

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26287088

研究課題名(和文)多成分冷却原子気体の多体効果とフラストレート磁性超流動体の研究

研究課題名(英文) Study on many-body effects and frustrated magnetic superfluids of multicomponent ultracold atomic gases

研究代表者

上田 正仁 (Masahito, Ueda)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：70271070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：スピノールBECでは、量子揺らぎ起源のエネルギーギャップが零点エネルギーの100倍程度になり、実験的観測が可能であること示した。Efimov効果に関しては、離散スケール不変性と繰り込み群におけるリミットサイクルとの関係を解明した。また、ユニタリー気体の普遍性を特徴づけるTanの関係式をp波の領域へ拡張した。さらに、フラストレート磁性において、幾何学的フラストレーションにより準安定状態が安定化され、粗視化がスケーリング則に従い、かつ、その過程でZ2トポロジカル励起が生じることを見出した。さらに、最近実験的に実現された量子ポイントコンタクトの輸送現象の異常を理論的に解明した。

研究成果の概要(英文)：In spinor Bose-Einstein condensates, it is pointed out that an emergent energy gap exceeds the zero-point energy of the system by a factor of one hundred and it is thus experimentally observable. In Efimov effects, the discrete scaling invariance is shown to be closely related to the limit cycle of the renormalization group. In unitary gases, Tan's contact is generalized to the p-wave case. In frustrating magnetism, geometrical frustration is shown to stabilize a metastable state and the coarsening dynamics obeys scaling with Z2 topological excitations being created in the process. Finally, anomalous transport through a quantum point contact of ultracold atoms is theoretically clarified.

研究分野：物理学

キーワード：冷却原子気体 磁性超流動 フラストレーション

### 1. 研究開始当初の背景

レーザー冷却された中性原子気体の研究は、物性、原子核、統計力学などの異分野のアイデアや技法を融合・発展させながら学際的に富む分野へと発展してきた。BEC-BCS クロスオーバー、エフィモフ状態、孤立量子系の熱平衡化などはその好例である。冷却原子気体は相互作用の強さと符号を含むほとんどすべての物質パラメータを高い精度で制御でき、物質固有の性質という制約から解放された普遍的な物理現象の探求を可能にした。特に、中性原子が荷電粒子のように振る舞うことを可能にする人工ゲージ場の実現は、磁性や量子ホール効果などの固体物理の研究との融合を一段と推し進める契機となった。このような学術的進展を背景として、本研究では(擬)スピン自由度を有する多成分冷却原子気体に特有の多体効果とフラストレート磁性超流動体に現れるユニークな物理現象の探求を行う。これらは、我々のこれまでの研究成果を発展させる互いに関連したオリジナルな提案であり、当該分野だけでなく固体物理など他分野への波及効果も期待される。

まず、本提案の着想に至った背景は次の通りである。我々は原子の超微細スピンを起源とする磁性超流動であるスピノールボース・アインシュタイン凝縮(BEC)が示す自発的対称性の破れとトポロジカル励起の研究を行い、ノット励起や非可換渦の存在を指摘した。また、スピンの2のBECには3個の原子がスピンスグレットトリオを組み、それが凝縮するサイクリック(C)相と呼ばれるユニークな相の存在を指摘した。平均場理論ではスピンの2の87Rb BECの基底状態は単軸ネマティック(UN)相と考えられている。ところが、実験ではUN相とC相が共に安定であることが見出された。この問題は長らく謎であったが、我々は量子揺らぎの効果を記述するLee-Huang-Yang補正を平均場に加えることで、基底状態がUN相とC相の境界付近にあることを示し、更に、ボゴリウボフ理論の次の高次補正項を取り入れたベリアエフ理論をスピノールBECに適用することでUN相が基底状態、C相が準安定状態(あるいはその逆)であることを明らかにした。そのような高次の量子補正が1次相転移を引き起こし、準安定状態を作ることにはスピノールBECのユニークな点であり、本研究でその直接的帰結である物理現象を探求する動機となっている。

### 2. 研究の目的

スピン自由度を持った多成分冷却原子気体における多体効果とフラストレート磁性超流動を研究する。まず、スピノールBECの1次相転移を記述するために我々が開拓したベリアエフ理論をスピン2のBECに適用し、擬南部・ゴールドストーンモードの質量獲得機構を解明し、同じ物理的起源から生ずるマグノンの寿命を評価する。次に、光格子中のスピノールBECが人工ゲージ場により誘起された磁気副準位間の相対位相の効果により、フラストレート磁性超流動が発現することを示し、関連するトポロジカル励起現象を調べる。更に、人工ゲージ場と光格子の組み合わせによりスカラーBECから創発する多成分量子ホール状態の基本

