

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21104004

研究課題名(和文) スピンメーザー法による原子 EDM の超高精度測定

研究課題名(英文) High-precision search for the atomic EDM by means of a novel nuclear spin maser scheme

研究代表者

旭 耕一郎 (Asahi, Koichiro)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80114354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 139,000,000 円、(間接経費) 41,700,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究は反磁性原子 ^{129}Xe を対象に、能動帰還型核スピンメーザーの手法を用いることによって、標準理論を超えるCPの破れに優れた感度を持つ観測量、電気双極子モーメント(EDM)の高精度探索を目指すものである。スピン歳差周波数精度を決定づける磁場変動を抑制するために、スピンメーザーを囲む磁場コイルの電流安定化、磁気シールドの強化、環境磁場変動補償コイルの導入を行い、 ^{129}Xe 周波数に対する決定精度7.9 nHzを実現した。加えて、擬似EDMシグナルを打ち消すための共存型 ^3He 核スピン磁束計の導入に成功した結果、現在の実験上限を1桁改善する ^{129}Xe 原子EDM探索の実現への見通しが得られた。

研究成果の概要(英文)：The present study aims at a high-precision search for the electric dipole moment (EDM) of ^{129}Xe atom which, if finite, would provide a clear evidence for the presence of new physics beyond the standard model of elementary particles. To this end, an active feedback nuclear spin maser, of which the present research group had contrived an idea and made a proof-of-principle experiment, was brought into operation for the precession frequency determination. Developments were done on the field current stabilization, magnetic shielding and environmental field compensation, and as a result the frequency precision of 7.9 nHz was achieved which would correspond to a factor of 5 improvement in the EDM sensitivity. In addition, a co-magnetometer taking advantage of simultaneous masing of ^3He spins was successfully incorporated to the ^{129}Xe maser system. By uniting all these achievements together, the basis for the ^{129}Xe EDM search experiment will soon be established.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理・原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：素粒子実験 原子核実験 原子EDM シッフモーメント CP対称性

1. 研究開始当初の背景

物質世界の成り立ちを説明する標準理論は、数多くの実験事実と適合し、その正当性が確実視される一方、より高いエネルギーで働く理論の低エネルギー極限における有効理論に過ぎないと考えることも可能である。実際、標準理論の粒子だけでは宇宙に存在するエネルギーのわずか 5%しか説明できない。さらに現在の宇宙が、物質に比べて反物質が際立って少ない物質優勢宇宙となっているという事実は、その根源的な理論に標準理論のもつ CP の破れと異なる機構の CP の破れが含まれていることを強く示唆する。

電気双極子モーメント (Electric dipole moment, EDM) は標準理論を超える CP 対称性の破れに感度のある物理量である。有限の EDM は時間 (T) 反転操作に対して不変ではないため、CPT 定理を仮定すると CP 対称性が破れていることになる。EDM からプローブされる CP 対称性の破れは、粒子のフレーバーを変えない CP の破れであるが、これは標準理論の枠組みでは非常に小さく、現在の実験技術ではとても観測にかからない。一方、標準理論を超える新たな理論、例えば超対称性理論では標準理論での EDM に比べて 4~5 桁大きい EDM の大きさを予言していて、あと一步の実験技術の向上で到達できる領域である。そのためもし EDM に対し有限の測定値が得られたならば、それは直ちに標準理論を超える新たな物理現象の証拠となる。

2. 研究の目的

本研究では、反磁性原子 ^{129}Xe を対象として、能動型核スピンメーザーの手法を用いて EDM 探索を行う。

EDM 探索は、中性子や原子核、電子、ミュオンなどスピンを持つ様々な系に対して世界中で精力的に行われており、それぞれ異なる CP の破れに起源を持つ。 ^{129}Xe のような反磁性原子の EDM は原子核の Schiff モーメントを通じて核子間相互作用における CP 非保存の効果が原子に現れるもので、中性子の EDM とは異なる起源の CP 非保存をプローブする。その現れ方は核構造に強く依存しており、これまでに ^{199}Hg 原子について探索が行われて $|d(^{199}\text{Hg})| < 0.31 \times 10^{-28}$ ecm の上限が与えられているが、核が異なる ^{129}Xe 原子に EDM が現れる可能性を追求することには重要な意味がある。本研究では、現在の ^{129}Xe 原子の実験上限値である $|d(^{192}\text{Xe})| < 4.1 \times 10^{-27}$ ecm から 1 桁の精度を改善し、 10^{-28} ecm の領域での EDM 測定を目指す。

