俊一	4. 発行年 2017年
2. 出版社 科学(岩波書店)	5. 総ページ数 4
3. 書名 光格子時計による重力波検出	

1. 著者名 高野哲至, 高本将男, 黒石裕樹, 香取秀俊	4. 発行年 2017年
2. 出版社 応用物理(応用物理学会)	5. 総ページ数 5
3. 書名 光格子時計の遠隔周波数比較による標高差計測	

1. 著者名 大前宣昭	4. 発行年 2018年
2. 出版社 パリティ	5. 総ページ数 1
3. 書名 低雑音光コムによる光周波数の精密リンク	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2016年
2. 出版社 レーザー	5. 総ページ数 1
3. 書名 「自由な光時計の時代、応用フェーズに向かう光時計」(巻頭言)	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2016年
2. 出版社 応用物理	5. 総ページ数 4
3. 書名 「「光格子時計」を考え始めたころから今まで」(応用物理学業績賞受賞随想)	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2017年
2. 出版社 物理学会誌	5. 総ページ数 2
3. 書名 「光格子時計 - シュタルク効果をエンジニアリングする - 」	

1. 著者名 高野哲至、高本将男、牛島一朗、大前宣昭、赤塚友哉、山口敦史、香取秀俊	4. 発行年 2016年
2. 出版社 光学	5. 総ページ数 3
3. 書名 「光格子時計の理研 東大間光ファイバーリンク」	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2016年
2. 出版社 教育小景、中等教育資料	5. 総ページ数 2
3. 書名 研究を始めた頃のこと	

1. 著者名 香取秀俊	4. 発行年 2016年
2. 出版社 学士学会報	5. 総ページ数 5
3. 書名 前人未踏の時間を使いこなす	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 外部共振器型半導体レーザー装置	発明者 香取秀俊、高本将男	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 実用新案、出願2017-2358	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 原子干渉計およびその動作方法	発明者 香取秀俊	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-192223	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 輻射シールドおよびそれを利用する光格子時計	発明者 香取秀俊、高本将男、牛島一朗、俵丈展、横田秀夫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-7741	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 外部共振器型半導体レーザー装置	発明者 香取秀俊、高本将男	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 実用新案、特許番号：3212182	取得年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 実効的魔法周波数の光格子時計およびその動作方法	発明者 香取秀俊	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特許番号：6635608	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>香取研究室 東京大学 http://www.amo.t.u-tokyo.ac.jp/ 香取量子計測研究室 理化学研究所 http://www.riken.jp/research/labs/chief/qtm_metrol/ 光量子工学研究センター 時空間エンジニアリング研究チーム 理化学研究所 http://www.riken.jp/research/labs/rap/spacetime_eng/ U-Tokyo ARTICLES https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/en/articles/z0508_00097.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高本 将男 (TAKAMOTO Masao) (30401144)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員 (82401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	山口 敦史 (YAMAGUCHI Atsushi) (70724805)	国立研究開発法人理化学研究所・香取量子計測研究室・研究員 (82401)	
連携研究者	大前 宣昭 (OHMAE Nobuaki) (60615160)	国立研究開発法人理化学研究所・香取量子計測研究室・研究員 (82401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	牛島 一郎 (USHIJIMA Ichiro) (10749071)	国立研究開発法人理化学研究所・香取量子計測研究室・特別 研究員 (82401)	
連携研究者	高野 哲至 (TAKANO Tetsushi) (80773530)	東京大学大学院・工学系研究科・助教 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会	開催年
International Workshop on Forefront Optical Lattice Clocks: from Curiosity-Driven Reserch to Real-World Applications	2020年～2020年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関