

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2013

課題番号：21244029

研究課題名(和文) 新型核スピンメーザーの電気双極子モーメント測定への適用

研究課題名(英文) Application of nuclear spin maser of a new scheme to the experimental study of atomic electric dipole moment

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) 34,100,000円、(間接経費) 10,230,000円

研究成果の概要(和文)：標準理論を超える物理の明らかな証拠となる ^{129}Xe 原子永久電気双極子モーメント(EDM)を高感度で探索するために、独自の方式による核スピンメーザーを開発し、その動作と周波数変動の調査・改良を行って、スピン歳差周波数の決定精度7.9 nHzを達成した。さらに磁場変動に起因する擬似信号を除去するため、参照スピン系である ^3He を ^{129}Xe と混在させた2核種同時スピンメーザーを構築、異核種の同時偏極生成・維持およびスピン検出に関する詳細な調査・試行・改良を行なった。その結果この2核種同時メーザー発振に成功し、 ^{129}Xe EDM探索のための装置及び手法的基盤が確立された。

研究成果の概要(英文)： In order to pursue a high sensitivity detection of the CP-violating permanent electric dipole moment (EDM) of ^{129}Xe atom, a nuclear spin maser of new scheme which runs on the basis of optical spin detection and external feedback mechanism was constructed. Detailed investigations and improvements of its signal performance and frequency stability were carried out, yielding a frequency precision of 7.9 nHz for a one shot measurement of 30,000 s duration. Furthermore, ^3He were added as a reference spin system to the ^{129}Xe masing substance, and the technique to polarize, preserve and detect the two spin species simultaneously was developed. As a result, the simultaneous operations of the ^{129}Xe - ^3He two species nuclear spin maser, which allows the precision removal of spurious EDM signals arising from drifts in the magnetic field, was realized, and thus the instrumental and technical basis for executing the projected high-precision EDM detection in ^{129}Xe was 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

キーワード：原子核実験 核スピンメーザー 精密周波数計測 原子EDM CP非保存

1. 研究開始当初の背景

電気双極子モーメント (Electric dipole moment, EDM) は CP 変換に対する不変性を破っており、標準理論では観測にかからないほど小さい一方、標準理論を超えて提唱されている有力な理論の多くは、現在の測定限界からもう一歩で届く領域に EDM を予言する。したがって測定感度を上げた新たな実験手法の導入によって、標準理論を超える物理の明確な証拠を提示できる可能性がある。

EDM 探索実験は中性子・原子・分子など様々な系に対して世界中で競争的に行われている。 ^{129}Xe についても安定原子であること、原子番号が大きく EDM の効果が大いこと、そして核スピンのコヒーレンスを長い時間保持することが比較的しやすいことから、 ^{129}Xe を対象とした EDM 探索が行われてきて、現在 $|d(^{129}\text{Xe})| < 4.1 \times 10^{-27}$ ecm という実験上限値が得られている。 ^{129}Xe 原子のような反磁性原子の場合、その EDM は核子間相互作用における CP の破れが原子核のシフトモーメントを通じて最終的に原子 EDM として発現する。反磁性原子である ^{199}Hg に対しては $|d(^{199}\text{Hg})| < 0.31 \times 10^{-28}$ ecm が得られているが、反磁性原子の場合、シフトモーメントは核構造に強く依存するため、 ^{129}Xe に対してさらなる高精度領域の探索が待ち望まれている。

2. 研究の目的

EDM 測定の際には、静電場を静磁場に対して平行および反平行に印加したときの ^{129}Xe 核スピン歳差周波数に生じるわずかな差異を検出する必要がある。 ^{129}Xe における EDM の実験上限値を 1 桁更新する 10^{-28} ecm という領域での EDM 探索を行うためには、 ^{129}Xe の歳差周波数を 1 nHz という超高精度で測定する必要がある。(ここでは印加静磁場の大きさを 10 kV/cm と仮定している。)

