

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26287063

研究課題名(和文)3次元電子正孔系におけるポリ励起子相出現可能性の理論的解明

研究課題名(英文)The possibility of poly-exciton in electron hole systems

研究代表者

前園 涼 (Maezono, Ryo)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：40354146

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,300,000円

研究成果の概要(和文)：拡散モンテカルロ法を用い電子正孔ガスの相図を解明した。「実効相互作用+励起子複合体のみの波動関数」と記述し、「電子正孔質量比(量子ダイナミクス効果)」と「実効相互作用の遮蔽パラメータ(電子相関効果)」の2パラメータ空間で相図を構成し「ドナー不純物に束縛される励起子の安定化程度」に基本的な情報を提供した。電子ガス模型での展開と並行し、層状カルコゲナイドなど遷移金属化合物系層状物質の解析にも研究展開し、具体的なバンド構造から有効質量模型に持ち込む過程で非自明な不安定格子振動モードを発見するなどの成果を得た。

研究成果の概要(英文)：Phase diagrams of electron-hole systems are investigated by using diffusion Monte Carlo method. The system is modelled by the effective inter-particle interactions with tunable parameters for the Coulombic screenings and the mass ratio between electrons and holes. A phase diagram is evaluated as a function of the screening strength (representing electronic correlation effect) and the mass ratio (quantum dynamics of nuclei). It may describe how much stable when an exciton is bound by a donor impurity in semiconductors. As well as the work on electron-hole models, we worked on real materials, such as layered pnictides, to estimate realistic parameters for the ratio and screening effects. On the investigations, we found the lattice instability through its phonon properties and made an successful explanation of the experimental facts under intensive debates about the origin of the instability.

研究分野：多体電子論、量子エレクトロニクス

キーワード：ポリ励起子 拡散モンテカルロ 電子相関 電子正孔ガス 間接遷移型半導体 トリオン

1. 研究開始当初の背景

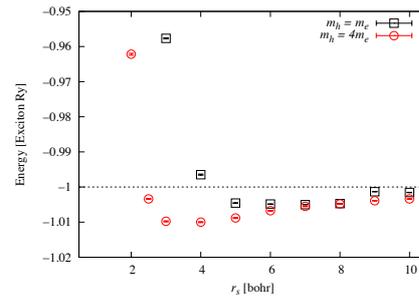
光照射で発生する物質中励起子はフォトニクスの素過程を担う。ナノテク物質設計により電子や励起子の密度を広範囲で調整し、励起子間相互作用を自在に操って新奇機能物性を引き出す取組みが行われている。電子正孔系はまた、多体電子系における「引力ポテンシャルによる束縛と、遮蔽による遍歴化との拮抗」(モット転移の着想原義)の問題を、よく制御された実験で取扱う舞台を提供しており、その理論的説明は、量子多体問題の学理上も重要な課題とされる。その歴史は古く、様々な理論アプローチが挑戦を重ねてきたが、各種極限展開が破綻する揺らぎの大きな電子相関の取扱いに起因して、励起子モット転移の理論再現自体が難しく、新奇相出現に関する興味深い様々なコンジェクチャに対して、決定的な理論説明には至っていない。

間接遷移型半導体を対象とした近年の精力的な実験では、液滴、ポリ励起子相、電子/正孔数が異なるインバランス・クラスタ相といった新奇相の観測が報告されている[1]。特に、励起子が3つ以上で集合体を組んだポリ励起子相は、現実物質の持つバンド縮退自由度と、不可弁別粒子の排他律との競合で、その安定存在が支配されており、こうした競合機構は、フォトニクス物質設計上の基礎に関わる新しく重要な課題である。これら複雑化した問題設定は、従来の理論アプローチをより困難とし、量子モンテカルロ法による数値変分法のみが客観的信頼性の高い知見開拓の途となる。研究代表者は、電子相関起因の困難克服を目的に、量子多体相関に最も信頼性の高い量子拡散モンテカルロ法による密度行列/対分布関数解析を組合せ、対生成の秩序パラメータと空間構造を直接算定出来る枠組みを構築し、良好な進捗を辿り[2]、研究開始時点までに半導体二層膜系を対象とした励起子モット転移の理論的記述に成功を収めていた。