EDM は、静磁場に対して平行・反平行に静電場を印加したときの ^{129}Xe 原子の核スピン歳差周波数に生じるわずかな差異から決定される。上記の 10^{-28} ecm の領域の EDM 測定のためには、静電場を 10 kV/cm の大き

さで印加した場合、 ^{129}Xe 原子の核スピン歳差周波数を 1 nHz 以下の精度で測定する必要がある。

3. 研究の方法

本研究では、歳差周波数の変化を超高精度で測定するため、能動帰還型核スピンメーザーという手法を用いて ^{129}Xe 原子の核スピン歳差運動の長時間の維持を実現する。能動帰還型核スピンメーザーの概念図を図 1 に示す。核磁化 (核スピンの統計平均ベクトルに磁気回転比 $g\mu_N$ を乗じたもの) の歳差運動がプローブレーザー光によって検出され、その信号はフィードバック機構を通じて ^{129}Xe スピン系へ位相が 90° ずれた回転磁場として帰還される。帰還磁場は核磁化を静磁場方向からさらに傾ける方向にトルクを与える結果、核磁化の横成分を増大させる。一方横スピン緩和は磁化の横成分を減少させるので、両者の効果がつり合うとき、横方向の磁化を一定に保ったコヒーレントな歳差運動の継続、すなわち核スピンメーザー発振が実現する。核スピンメーザー発振によって、長時間の歳差運動計測が可能となり、周波数精度の急速な統計的向上を達成することができる。

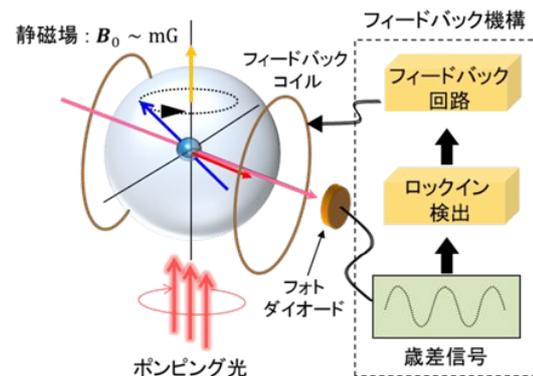


図 1. 能動帰還型核スピンメーザーの概念図

EDM 測定のように周波数の超高精度測定をする際には、磁場の制御および計測が本質的な役割を担う。

本研究で用いる能動核スピンメーザーは、超低磁場での発振が可能な新しいタイプのスピンメーザーである。能動帰還型メーザーでは磁化の歳差運動をレーザーを用いて光学的に検出するため、磁化とフィードバックコイルの間の結合を強くする必要がないため、従来型のスピンメーザーで必要であった数 G の印加静磁場に比べて低い数 mG の印加磁場で発振可能である。それにより印加磁場の変動に起因する周波数変動を抑制できる。さらに、コイルとの結合が小さいために、発振の安定性にも優れる。この安定性をさらに高め周波数の決定精度を向上するために、磁場の時間的変動を抑制するための開発を行った。

このように、磁場変動を可能な限り小さくする開発を行うが、それでも実際に ^{129}Xe が感じる局所磁場は環境磁場の変動等によって変動し、それが EDM 測定の際に大きな系統誤差要因となる。そこで、この磁場変動を補正するための機構として、本研究では ^3He 共存磁力計を用いた。 ^3He は ^{129}Xe に比べて無視できる程度の EDM を持つと予想される。 ^3He ガスを ^{129}Xe ガスと同じガラスセルに封入すると、両者は同じ磁場を感じるため、磁場変動の影響を直接受ける絶対周波数測定ではなく、両者の相対的な周波数比から EDM の効果を見出すことが可能となる。