本研究では、我々がこれまで独自に開発してきた低磁場でも発振可能な新しいタイプの核スピンメーザーである能動帰還型核スピンメーザーのこれまでの開発を土台として、これを用いた EDM の計測技法を実体化し、1 nHz を超える精度での周波数測定による ^{129}Xe 原子 EDM の高感度探索を実現することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、 ^{129}Xe の歳差周波数を精密に測定するため我々のグループで独自に開発してきた能動帰還型核スピンメーザーの手法を用いる。能動帰還型核スピンメーザーは次のように動作する。まず、 ^{129}Xe ガスと共にガラスセル中に蒸気として存在する Rb 原子のスピンを光学的ポンピング法により印加静磁場方向と平行に偏極させる。偏極した

Rb 原子とのスピン交換反応により、 ^{129}Xe の核スピン偏極が生成される。こうして偏極した ^{129}Xe は rf パルスの印加あるいは偶発的なノイズによって磁化の傾きを生じ、静磁場で歳差運動を開始する。能動帰還型メーザーでは、この歳差運動をプローブレーザーを透過させることによって光学的に検出する。すなわち偏極した ^{129}Xe の歳差運動と同期した Rb の横方向偏極の変化をプローブレーザーの透過率の変化から検出する。こうして検出した信号をフィードバック回路で処理することにより、歳差運動の位相より 90 度進んだ位相のフィードバック磁場を人工的に生成する。 ^{129}Xe の偏極緩和とポンピングによる偏極生成、そしてフィードバック磁場によるトルクが釣り合う事で、 ^{129}Xe の横方向の磁化を維持したまま、無制限の長さの時間維持させることができる。典型的なメーザー発振の様子を図 1 に示す。歳差運動を長時間にわたって観測することにより、統計的な周波数決定精度の急速な向上が期待できる。

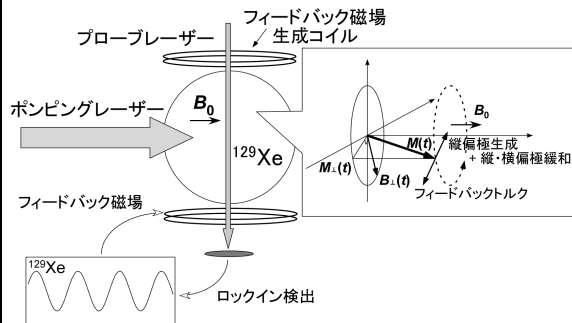


図 1. 能動帰還型核スピンメーザーの概念図

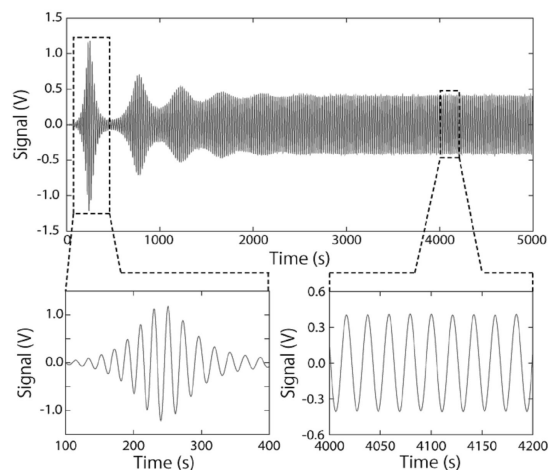


図 2. メーザー発振の様子

能動帰還型核スピンメーザーは、従来の磁化の運動を直接コイルで検出する従来のタイプのスピンメーザーに比べて、光学的なスピン歳差運動検出および外部フィードバックを行う事で低磁場でも発振が可能である、および発振の安定性に優れるというメリットを持つ。このメリットを生かし、従来 30,000 秒の歳差運動測定でその間の平均周波数を 9.3 nHz という精度で決定するに至っている。このようにある一回の測定における