2. 研究の目的

本研究では、実験説明に精力的取組みが進む間接遷移型半導体を舞台としたポリ励起子相の可能性説明を期間内最終目標に据え、量子拡散モンテカルロ密度行列/対分布関数解析法[2]を用いて、大域的相図を説明する理論的研究を行う事を目的とした。この目標に向け、以下の3段階に小目標を設定し、段階的に研究を進めた:「イ/3次元系に対する励起子モット転移の理論記述の確立;申請者が確立した半導体二層膜系対象の当該手法を、3次元電子正孔系に適用し、まずは、定式化や実装の検証を主目的に、電子正孔質量比=1の系に限定し、プラズマ相、励起子気体/分子/ウィグナー固相の大域的相図の記述を成功させる」、「ロ/質量比の影響、液滴相とインバランス励起子相の探索・検証;当該

相の実験的検証舞台であるシリコンやダイヤモンドに呼応する範囲で、電子正孔質量比を変化させ、相図の系統的变化、液滴相やインバランス相(電子/正孔の数が一致しない束縛状態)の安定出現可否などのトレンドなどを解明する」、「ハ/多谷効果によるポリ励起子相安定化の解析;申請者の当該解析法[2]は、電子/正孔を超え3種以上の可弁別粒子種を任意の質量比で扱う事が可能ゆえ、これを用いて多谷効果(バンド縮退による可弁別性導入)をモデル化し、スピン排他律抑制でポリ励起子が安定化されるというシナリオ[1]に対する検証を行う」。



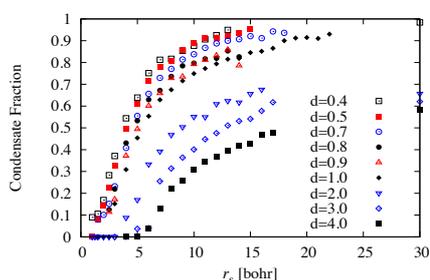
[図1] 3次元電子正孔系の様々な質量比に対するエネルギー値の粒子濃度依存性(申請者による計算/未発表)。横軸右側の希薄領域に向けて、エネルギー値は孤立単一励起子の極限値に漸近する。下から漸近する振舞いは中濃度領域で複数の励起子が結合を形成し、より安定化する事に呼応する。

3. 研究の方法

研究の性質上、励起子液滴やポリ励起子相の出現を、極めて高い客観性を以て検証する必要から、恣意的近似を極力排した信頼性の高い、以下の特色を持った第一原理手法を用いた:「A/電子相関に最も信頼性の高い量子拡散モンテカルロ法を用いる(通常の方法では電子相関の扱いが理論近似の適用範囲を外れ大域的相図探索は不可能)」、「B/エネルギー交点による相境界同定ではなく秩序パラメータ直接算定で励起子形成を記述(エネルギー交点法では、量子臨界現象としての詳細な振舞いは記述不可能)」、「C/対分布関数やスナップショット解析により空間秩序構造を同定している(特に液滴相やポリ励起子相では、この方法以外で現実的なコストでの評価は不可能)」

こうしたアプローチで電子正孔系に成果を挙げているグループは国際的にも他になく、特に国内においては、当該手法を専門とするコミュニティ自体が存在しない特色ある研究である。励起子液滴やポリ励起子相を安定化する機構については、数々のシナリオ提案があるが、いずれも、模型理論における遮蔽の取り入れ方や頂点補正の有無など、電子相関の取扱い次第で大きく結論が変わってしまうことから、決定的な機構説明には至っていなかった[3]。本研究により電子相関

に関する「曇り」が取り払われ、安定化機構の「より説得力あるトレンド予測」が可能となり、実験的研究も加速される。我々の枠組みは、その信頼性故に、近年では数々の模型理論の参照標準としても引用されている[3]。