4. 研究成果

まず、核スピンメーザーの動作安定性を向上させるための開発を行った。静磁場発生用のコイルに流れる電流にフィードバック機構を採用することで、7 mA の電流値に対して、10 nA 程度の変動、1nA 以下のドリフトに抑えることに成功した。これはフィードバック機構の導入前に比べて2桁以上の改善となった。さらに実験セットアップ全体を覆う環境磁場補正コイルを導入し、こちらも従来 1 mG 程度あった環境磁場変動を 0.05 mG 程度に抑制することに成功した。これらの開発の結果、図 2 に示すように、30,000 秒のメーザー発振に対して、その平均周波数を 7.9 nHz という高い精度で決定するに至った。

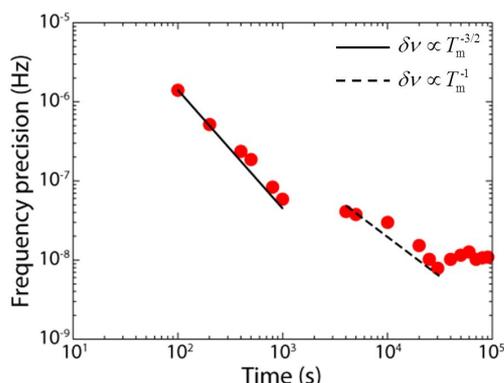


図 2. 平均周波数決定精度の向上

この 7.9 nHz の周波数決定精度は、印加する静電場の大きさを $E=10$ kV/cm としたときの EDM の決定精度はすでに現在の実験上限値の 1/5 の $|\delta d|=8 \times 10^{-28}$ ecm に相当する。しかしながら、長時間の繰り返し測定においては 1 mHz 程度の系統的周波数変動が支配的になっていることも判明した。これは主に ^{129}Xe ガス位置に働く有効磁場の変動に起因するとの推定に基づいて、この変動の抑制のために ^3He 共存磁力計の開発を行った。本研究で用いる能動帰還型核スピンメーザーでは、 ^{129}Xe 、 ^3He 共に光学ポンピングで原子偏極状態にした Rb 分子からのスピン交換反応によって核スピン偏極を生成する。ここで ^3He 共存磁力計の実現の際に問題となるのが、 ^3He -Rb 間の相互作用が ^{129}Xe -Rb 間の相互作用

用比べて数桁小さいという点である。つまり、 ^3He の偏極生成の際にはガラスセル表面との衝突や混入不純物との衝突による偏極緩和を避けなければならない。そこで、ガラスセル素材の選定や、 $^{129}\text{Xe} \cdot ^3\text{He}$ ガスの分圧値の最適化、偏極生成のための光学系強化等の開発を行った。その結果、単純な形状の球形ガラスセルを用いた場合に、光学的スピン歳差検出法に基づく ^{129}Xe と ^3He の同時核スピンメーザー発振に初めて成功した。

上記の ^3He 共存磁力計を用いた核スピンメーザーの性能評価を行ったところ、 ^{129}Xe のメーザー発振の周波数変動には局所磁場変動の他にも ^{129}Xe ガス封入セルの温度変化に伴うセル内 Rb 原子の数密度変化が大きく影響することが明らかになった。これは偏極 Rb との衝突シフトによって ^{129}Xe の周波数が変化するためである。この効果を抑制するためにセルを偏極生成部と歳差運動検出部を空間的に分離したダブルセルを導入した。衝突シフトの大きさは Rb 原子の偏極度と数密度の積に比例するが、空間的分離によりプローブ部分での Rb 原子の偏極度を抑制し、衝突シフトの低減が可能になる。