周波数決定精度として高い水準を誇るものの、これを EDM 計測に使用する場合、印加している静磁場の大きさをモニターする機構を実装することが必要である。

本研究では、このような磁場計測手段を実装した能動帰還型核スピンメーザーを実現するため、非線形磁気光学回転効果 (Nonlinear Magneto-Optical Rotation, NMOR) を用いた磁力計、および ^3He 共存磁力計の開発を行った。

NMOR 効果とは、特定波長の直線偏光を Rb などのアルカリ原子に入射させたとき、金属蒸気部分の磁場の大きさに応じて透過光の偏光面が回転する現象である。この NMOR 効果を応用して、直線偏光レーザーを Rb 蒸気を封入したガラスセルに入射したときに NMOR 効果によって生じる偏光面の回転角度と磁場の対応関係を予め調べて、実際に回転した角度から磁場の大きさを見積もることで磁力計として用いることができる。NMOR 磁力計は複数数を EDM 測定対象とする ^{129}Xe 封入ガスセルの周囲に配置することで、 ^{129}Xe に作用する磁場の変動を見積もることが可能である。

一方の ^3He 共存磁力計は、 ^3He ガスを ^{129}Xe と同一のガスセルに封入することによって、 ^{129}Xe に作用する磁場と同一の変化をモニターする機構である。 ^3He は ^{129}Xe に比べて十分小さい EDM しか持ち合わせないと考えられるので、静電場を反転させたときの ^3He 、 ^{129}Xe の歳差周波数比の変化から EDM の大きさ (正確には ^{129}Xe の EDM と ^3He の EDM の差) を割り出すことができる。

4. 研究成果

本研究における能動帰還型核スピンメーザーの開発は図 3 に示すセットアップを用いて行った。 ^{129}Xe を封入 (^3He 共存磁力計開発の場合は ^3He ガスも封入) したガラスセルを 4 重の磁気シールドで覆われた静磁場発生用ソレノイドコイルの中心に置く。Rb の D1 吸収線に調節した円偏光ポンピングレーザーを磁場と平行に入射し、 ^{129}Xe の偏極生成を行った。光学的歳差運動検出のためのプローブレザーを同時にソレノイド内に導入し、ミラーで反射させることによってポンピングレーザーと垂直にガラスセルを透過し、最終的にフォトダイオードで検出する。

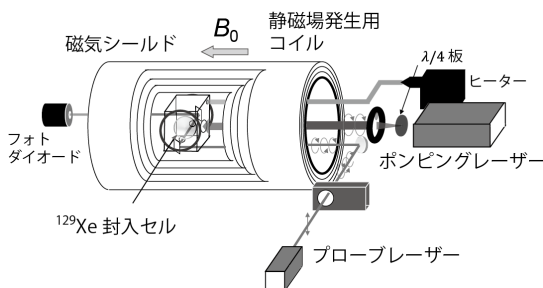


図 3. 実験セットアップの概略図

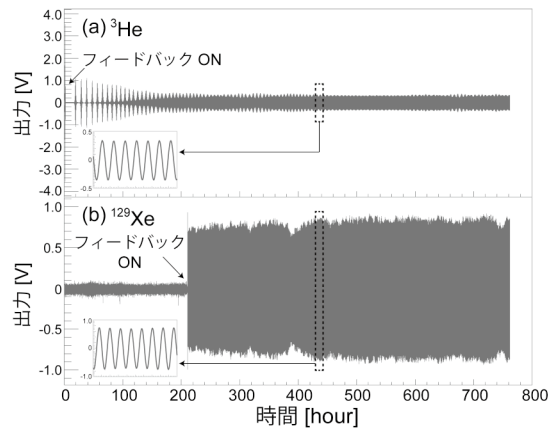


図 4. (a) ^3He (b) ^{129}Xe の同時メーザー発振

まず、従来開発してきた能動帰還型メーザーの安定性の向上を行った。ポンピングレーザーとしているレーザーのテーパアンプの増強を行い出力を最大 2W とした結果、 ^{129}Xe の偏極度が温度 80 のとき 40% まで増大した。また、静磁場生成用のソレノイド電流の安定化、実験室内の環境磁場安定化を行って、核スピンメーザーの動作安定化を図った。その結果、約 30,000 秒の測定において、7.9 nHz の周波数決定精度を達成した。