[図 2] 申請者の方法による非対角長距離の直接算定[2]。層間距離が大きい場合秩序パラメタは希薄領域に向けて立ち上がる。

4. 研究成果

研究期間中、2次元2層膜系での成果が以下のように連鎖的に波及・急展開した：我々の成果[2]は、特に高密度領域での予見について、一部の期待にそぐわない事実を結論し、当初、厳しい批判に曝されたが、主に実験分野からの議論に基づいて、徐々に、その結論が受け入れられつつある：当該系で励起子が発生すれば、コストリッツ・サウレス転移/超流動の振舞いが期待されるが、実験的には依然、観測がなされず、これが我々の励起子消失予見に起因するという着想が提起された。これを受けて一連の模型計算検証が、我々の結果を追う形でなされ、現在では、多体遮蔽模型の建て方に対する参照標準として我々の成果が引用されている。こうした波及を受けて、層状カルコゲナイドなど、半導体二層膜とは異なる遷移金属化合物系層状物質の解析に研究を展開した。特に、新学術領域研究「複合アニオン化合物の創製と新機能」分野の実験研究者(京大/陰山教授グループ)と協力し、ある種の層状系で観測される長い励起子寿命の機構解明に関する研究を進めるうち、具体的なバンド構造から有効質量模型に持ち込む過程で、非自明な不安定格子振動モードを発見するなどの成果を得た[4]。こうした経緯を経て、国際的にも研究進展の急激な遷移金属化合物系層状物質を対象をシフトして研究が加速し、そこでの励起子物性、特に長い励起子寿命の機構解明を目的に、不純物への励起子捕縛に関する研究が進展中となっている。

- [1] J. Omachi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **111**, 026402 (2013).
- [2] R. Maezono *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 216407 (2013).
- [3] A. Perali *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 146803 (2013).
- [4] K. Nakano, K. Hongo, and R. Maezono, Scientific Reports **6**, 29661 (2016).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

1. J. Trail, B. Monserrat, P.L. Rios, R. Maezono, and R.J. Needs, "Quantum Monte Carlo study of the energetics of rutile, anatase, brookite and columbite TiO₂ polymorphs", Phys. Rev. B **95**, 121108(R) (2017). (IF = 5.1) DOI: 10.1103/PhysRevB.95.121108, 査読有
2. H. Ikebata, K. Hongo, T. Isomura, R. Maezono, and R. Yoshida, "Bayesian Molecular Design with A Chemical Language Model", J. Comput. Aided Mol. Des. **31**, 379-391 (2017) (IF = 3.199). DOI 10.1007/s10822-016-0008-z, 査読有
3. Nugraha, A.G. Saputro, M.K. Agusta, B. Yulianto, H.K. Dipojono, F. Rusydi, and R. Maezono, "Selectivity of CO and NO adsorption on ZnO (0002) surfaces: A DFT investigation", Applied Surface Science **410**, 373-382 (2017). (IF = 3.150). <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.009>, 査読有
4. A. Jomphoak, R. Maezono, T. Onjun, "Density functional theory of graphene/Cu phthalocyanine composite material", Surf. Coat. Tech. **306**, 236-239 (2016). (IF = 2.199)., DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.06.015, 査読有
5. K. Nakano, K. Hongo, and R. Maezono, "Phonon dispersions and Fermi surfaces nesting explaining the variety of charge ordering in titanium-oxypnictides superconductors", Scientific Reports **6**, 29661 (2016). (IF = 5.078), doi:10.1038/srep29661, 査読有
6. Y. Takada, R. Maezono, and K. Yoshizawa, "Emergence of a Kondo singlet state with the Kondo temperature well beyond 1,000K in the proton-embedded electron gas", Phys. Rev. B. **92**, 155140:1-11 (2015). (IF = 3.767), DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.92.155140>, 査読有
7. M.O. Atambo, N.W. Makau, G.O. Amolo, and R. Maezono, "QMC and phonon study of super-hard cubic boron carbon nitride", Mater. Res. Express **2**, 105902:1-7 (2015). (IF = 0.968), DOI: 10.1088/2053-1591/2/10/105902, 査読有
8. K. Hongo and T. Iitaka, M. Watson, A. Aspuru-Guzik, and R. Maezono, "Diffusion Monte Carlo study of Para-Diiodobenzene Polymorphism Revisited", J. Chem. Theory Comput., **11**, 907-917 (2015). (IF = 5.39) DOI: 10.1021/ct500401p, 査読有