そこで、偏極 Rb からの寄与を抑制した状況でさらに磁場変動の補正を行うために、ダブルセル形状のガラスセルに対して ^3He 共存磁力計の導入を行った。ダブルセルに特化したセル製法、形状、ガス分圧を再度評価し、その結果、温度を 80 度とした測定で、約 1% の ^3He 偏極度、約 10 時間の ^3He 縦偏極緩和時間を達成した。ダブルセルを用いたメーザー発振の実現にはさらに横偏極緩和時間の改善も必要となる。横偏極緩和時間には測定環境の磁場の一様性が直接的に影響するため、大型三層磁気シールドを新たに設計製作し、従来使用していた物に比べて磁気遮断率にして 10 倍以上の改善がなされることを確認した。また、短いソレノイド形状のコイルが 4 つ連なった形の静磁場発生用コイルも新たに設計製作し、ダブルセル全体が磁場勾配にして $5 \mu\text{G}/\text{cm}$ 以内の範囲に収まる測定環境を得た。その結果、 ^3He の横緩和時間として 2,000 秒以上を達成し、これは新セットアップ導入前に比べて 2 桁以上の改善となった。これらの開発によりダブルセルを用いた際の ^3He の偏極度、横緩和時間が大きく改善したため、ダブルセルを用いた測定系で初めて ^{129}Xe 、 ^3He の同時メーザー発振に成功した。この新たな測定システムにおいては偏極 Rb 原子との衝突による周波数偏移をさらに抑制するために、ダブルセルの歳差運動測定部に直線偏光レーザーを入射させ強制的に Rb の縦偏極を破壊するという新たな試みも実装した。最終的な実験セットアップを図 3、同時メーザー発振の様子を図 4 に示す。ダブルセルに対して ^3He 共存磁力計を導入したことで、偏極 Rb 原子による周波数変動が抑制でき、 ^3He 共存磁力計の本来の性能が発揮できるようになった。

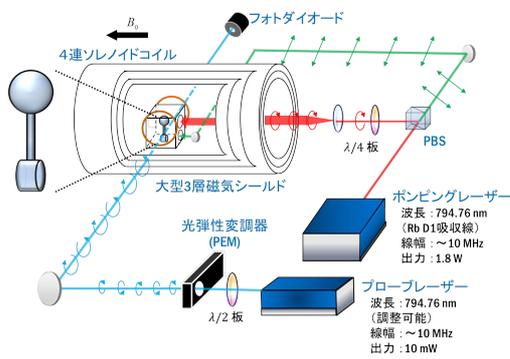


図 3. ^3He 共存磁力計を実装したダブルセル型 ^{129}Xe 核スピンメーザーのセットアップ

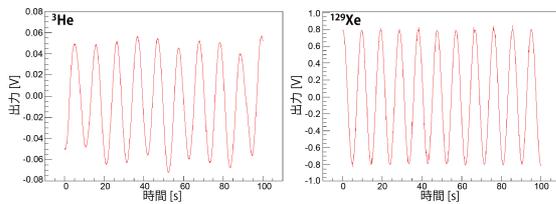


図 4. ダブルセルを用いた際の ^3He と ^{129}Xe の同時メーザー発振

また、実際の EDM 測定において使用する電極を接着したダブルセルを用いた測定も試みており、7.0 kV/cm までの電場を印加することにも成功している。実際に電場印加した状態では、 ^{129}Xe のメーザー発振および ^3He の自由歳差運動の同時測定という条件で、共存磁力計を用いた初の EDM 測定データを試行的に取得した。

すでに ^{129}Xe と ^3He の同時メーザー発振も基礎的セットアップでは実現しており、EDM 測定実験に必要な技術要素はすべて個別に確立した。現在これらを統合して所期の目標である 10^{-28} ecm の決定精度を実現すべく、最終的な実験条件の探索を行っているところである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 27 件)

1. Y. Ichikawa, T. Furukawa, A. Yoshimi, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi *et al.*, “Search for electric dipole moment in ^{129}Xe atom using active nuclear spin maser”, EPJ Web of Conf. **66**, 05007 (2014) DOI: 10.1051/epjconf/20146605007 査読有
2. E. Hikota, T. Furukawa, A. Yoshimi, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi *et al.*, “Active nuclear spin maser oscillation with double cell”, EPJ Web of Conf. **66**, 05005 (2014) DOI: 10.1051/epjconf/20146605005 査読有
3. T. Fukuyama, “Chiral Molecule in the Standard Model”, Mod. Phys. Lett. A **29**, 1450056 (2014) DOI: 10.1142/S0217732314500564 査読有
4. K. Asahi, T. Furukawa, A. Yoshimi, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama *et al.*, “Search for