磁場計測のための ^3He 共存磁力計の開発においては、 ^{129}Xe と共に ^3He の同時メーザー発振を達成すべく、両者ともに高い偏極度、長い緩和時間が得られるガラスセルの素材、形状、作成法、内部処理法、分圧を見出した。 ^{129}Xe と ^3He の歳差運動を単一のプローブレザーによって検出し、その信号を分けて独立にそれぞれの周波数でロックイン増幅、フィードバック処理をして、別々のコイルを通してフィードバック磁場を生成することで、図 4 に示すように、実際に同時メーザー発振を達成した。このとき両者とも 2 週間以上の安定発振状態を達成し、各周波数決定精度も 100 nHz 程度のレベルまで達した。

一方で、 ^{129}Xe のメーザー発振の周波数精度には ^{129}Xe ガス封入セルの温度変化に伴う 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偏極生成部 (ポンピング部) と歳差運動検出部 (プローブ部) から構成されるダブルセルの開発を行った。衝突シフトの大きさは、Rb の偏極度と数密度の積に比例するため、プローブ部における Rb の偏極度を抑制して衝突シフトの低減を狙った。ダブルセルを用いた開発の結果、従来考えられていたスピン交換による検出プロセスの他に、 ^{129}Xe の磁化に起因する検出プロセスがあることを見出した。新たな検出プロセスを加えたメーザー発振の最適化条件を再評価し、実際にダブルセルを用いた ^{129}Xe のメーザー発振を実現した。その結果、偏極した Rb 原子との衝突に起因する周波数シフトの揺らぎを 1 桁以上抑制することに成功した。

ダブルセル形状を採用することで、磁場の長期的な変動を抑制するための ^3He 共存磁力計の本来の性能を発揮することが期待できるが、ダブルセル形状のセルを用いた場合、セルが存在する領域における磁場一様性の悪化により、特に ^3He のようにRbとのスピン交換率が非常に低い場合には、横偏極緩和時間が短くなり、メーザー発振振幅が小さくなってしまふという困難があった。そこで、 ^3He の横偏極緩和時間を改善するために、磁場一様性を向上するためのセットアップの開発を行った。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。従来よりも広範囲で磁場の一様性を保つ4つの短いソレノイドの組み合わせからなるコイルを導入することで、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、これは従来よりも2桁以上の改善となった。その結果、 ^3He に対してもメーザー発振を行うことに成功した。図5にダブルセルを用いた際の同時発振の様子を示す。

また、偏極Rbとの衝突シフトをさらに低減するために、セルを格納しているボックスの温度安定化装置を導入した。PID制御によって、温度変動を 0.4 度以下に抑えることに成功し、衝突シフトの大きさにしておよそ2桁の抑制に成功した。

偏極Rbとの衝突シフトを軽減し、 ^3He 共存磁力計の本来の性能を発揮できるようになったことで、 ^{129}Xe 、 ^3He それぞれに対して $100\ \text{nHz}$ まで到達していた周波数制度も、両者の相関を取ることでさらなる向上が見込めるようになった。

NMOR光学磁力計の開発においては、スピン偏極Rb原子を用いた精密マグネトメトリのため、レーザー光に振幅変調をかけて、ストロボスコピックなNMOR観測から有限磁場でのNMOR測定を行う振幅変調NMOR装置を構築した。測定の結果、変調NMOR観測によって有限磁場 $30\ \text{mG}$ において $5\ \text{mG}/\text{Hz}^{1/2}$ の精度での磁場計測を実現した。