9. A. J. Misquitta, R. Maezono, N. D. Drummond, A. J. Stone, and R. J. Needs., "Anomalous non-additive dispersion interactions in systems of three one-dimensional wires", Phys. Rev. B 89, 045140:1-9 (2014) (IF = 3.767), DOI: 10.1103/PhysRevB.89.045140, 査読有

[学会発表] (計 24 件)

1. R. MAEZONO, "Electronic structure calculation using Diffusion Monte Carlo methods", 2017/08/10 (invited/to be given), The 9th Conference of the Asian Consortium on Computational Materials Science (ACCM-9), Berjaya Times Square Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia.
2. 前園涼, 物質材料シミュレーションの垂直展開に向けて, 2017/04/07, 第30期 CAMM フォーラム本例会(社団法人 企業研究会), 社団法人企業研究会, アイビーホール青学会館, 渋谷区, 東京都
3. Kenta Hongo, Kousuke Nakano, Ryo Maezono, Phonon-induced superlattice structures in titanium-oxypnictides superconductors, 2017/03/15, APS March Meeting 2017, New Orleans, Louisiana, USA
4. K. Hongo and R. Maezono, "Materials Informatics based on Bayesian Inference", 2017/01/18 (invited/keynote talk, 60/min.), Third Asian Conference on Defence Technology (ACDT2017), Phuket, Thailand.
5. A. Jomphoak, T. Onjun, and R. Maezono, Self-Interaction Effects of Metal Phthalocyanines on Graphene: A DFT Study, 2017/01/13, Total Energy and Force Methods, International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy
6. 中野晃佑、前園涼、サンドロ・ソレラ, 量子モンテカルロ法による1次元水素鎖のフォース算定, 2016/09/15, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 金沢大学角間キャンパス, 石川県金沢市
7. A. Jomphoak, R. Maezono, and T. Onjun, Density Functional Theory of Graphene/Metallophthalocyanines: Electronic Structure of CuPc, NiPc, and CoPc on Graphene, 2016/08/08, The International Conference on Advances in Functional Materials (AFM 2016), Jeju Island, South Korea.
8. R. Maezono, "Anomalous non-additive dispersion interactions between metallic nano-wires investigated by diffusion Monte Carlo methods", 2016/07/26 (invited), 19th International Conference on Superlattices, Nanostructures and Nanodevices (ICSNN 2016), City University of Hong Kong, China.
9. R. MAEZONO, "Basic concepts in ab-initio phonon evaluations", 2016/06/16 (invited), 4th African School on 'Electronic Structure Methods and Applications' (ASESMA-2016), University of Ghana, Accra, Ghana.
10. R. Maezono and Kenta Hongo, "Evaluation of Hamaker coefficients using Diffusion Monte Carlo method", 2016/06/07 (invited), 5th Annual World Congress of Advanced Materials-2016 (WCAM-2016), Chongqing Yuelai International Conference Center, Chongqing, China.
11. T. Ichibha, K. Hongo and R. Maezono, A DMC study on FePc electronic state, APS March Meeting 2016, 2016/03/14, Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA
12. K. Hongo and R. Maezono, Evaluation of Hamaker coefficients using Diffusion Monte Carlo method, 2016/03/14, APS March Meeting 2016, Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA
13. R. Maezono, "Nano Materials Science and Super Computing", 2016/01/21 (invited/keynote talk, 60/min.), Second Asian Conference on Defence Technology (ACDT2016), Le Meridian Chiang Mai, Chiang Mai, Thailand.
14. K. Hongo and R. Maezono, QMC high performance computing of molecular interactions, 2015/12/18, Pacificchem 2015, Honolulu, Hawaii, USA.
15. 前園涼、パブロ・リオス、ジョン・トレイル、リチャード・ニーズ, 新しいダブルチャンネル型擬ポテンシャルを用いたチタン酸化物の第一原理計算, 2015/9/18, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 関西大学千里山キャンパス, 大阪府吹田市
16. K. Hongo, N. T. Cuong, and R. Maezono, Electron Correlation on DNA Stacking: A Quantum Monte Carlo Study, 2015/09/09, Psi-k 2015 Conference, Kursaal Congress Centre, San Sebastián, Spain.
17. Ryo MAEZONO, "Electronic structure calculation using Diffusion Monte Carlo methods", 2015/4/15, EMN Meeting on Quantum Technology, Beijing Xijiao Hotel, Beijing, China
18. R. Maezono, Excitons and Biexcitons in symmetric electron-hole bilayers,