Electric Dipole Moment in ^{129}Xe atom Using a Nuclear Spin Oscillator”, Phys. of Part. Nucl. **45**, 199-201 (2014) DOI: 10.1134/S1063779614010080 査読有

5. T. Inoue, T. Furukawa, A. Yoshimi, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama, K. Asahi *et al.*, “Nuclear spin maser and experimental search for ^{129}Xe atomic EDM”, Hyperfine Interact. **220**, 59 (2013) DOI: 10.1007/s10751-012-0751-z 査読有
6. T. Fukuyama *et al.*, “Derivation of Generalized Thomas-Bargmann-Michel-Telegdi Equation for a Particle with Electric Dipole Moment”, Int. J. Mod. Phys. A **28**, 1350147 (2013) DOI: 10.1142/S0217751X13501479 査読有
7. T. Fukuyama, “SO(10) GUT in Four and Five Dimensions: A Review”, Int. J. Mod. Phys. A **28** (2013) DOI: 10.1142/S0217751X13300081 査読有
8. A. Yoshimi, T. Furukawa, K. Asahi *et al.*, “Low-frequency ^{129}Xe nuclear spin oscillator with optical spin detection”, Phys. Lett. A **376**, 1924 (2012) DOI: 10.1016/j.physleta.2012.04.043 査読有
9. T. Fukuyama, “Searching for New Physics beyond the Standard Model in Electric Dipole Moment”, Int. J. Mod. Phys. **27**, 1230015 (2012) DOI: 10.1142/S0217751X12300153 査読有
10. T. Inoue, T. Furukawa, A. Yoshimi, K. Asahi *et al.*, “Experimental search for ^{129}Xe atomic EDM with nuclear spin maser technique”, Physics Procedia. **17**, 100 (2011) DOI: 10.1016/j.phpro.2011.06.024 査読有
11. A. Yoshimi, T. Furukawa, K. Asahi *et al.*, “Development of NMOR magnetometer for spin-maser EDM experiment”, Physics Procedia. **17**, 245 (2011) DOI: 10.1016/j.phpro.2011.06.043 査読有
12. K. Asahi, T. Furukawa, A. Yoshimi, H. Ueno, Y. Matsuo, T. Fukuyama *et al.*, “Search for an Electric Dipole Moment in ^{129}Xe Atom with Nuclear Spin Oscillator Technique”, J. Phys. Conf. Ser. **302**, 012039 (2011) DOI: 10.1088/1742-6596/302/1/012039 査読有
13. T. Nanao, A. Yoshimi, T. Furukawa, K. Asahi *et al.*, “Development of highly sensitive NMOR magnetometry for an EDM experiment”, J. Phys. Conf. Ser. **312**, 102015 (2011) DOI: 10.1088/1742-6596/312/10/102015 査読有
14. T. Inoue, A. Yoshimi, T. Furukawa, K. Asahi *et al.*, “Search for an EDM in diamagnetic atom ^{129}Xe with nuclear spin maser technique”, J. Phys. Conf. Ser. **312**, 102008 (2011) DOI: 10.1088/1742-6596/312/10/102008 査読有
15. T. Furukawa, A. Yoshimi, K. Asahi *et al.*, “Magnetic Field Stabilization for ^{129}Xe EDM search Experiment”, J. Phys. Conf. Ser. **312**, 102005 (2011) DOI: 10.1088/1742-6596/312/10/102005 査読有
16. T. Inoue, T. Furukawa, A. Yoshimi, Y. Matsuo, K. Asahi *et al.*, “Frequency characteristics of a nuclear spin maser for the search for the electric dipole moment of ^{129}Xe atom”, Physica E **43**, 847 (2011) DOI: 10.1016/j.physe.2010.07.066 査読有

17. A.Yoshimi, K.Asahi, M.Uchida et al., "Nuclear spin maser at highly stabilized low magnetic field and search for an atomic EDM", AIP Conf. Proc. **1149**, 249 (2009) DOI:10.1063/1.3215639 査読有

他 10 件

[学会発表](計 85 件)