的性質を明らかにする。

### 3. 研究の方法

2で述べた研究目標を次の研究項目に分けて、順次研究を遂行する。(1)擬南部ゴールドストーンモードの質量獲得機構の解明とマグノン寿命の計算、(2)フラストレート磁性超流動におけるトポロジカル励起の研究、(3)人工ゲージ場下の2成分量子ホール系の研究。具体的な手法は、(1)はファイマンダイアグラム法に基づく解析計算(Mathematicaを用いる)、(2)はモンテカルロ法や厳密対角化法に基づく数値計算、(3)は厳密対角化法と有効場理論を用いた解析計算を併用して行う。

### 4. 研究成果

平成26年度

まず、量子揺らぎによる質量生成の研究を行った。質量がゼロの粒子が量子揺らぎで有限の質量を持つ例が存在するが、量子揺らぎの効果は非常に小さく、観測は困難であった。我々はスピノールBECでは、量子揺らぎ起源のエネルギーギャップが系のゼロ点エネルギーの百倍にもなり、実験的観測が可能であることを示した。さらに、このモードの伝搬速度は量子揺らぎで減少することが分かった(Phys. Rev. Lett. 113, 230401 (2014))。同種ボソン系において、粒子間相互作用の強さを大きくすると無限個の離散スケール不変な粒子の束縛状態(エフィモフ状態)が現れる。エフィモフ状態は繰り込み群のリミットサイクルによってその普遍性が特徴づけられるという点で、ユニークな系である。我々は、この普遍性クラスとリミットサイクルの関係を初めて明らかにした(Phys. Rev. Lett. 114, 025301 (2015))。人工ゲージ場中の冷却原子系の示す、量子スピンホール効果における相互作用の効果を研究できる例として、我々は2成分ボース気体に反平行な人工磁場を印可した時間反転対称な系を解析し、分数量子スピンホール状態が斥力相互作用の領域まで安定に現れること、相互作用が引力の場合には2成分の粒子がペアを組んだ厳密な基底状態が現れることを示した(Phys. Rev. A90, 033602 (2014))。

平成27年度

フェッシュバッチ共鳴により共鳴的にp波相互作用をするフェルミ気体の普遍的性質についての研究を行った。その結果、軸対称性が自発的あるいは外部摂動によって破れることが明らかになった。ここでは、原子間の短距離相関が9成分からなるp波コンタクトテンソルによって完全に特徴づけられることを示した。このコンタクトテンソルは断熱掃引定理を通じて測定できることを示した。p波コンタクトテンソルの特徴的な性質は非対称トラップ中における正常ノーマルフェルミ気体および超流動相において発現することが現れることを示した。p波コンタクトテンソルを測定し、断熱掃引定理をテストする実験的スキームを議論した(Phys. Rev. Lett. 115, 135303 (2015))。

平成28年度

本基盤研究の提案の柱の一つであるフラストレート磁性の coarsening dynamics の研究を行った。具体的な系は、様々な幾何学的形状を持った光格子に強磁性的の微小な BEC を配置した系をフェルミ気体の中に配置した。この時、BEC がフェルミオンを介して反強磁性的相互作用を行う。光格子が3角形やカゴメ格子の場合は磁氣的フラストレーションが生じる。このフラストレーションが coarsening dynamics にどのような影響を与えるかが研究の題目であった。この問題を数値シミュレーションで研究を行い、幾何学的フラストレーションのために coarsening が抑圧されることが明らかになった。また、系の準安定状態が幾何学的フラストレーションによって安定化されることを見出した。特に、スピン相関長がスケーリング則に従うことを明らかにした。そして、その状態はランダムな外部雑音に対して安定であることが明らかになった。更に、その過程でトポロジカルな Z2 渦が発生することを見出した (Phys. Rev. A95, 13620 (2017))。