本研究によって実現した、 ^3He 共存磁力計を実装した ^{129}Xe 核スピンメーザー、およびその周囲にグラジオメーターとして配置するNMOR磁力計の組み合わせにより、目標とする $1\ \text{nHz}$ の周波数決定精度を実現する見通しが開け、未踏の領域の ^{129}Xe のEDM測定へ向けた足がかりを得た。

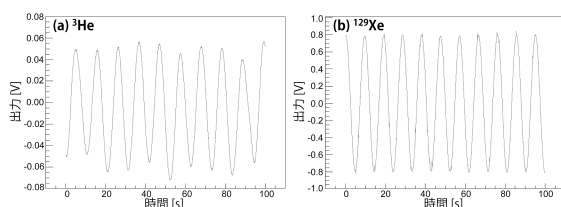


図5. ダブルセルを用いた時の(a) ^3He 、(b) ^{129}Xe 同時メーザー発振

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 23 件)

1. Y.Ichikawa, T.Furukawa, H.Ueno, 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, H.Ueno, 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. K.Asahi, T.Furukawa, H.Ueno *et al.*, “Search for Electric Dipole Moment in ^{129}Xe atom Using a Nuclear Spin Oscillator”, Phys. of Part. and Nucl. **45**, 199-201 (2014) DOI: 10.1134/S1063779614010080 査読有
4. T.Inoue, T.Furukawa, H.Ueno, 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
5. 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
6. T.Inoue, T.Furukawa, 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
7. 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
8. T.Nanao, 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
9. T.Inoue, 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: 0.1088/1742-6596/312/10/102008 査読有
10. T.Furukawa, 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
11. K.Asahi, T.Furukawa, T.Inoue, H.Ueno *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
12. T.Inoue, T.Furukawa, 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

13. 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, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “ ^3He 共存磁力計の導入による ^{129}Xe 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, H.Ueno, K.Asahi et al., “Search for electric dipole moment of ^{129}Xe 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, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “能動帰還型核スピンメーザーを用いた ^{129}Xe 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 年秋大会, 高知, 2013 年 9 月 20 日-23 日 招待講演
6. 市川雄一, 古川武, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “ ^3He 共存磁力計の導入による ^{129}Xe 原子 EDM 測定実験 II”, 日本物理学会 2013 年秋大会, 高知, 2013 年 9 月 20 日-23 日
7. Y.Ichikawa, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “Experimental search for atomic EDM in ^{129}Xe 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. 市川雄一, 古川武, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “ ^{129}Xe 原子 EDM 測定実験のための ^3He 共存磁力計の性能評価”, 日本物理学会第 68 回年次大会, 広島, 2013 年 3 月 26 日-29 日
9. 近森正敏, 古川武, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “ ^3He 共存磁力計の導入による ^{129}Xe 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
10. Y.Ichikawa, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “Experimental search for atomic EDM in ^{129}Xe 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
11. M.Chikamori, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “ ^3He comagnetometer in ^{129}Xe 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
12. 大友祐一, 古川武, 上野秀樹, 旭耕一郎 他, “Development of ^3He co-magnetometer toward the experiment search for an atomic EDM in ^{129}Xe ”, 中性子研究会, 名古屋, 2012 年 11 月 20 日-21 日, 招待講演
13. K.Asahi, T.Furukawa, H.Ueno, et al., “Search for Electric Dipole Moment in ^{129}Xe Atom Using a Nuclear Spin Oscillator”, The 20th International Symposium on Spin Physics (SPIN2012), Dubna, Russia, Sep. 17-22 (2012)
14. T.Inoue, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “Nuclear spin maser and experimental search for ^{129}Xe atomic EDM”, The 4th Joint Meeting of the 16th International Conference on Hyperfine Interactions and the 20th International Symposium on Nuclear Quadrupole Interactions (HFI/NQI 2012), Beijing, China, Sep. 11-14 (2012)
15. K.Asahi, T.Furukawa, H.Ueno, et al., “Experimental search for EDM in a diamagnetic atom ^{129}Xe with spin oscillator techniques”, Advanced Studies Institute on Symmetries and Spin (Spin-Praha-2012), Prague, Czech, Jul. 1-8 (2012) 招待講演
16. Y.Ichikawa, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “Experimental study of EDM in ^{129}Xe atom using nuclear-spin maser”, 6th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms, Sendai, Japan, Sep. 28-30 (2012) 招待講演
17. 井上壮志, 古川武, 旭耕一郎 他, “能動帰還型核スピンメーザーの周波数特性”, 日本物理学会第 67 回年次大会, 西宮, 2012 年 3 月 24-27 日
18. 七尾翼, 古川武, 旭耕一郎 他, “EDM 測定のための NMOR を用いた原子磁力計の開発”, 日本物理学会第 67 回年次大会, 西宮, 2012 年 3 月 24-27 日
19. K.Asahi, T.Furukawa, H.Ueno, et al., “Search for an electric dipole moment in ^{129}Xe atom with nuclear spin oscillator technique”, Cold Antimatter and High Precision Physics (Pbar11), Matsue, Japan, Nov. 28-30 (2011) 招待講演
20. T.Inoue, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “ ^{129}Xe 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
21. A.Yoshimi, T.Furukawa, H.Ueno, K.Asahi et al., “Development of high-sensitivity magnetometer for EDM experiment with ^{129}Xe spin oscillator”, 5th International Conference on Fundamental Physics Using Atoms, Okayama, Japan, Oct. 8-10 (2011)
22. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, H.Ueno et al., “Search for an electric dipole moment in ^{129}Xe 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
23. K.Asahi, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, H.Ueno et al., “Search for an EDM in the Xe-129 atom”, ECT Workshop on Violations of Discrete Symmetries in Atoms and Nuclei, Toronto, Italy, Nov. 15-19 (2010) 招待講演
24. 旭耕一郎, 古川武, 吉見彰洋, 内田誠, 上野