1. 佐藤智哉, 古川武, 吉見彰洋, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 旭耕一郎 他, "³He 共存磁力計の導入による ¹²⁹Xe 原子 EDM 測定実験", 日本物理学会第 69 回年次大会, 平塚, 2014 年 3 月 27 日-30 日
2. Y.Ichikawa, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "Search for electric dipole moment of ¹²⁹Xe using active nuclear spin maser", 7th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms, Tokyo, Japan, Mar. 14-16 (2014) 招待講演
3. 佐藤智哉, 古川武, 吉見彰洋, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 旭耕一郎 他, "能動帰還型核スピンメーザを用いた ¹²⁹Xe 原子永久電気双極子能率の探索", 光領域および精密周波数発生回路技術調査専門委員会, 東京, 2013 年 12 月 17 日, 招待講演
4. K.Asahi, "Spin masing, and looking for an atomic EDM of nuclear origin", Physical Research Laboratory Colloquium, Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India, Dec. 5 (2013) 招待講演
5. 旭耕一郎, "Nuclear EDM", 日本物理学会 2013 年秋季大会, 高知, 2013 年 9 月 20 日-23 日, 招待講演
6. 市川雄一, 古川武, 吉見彰洋, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 旭耕一郎 他, "³He 共存磁力計の導入による ¹²⁹Xe 原子 EDM 測定実験 II", 日本物理学会 2013 年秋季大会, 高知, 2013 年 9 月 20 日-23 日
7. Y.Ichikawa, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "Experimental search for atomic EDM in ¹²⁹Xe using active nuclear spin maser", 3rd International Workshop on the Physics of fundamental symmetries and Interactions at low energy and the precision frontier (PSI2013), Villigen, Switzerland, Sep. 9-12 (2013)
8. 近森正敏, 古川武, 吉見彰洋, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 旭耕一郎 他, "³He 共存磁力計の導入による ¹²⁹Xe 原子 EDM 測定実験", 日本物理学会第 68 回年次大会, 広島, 2013 年 3 月 26 日-29 日
9. Y.Ichikawa, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "Experimental search for atomic EDM in ¹²⁹Xe at Tokyo Tech.", An ICTS Program on CP Violation in Elementary Particles and Composite Systems, Mahabaleshwar, India, Feb. 19-23 (2013) 招待講演
10. M.Chikamori, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "³He comagnetometer in ¹²⁹Xe active spin maser for EDM measurement", An ICTS Program on CP Violation in Elementary Particles and Composite Systems, Mahabaleshwar, India, Feb. 19-23 (2013) 招待講演
11. 大友祐一, 古川武, 吉見彰洋, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 旭耕一郎 他, "Development of ³He co-magnetometer toward the experiment search for an atomic EDM in ¹²⁹Xe", 中性子研究会, 名古屋, 2012 年 11 月 20 日-21 日, 招待講演
12. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Search for Electric Dipole Moment in ¹²⁹Xe Atom Using a Nuclear Spin Oscillator", The 20th International Symposium on Spin Physics (SPIN2012), Dubna, Russia, Sep. 17-22 (2012)
13. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Experimental search for EDM in a diamagnetic atom ¹²⁹Xe with spin oscillator techniques", Advanced Studies Institute on Symmetries and Spin (Spin-Praha-2012), Prague, Czech, Jul. 1-8 (2012) 招待講演
14. Y.Ichikawa, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "Experimental study of EDM in ¹²⁹Xe atom using nuclear-spin maser", 6th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms, Sendai, Japan, Sep. 28-30 (2012) 招待講演
15. K.Asahi, A.Yoshimi, T.Furukawa, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Search for an electric dipole moment in ¹²⁹Xe atom with nuclear spin oscillator technique", Cold Antimatter and High Precision Physics (Pbar11), Matsue, Japan, Nov. 28-30 (2011) 招待講演
16. T.Inoue, T.Furukawa, A.Yoshimi, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama, K.Asahi et al., "¹²⁹Xe atomic EDM search with nuclear spin maser technique", 5th International Conference on Fundamental Physics Using Atoms, Okayama, Japan, Oct. 8-10 (2011) 招待講演
17. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Search for an electric dipole moment in ¹²⁹Xe atom with nuclear spin oscillator technique", International Symposium on Nanoscience and Quantum Physics (nanoPHYS'11), Tokyo, Japan, Jan. 26-28 (2011) 招待講演
18. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Search for an EDM in the Xe-129 atom", ECT Workshop on Violations of Discrete Symmetries in Atoms and Nuclei, Torento, Italy, Nov. 15-19 (2010) 招待講演
19. 旭耕一郎, 古川武, 吉見彰洋, 内田誠, 上野秀樹, 松尾由賀利, 福山武志, 他, "原子核に探る CP の破れ - ¹²⁹Xe 原子の EDM -", 原子核構造研究の進化とその応用研究会, 東京, 2010 年 10 月 16 日, 招待講演
20. A.Yoshimi, T.Furukawa, M.Uchida, K.Asahi et al., "Development of NMOR magnetometer for spin-maser EDM experiment", International Symposium on Physics of Fundamental Symmetries and Interactions - PSI2010, Villigen, Switzerland, Oct. 11-14 (2010)
21. T.Inoue, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, K.Asahi et al., "Experimental search for ¹²⁹Xe atomic EDM with nuclear spin maser technique", Physics of fundamental Symmetries