平成 29 年度

強く相互作用する強磁性的スピノールボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)が光格子に閉じ込められた場合に超流動 モット絶縁体転移がスカラー型とは異なった豊かな相図を示すことを絶対零度および有限温度で明らかにした(Phys. Rev. A96, 023628 (2017))。Li7 の超微細スピン 1 の BEC がこれに対応する。また、ETH の実験グループが観測した量子ポイントコンタクトにおける異常輸送を理論的に解明した(Phys. Rev. Lett. 118, 105303 (2017))。ポイントコンタクトの両側に存在する粒子浴が示す超流動揺らぎが点移転付近で増大することで粒子流が増大し、量子化プラトーがぼやけ、また、スピン流が減少することをすべて説明することに成功した。さらに、2 次元光格子に閉じ込められた原子が量子ゼノ効果によって異常量子ホール効果を示すことを指摘した(Phys. Rev. Lett. 118, 200401(2017))。これは、散逸下の原子系がエネルギーの低いフラットバンドに閉じ込められた結果、そこを運動する原子が非自明なベリー位相を獲得することから生じるユニークな物理効果である。特に、原子が境界に衝突すると、通常の反射ではなく、原子がやってきた方向と同じ方向へ反射する retroreflection が生じることを見出した。retroreflection は超伝導におけるアンドレ フ効果知られているが、ノーマル原子で同様の効果が起こることはこれまで知られていなかった。この効果は、冷却原子系において原子を制御する新たな方法を提示している。1 次元のスピノールボース気体においては、外部磁場を突然変化させてポーラ 相から強磁性相へとクエンチしたときの粗視化のダイナミックスの研究を行った。これも最近冷却原子気体の分野で注目を集めている問題である。ここでは特に、スピン相関長のダイナミカルなスケーリング則が従来知られているどのクラスにも属さない新しいクラスであることを指摘した(Phys. Rev. Lett. 120, 073002 (2017))。

## 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 46 件)

Ryusuke Hamazaki and Masahito Ueda, Atypicality of Most Few-Body Observables, Phys. Rev. Lett.120, 080603(2018). 査読有 080603-1-080603-6. 2018

DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.080603

Kazuya Fujimoto, Ryusuke Hamazaki, Masahito Ueda, Unconventional Universality Class of One-Dimensional Isolated Coarsening Dynamics in a Spinor Bose Gas, Phys. Rev. Lett. 120, 073002 (2018). 査読有 073002-1-073002-6. 2018

DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.073002

Zongping Gong, Ryusuke Hamazaki, and Masahito Ueda, Discrete Time-Crystalline Order in Cavity and Circuit QED Systems, Phys. Rev. Lett. 120, 040404 (2018). 査読有 040404-1-040404-6. 2018

DOI:10.1103/PhysRevLett.120.040404

Shunsuke Furukawa and Masahito Ueda, Quantum Hall phase diagram of two-component Bose gases: Intercomponent entanglement and pseudopotentials, Phys. Rev. A 96, 053626 (2017). 査読有 053626-1-053626-12. 2017

DOI: 10.1103/PhysRevA.96.053626

Kohei Kawabata, Yuto Ashida, and Masahito Ueda, Information Retrieval and Criticality in Parity-Time-Symmetric Systems, Phys. Rev. Lett. 119, 190401 (2017). 査読有 190401-1-190401-6. 2017

DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.190401

Yuto Murashita, Zongping Gong, Yuto Ashida, and Masahito Ueda, Fluctuation theorems in feedback-controlled open quantum systems: Quantum coherence and absolute irreversibility, Phys. Rev. A 96, 043840(2017). 査読有 043840-1-043840-14. 2017

DOI: 10.1103/PhysRevA.96.043840

Kohaku H. Z. So and Masahito Ueda, Strongly spinor ferromagnetic Bose gases, Phys. Rev. A 96, 023628 (2017). 査読有 023628-1-023628-8. 2017

DOI: 10.1103/PhysRevA.96.023628

Yuto Ashida, Shunsuke Furukawa, and Masahito Ueda, Parity-time-symmetric quantum critical phenomena, Nat. Commun. 8, 15791 (2017). 査読有 1-6. 2017

doi:10.1038/ncomms15791

Zongping Gong, Sho Higashikawa, and Masahito Ueda, Zeno Hall Effect, Phys. Rev. Lett. 118, 200401 (2017), 査読有 200401-1-200401-6. 2017, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.200401>