- 秀樹, 他, “原子核に探す CP の破れ - ^{129}Xe 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
25. 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)
 26. T.Inoue, T.Furukawa, A.Yoshimi, M.Uchida, K.Asahi et al., “Experimental search for ^{129}Xe atomic EDM with nuclear spin maser technique”, Physics of fundamental Symmetries and Interactions - PSI2010, Villigen, Switzerland, Oct. 11 - 14 (2010)
 27. 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)
 28. K.Asahi, A.Yoshimi, T.Furukawa, M.Uchida, H.Ueno 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
 29. K.Asahi, A.Yoshimi, T.Furukawa, M.Uchida, H.Ueno 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)
 30. 旭耕一郎, 古川武, 内田誠, 吉見彰洋, 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
 31. 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
 32. 古川武, 吉見彰洋, 内田誠, 旭耕一郎, 他, “Xe 原子 EDM 探索実験に向けた印加磁場の高精度安定化”, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山, 2010 年 3 月 20 日- 23 日
 33. T.Inoue, A.Yoshimi, M.Uchida, T.Furukawa, K.Asahi et al., “A ^{129}Xe active spin maser with digitalized feedback”, The 3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, U.S.A., Oct. 13-17 (2009)
 34. A.Yoshimi, K.Asahi, M.Uchida, T.Furukawa et al., “Development of Rb atomic magnetometer for EDM experiment with ^{129}Xe spin maser”, The 3rd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS, Hawaii, U.S.A., Oct. 13-17 (2009)

以上、全て口頭発表。
他、口頭発表 25 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〕
特になし。

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
- ・ 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
- ・ 吉見 彰洋 (YOSHIMI AKIHIRO)
(平成 21 年度～平成 22 年度)
岡山大学・極限量子研究コア・准教授
研究者番号: 40333314
- ・ 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 特になし。