- and Interactions - PSI2010, Villigen, Switzerland, Oct. 11 - 14 (2010)
22. T.Inoue, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, K.Asahi et al., "Development of the Nuclear Spin Maser toward the Atomic EDM search", The 19th International Spin Physics Symposium, Julich, Germany, Sep. 27 - Oct. 2 (2010)
23. K.Asahi, A.Yoshimi, T.Furukawa, M.Uchida, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "A planned search for an atomic EDM in ^{129}Xe with spin maser technique", International Workshop on Variation of Constants and Violation of Symmetries, Cairns, Australia, Jul. (2010) 招待講演
24. K.Asahi, A.Yoshimi, T.Furukawa, M.Uchida, H.Ueno, Y.Matsuo, T.Fukuyama et al., "Search for an EDM in ^{129}Xe atom using an optical-coupling nuclear spin oscillator", Workshop on Fundamental Symmetries (FunSym 2010), Vancouver, Canada, Jul. 9-10 (2010)
25. 旭耕一郎, 古川武, 内田誠, 吉見彰洋, 松尾由賀利, 上野秀樹 他, "光学結合フィードバックによる核スピンメーザーを用いた ^{129}Xe 原子 EDM の探索", 第7回 AMO 討論会, つくば, 2010年6月11-12日, 招待講演
26. K.Asahi, T.Furukawa, M.Uchida, A.Yoshimi et al., "Experimental Search for an EDM in ^{129}Xe Atom", International Workshop on UCN and fundamental neutron physics, Osaka, Japan, Apr. 8-9 (2010) 招待講演

以上、全て口頭発表。
他、口頭発表 33 件、ポスター発表 26 件。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://xqw.hep.okayama-u.ac.jp/kakenhi/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

旭 耕一郎 (ASAHI KOICHIRO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：80114354

(2)研究分担者

- ・上野 秀樹 (UENO HIDEKI)
独立行政法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・主任研究員
研究者番号：50281118
- ・松尾 由賀利 (MATSUO YUKARI)
法政大学・理工学部・教授
研究者番号：50231593
- ・福山 武志 (FUKUYAMA TAKESHI)
大阪大学・核物理研究センター・協同研究員

研究者番号：40167622

- ・吉見 彰洋 (YOSHIMI AKIHIRO)
(平成 21 年度～平成 23 年度)
岡山大学・極限量子研究コア・准教授
研究者番号：40333314
- ・古川 武 (FURUKAWA TAKESHI)
(平成 21 年度～平成 22 年度)
首都大学東京・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：30435680
- ・内田 誠 (UCHIDA MAKOTO)
(平成 21 年度～平成 22 年度)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：90397042

(3)連携研究者

- ・藪崎 努 (YABUSAKI TSUTOMU)
研究者番号：60026127
- ・酒見 泰寛 (SAKEMI YASUHIRO)
東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・教授
研究者番号：90251602
- ・吉見 彰洋 (YOSHIMI AKIHIRO)
岡山大学・極限量子研究コア・准教授
研究者番号：40333314
- ・古川 武 (FURUKAWA TAKESHI)
首都大学東京・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：30435680