- Shun Uchino and Masahito Ueda, Anomalous Transport in the Superfluid Fluctuation Regime, *Phys. Rev. Lett.* 118, 105303 (2017). 査読有 105303-1-6. 2017  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.105303
- Ken Funo, Jing-Ning Zhang, Cyril Chatou, Kihwan Kim, Masahito Ueda, and Adolfo del Campo, Universal Work Fluctuations During Shortcuts to Adiabaticity by Counterdiabatic Driving, *Phys. Rev. Lett.* 118, 100602 (2017). 査読有 100602-1-6. 2017, DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.100602
- Yuto Murashita and Masahito Ueda, Gibbs Paradox Revisited from the Fluctuation Theorem with Absolute Irreversibility, *Phys. Rev. Lett.* 118, 060601 (2017). 査読有 60601-1-5. 2017  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.060601
- Nguyen Thanh Phuc, Tsutomu Momoi, Shunsuke Furukawa, Yuki Kawaguchi, Takeshi Fukuhara, and Masahito Ueda, Geometrically frustrated coarsening dynamics in spinor Bose-Fermi mixtures, *Phys. Rev. A* 95, 013620 (2017). 査読有 013620-1-12. 2017  
DOI: 10.1103/PhysRevA.95.013620
- Hiroaki Ishizuka, Tomoya Hayata, Masahito Ueda, and Naoto Nagaosa, Emergent Electromagnetic Induction and Adiabatic Charge Pumping in Noncentrosymmetric Weyl Semimetals, *Phys. Rev. Lett.* 117, 216601 (2016). 査読有 216601-1-5. 2016  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.216601
- Tomohiro Shitara and Masahito Ueda, Determining the continuous family of quantum Fisher information from linear-response theory, *Phys. Rev. A* 94, 062316 (2016). 査読有 062316-1-7. 2016  
DOI: 10.1103/PhysRevA.94.062316
- Yusuke Horinouchi and Masahito Ueda, Topological origin of universal few-body clusters in Efimov physics, *Phys. Rev. A* 94, 050702(R) (2016). 査読有 050702-1-6. 2016  
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.94.050702>
- Yuto Ashida, Shunsuke Furukawa, and Masahito Ueda, Quantum critical behavior influenced by measurement backaction in ultracold gases, *Phys. Rev. A* 94, 053615 (2016). 査読有 053615-1-11. 2016  
DOI: 10.1103/PhysRevA.94.053615
- Shuhei M. Yoshida and Masahito Ueda, p-wave contact tensor: Universal properties of axisymmetry-broken p-wave Fermi gases, *Phys. Rev. A* 94, 033611 (2016). 査読有 033611-1-5. 2016  
DOI: 10.1103/PhysRevA.94.033611
- Zongping Gong, Yuto Ashida, and Masahito Ueda, Quantum-trajectory thermodynamics with discrete feedback control, *Phys. Rev. A* 94, 012107 (2016). 査読有 012107-1-19. 2016, DOI: 10.1103/PhysRevA.94.012107
- Tomohiro Shitara, Yui Kuramochi and Masahito Ueda, Trade-off relation between information and disturbance in quantum measurement, *Phys. Rev. A* 93, 032134 (2016). 査読有 032134-1-5, 2016  
DOI: 10.1103/PhysRevA.93.032134
- ⑳ Yuto Ashida and Masahito Ueda, Precise multi-emitter localization method for fast super-resolution imaging, *Optics Letters*, 41, 72-75 (2016). 査読有 72-75, 2015, <https://doi.org/10.1364/OL.41.00007>
- ㉑ Ken Funo and Masahito Ueda, Work Fluctuation-Dissipation Trade-Off in Heat Engines, *Phys. Rev. Lett.* 115, 260601 (2015). 査読有 260601-1-5, 2015  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.260601
- ㉒ Eriko Kaminishi, Takashi Mori, Tatsuhiko N. Ikeda and Masahito Ueda, Entanglement pre-thermalization in a one-dimensional Bose gas, *Nature Physics*, 11, 1050-1056 (2015). 査読有 1050-1056, 2015  
DOI: 10.1038/NPHYS3478
- ㉓ Shunsuke Furukawa and Masahito Ueda, Excitation band topology and edge matter waves in Bose-Einstein condensates in optical lattices, *New J. Phys.* 17, 115014 (2015). 査読有 1-17, 2015  
doi:10.1088/1367-2630/17/11/115014
- ㉔ Shuhei M. Yoshida and Masahito Ueda, Universal High-Momentum Asymptote and Thermodynamic Relations in a Spinless Fermi Gas with a Resonant p-Wave Interaction, *Phys. Rev. Lett.*, 115, 135303 (2015). 査読有 135303-1-5, 2015  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.135303
- ㉕ Nguyen Thanh Phuc, Gen Tatara, Yuki Kawaguchi and Masahito Ueda, Controlling and probing non-abelian emergent gauge potentials in spinor Bose-Fermi mixtures, *Nature Communications* 6, 8135 (2015). 査読有 1-8, 2015, DOI: 10.1038/ncomms9135,
- ㉖ Yuto Ashida and Masahito Ueda, Diffraction-Unlimited Position Measurement of Ultracold Atoms in an Optical Lattice, *Phys. Rev. Lett.* 115, 095301 (2015). 査読有 095301-1-6, 2015  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.095301
- ㉗ Tatsuhiko N. Ikeda and Masahito Ueda, How accurately can the microcanonical ensemble describe small isolated quantum systems?, *Phys. Rev. E* 92, 020102 (2015). 査読有 020102-1-6, 2015  
DOI: 10.1103/PhysRevE.92.020102
- ㉘ Yusuke Horinouchi and Masahito Ueda, Onset of a Limit Cycle and Universal Three-Body Parameter in Efimov Physics, *Phys. Rev. Lett.* 114, 025301 (2015). 査読有 02531-1-5, 2015

DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.025301

- ③⑩ Nguyen Thanh Phuc, Yuki Kawaguchi, Masahito Ueda, Quantum Mass Acquisition in Spinor Bose-Einstein Condensates, Phys. Rev. Lett.113, 230401 (2014). 査読有 230401-1-5, 2014

DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.230401

- ③⑪ Masahito Ueda, Topological aspects in spinor Bose-Einstein condensates (Key Issues Review), Rep. Prog. Phys.vol.77, 122401 (2014). 査読有 1-17, 2014

DOI:10.1088/0034-4885/77/12/122401

- ③⑫ Shunsuke Furukawa, Masahito Ueda, Global phase diagram of two-component Bose gases in antiparallel magnetic fields, Phys. Rev. A 90, 033602 (2014). 査読有 033602-1-11, 2014

DOI: 10.1103/PhysRevA.90.033602

その他 14 件

〔学会発表〕(計 36 件)

M. Ueda, Atypicality of most few-body observables, Quantum Many-Body Systems Far from Equilibrium: Quench Dynamics, Thermalisation, and Many-Body Localisation, March 11-16, 2018, Stellenbosch, South Africa

M. Ueda, Zeno Hall Effect, Dynamics in Artificial Quantum Systems, January 15-17, 2018, Tokyo, Japan

M. Ueda, Zeno Hall Effect and Spin Hall Effect with Space Inversion Symmetry, Workshop on Long-Range Interaction in Atomic Systems: magnetic Dipoles, Rydberg Atoms and Ions, December 3-10, 2017, Sao Carlos, Brazil

M. Ueda, Quantum many-body dynamics under continuous observation, Quantum Thermodynamics: Thermalization and Fluctuations, September 26-30, 2017, Kyoto, Japan

M. Ueda, Dynamics of continuously monitored quantum many-body systems, Quantum Optix IX Conference, September 17-23, 2017, Gdansk, Poland

M. Ueda, Quantum many-body dynamics and critical phenomena under continuous observation, Information Engines at the Frontiers of Nanoscale Thermodynamics, August 6-14, 2017, Telluride, USA

M. Ueda, Quantum Zeno Hall Effect, International Workshop on Topological Structures in Quantum Matter, June 12-15, 2017, Hanasaari, Finland

M. Ueda, Gibbs paradox in mesoscopic systems, Fundamental Aspects of Statistical Physics and Thermodynamics, March 26-30, 2017, Bielefeld, Germany

M. Ueda, Quantum many-body dynamics and

critical phenomena under continuous observation, Quantum Dynamics: from Models to Materials, January 15-21, 2017, Aspen, USA

M. Ueda, Topological Quantum Phenomena in Spinor Bose-Einstein Condensates, The 13th Joint Asia Pacific Physics Conference (APPC), December 4-8, 2016, Brisbane, Australia, 基調講演

M. Ueda, Topological quantum phenomena in spinor Bose-Einstein condensates, Multicomponent Atomic Condensates and Rotational Dynamics (MACRO) Conference and JQC Symposium, September 13-16, 2016, New Castle, UK, 基調講演

M. Ueda, Entanglement pre-thermalization in a Bose gas, Information Engines at the Frontiers of Nanoscale Thermodynamics, June 23-June 28, 2016, Telluride, USA

M. Ueda, Gibbs paradox and entanglement pre-thermalization in a Bose gas, Quantum Non-Equilibrium Phenomena, June 6-18, 2016, Natal, Brazil

M. Ueda, Controlling and Probing Non-Abelianness and Quantum Mass Acquisition in Spinor Condensates, Topological Phase in Condensed Matter and Cold Atomic Systems, December 11-19, 2015, Hong Kong, China

M. Ueda, Gibbs Paradox and Entanglement Prethermalization, Towards thermodynamics with quantum systems, October 11-16, 2015, Porquerolle, France

M. Ueda, Entanglement pre-thermalization in a Bose gas, The 12th US-Japan Seminar on many body quantum systems: from quantum gases to metrology and information processing, September 19-25, 2015, Madison, USA

M. Ueda, Resolving the Gibbs Paradox in Small Thermodynamic Systems, Thermodynamics and Nonlinear Dynamics in the Information age, July 13-17, 2015, Telluride, USA

M. Ueda, Crossover sessions. Few-body universality from atoms to nuclei, The 21st International Conference on Few-body Problems in Physics, May 18-22, 2015, Chicago, USA

M. Ueda, Absolute Irreversibility in Nonequilibrium Processes under Feedback Control, Workshop on Quantum Information and Thermodynamics, February 23-27, 2015, Sao Paulo, Brazil

M. Ueda, Topological Excitations of Bose-Einstein Condensates, IAS/School of Science Joint Lecture, Hong Kong University of Science and Technology, September 18, 2014, Hong Kong, China

- ②⑪ M. Ueda, Absolute Irreversibility and

Nonequilibrium Equalities under Feedback Control, International Conference on Control of Self-Organizing Nonlinear Systems, August 25-28, 2014., Rostock, Germany

- ② M. Ueda, Absolute Irreversibility and New Nonequilibrium Equalities, Shortcuts to Adiabaticity, Optimal Quantum Control, and Thermodynamics Conference, July 13-July 18, 2014, Telluride, USA
- ③ M. Ueda, Physical Origin of the Universality of the Three-Body Parameter in Efimov Physics, Conference on Non-equilibrium Phenomena in Condensed Matter and String Theory, June 30-July 4, 2014, Trieste, Italy

その他 13 件

〔その他〕

アウトリーチ活動情報(計 20 件)

イノベーションスクール研究基礎力育成コース「考える力の鍛え方」国立研究開発法人 産業技術総合研究所つくば中央 情報等・交流会議室 2017 年 12 月 1 日

日本物理学会科学セミナー 東京大学駒場キャンパス 2017 年 8 月 19 日

第 12 回「創造性の育成塾」東レ総合研修センター(静岡県三島市) 2017 年 7 月 30 日

第 32 回湯川記念講演会「事実小説より奇なり～量子の世界への誘い」大阪大学湯川記念室・佐治敬三メモリアルホール

第 11 回「創造性の育成塾」東レ総合研修センター(静岡県三島市) 2016 年 7 月 30 日

講演会「考える力を鍛える」町田市役所 2016 年 2 月 1 日

講演会『「脱マニュアル型思考」～東大物理学者に聞く「考える力」の鍛え方』愛知県名古屋市 名古屋商工会議所ビル 2015 年 11 月 26 日

高大接続改革システム会議基調講演「大学入試改革対応先取りセミナー～高大接続改革で何が変わるのか」リーガロイヤルホテル東京 2015 年 8 月 6 日

第 10 回「創造性の育成塾」山梨県富士吉田市(一財)人材開発センター富士研修所 2015 年 8 月 2 日

講演会『「考える力」「伝える力」の鍛え方』埼玉・越谷コミュニティーセンター大ホール(埼玉県立北越谷高校) 2015 年 7 月 9 日

第 9 回「創造性の育成塾」にて講演富士 Calm(大月) 2014 年 8 月 2 日

その他 9 件

ホームページ等

<http://cat.phys.s.u-tokyo.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 正仁 (UEDA, Masahito)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号: 70271070