2015/2/21, CMSI International Workshop on New Frontier of Numerical Methods for Many-Body Correlations, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo

19. Ryo MAEZONO, "Electronic Structure Calculations using Quantum Monte Carlo method", 2015/1/23, 3rd African School on 'Electronic Structure Methods and Applications' (ASESMA-2014), University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa.
20. R. Maezono, Excitons and Biexcitons in symmetric electron-hole bilayers, 第5回 CMSI 研究会, 2014/12/9, 東北大学金属材料研究所, Sendai, Miyagi
21. K. Hongo, R. Maezono, Quantum Monte Carlo simulations of molecular crystal polymorphism on the K supercomputer, International symposium on Computics: Quantum Simulation and Design ISC-QSD2014, 2014/12/2, Koshiba Hall, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo
22. 前園涼, "電子正孔系に対する密度行列・対分布関数を用いた相図同定", 2014/11/21, 第8回物性科学領域横断研究会, 大阪大学豊中キャンパスシグマホール、大阪府豊中市
23. Ryo MAEZONO, Kenta Hongo, Tack Uyeda, Nao Nischi, "Electronic Structure Calculations using Quantum Monte Carlo method", 2014/9/8-2014/9/14, 公益財団法人交流協会平成26年度採択若手研究者交流事業, 中央研究院/台北、東華大学/花蓮, 成功大学/台南, 中華民国
24. R. Maezono, P.L. Rios, T. Ogawa and R.J. Needs, Excitons and biexcitons in symmetric electron-hole bilayers, 7th International Conference on Spontaneous Coherence in Excitonic Systems (ICSCE-7), 2014/4/22, ザ・プリンス箱根 Hakone, Kanagawa, Japan.

[図書] (計1件)

1. K. Hongo and R. Maezono, "Practical diffusion Monte Carlo simulations for large noncovalent systems" (非共有結合分子系の大規模量子拡散モンテカルロ計算), Chapter 9, pp 127-143, in ACS Books "Recent Progress in Quantum Monte Carlo", (ACS Symposium Series, Vol. 1234), Shigenori Tanaka, Pierre-Nicholas Roy, Lubos Mitas, eds., American Chemical Society., DOI: 10.1021/bk-2016-1234.ch009

[産業財産権]

該当なし

[その他]

1. "Hands-on session: Constructing MPI parallel simulation using hand-made PC cluster"/国際会議 2017/01/18-2017/01/19, 主催・共催/Third Asian Conference on Defence Technology (ACDT2017)企画/前園グループ(単一グループでの企画), 開催場所/タイ・プーケット(参加人数10名/タイ防衛技術研究所、タイ国立電子コンピュータ技術研究センター、タマサート大学、マヒドン大学)
2. "Frontier Scientists/Engineers with Global Sense/Ser. II (2016FY); 'Materials Science and High Performance Computing'"/国際会議 2017/01/07-2017/01/16, 主催・共催/文科省「平成26年度採択/大学の世界展開力強化事業」企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学系, 参加人数8名/インド工科大ガンディガナール校から学生4名、教員1名、マドラス校から教員1名
3. "JAIST-India International school 2016/Materials Science simulations"/国際会議 2016/12/12/Mon-12/17/Sat 主催・共催/文科省「機能強化経費事業」企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/インド工科大マドラス校 参加人数29名/インド工科大マドラス校(17)、以下各1名[インド工科大ボンベイ校/アンナ大/Sandvik Sci. Tech. (Pune)/GE Global Res. (Bangalore)], 日本からの派遣(7名)
4. "Japan-Asia Youth Exchange Program in Science2016/QMC Electronic Structure Calculation"/国際会議 2016/07/11-2016/07/20, 主催・共催/「日本・アジア青少年サイエンス交流事業」(さくらサイエンスプラン) 企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学系参加人数8名/アジア学部生(インド、マレーシア、タイ、ベトナム)
5. "平成28年度SPH第1回先端技術講義III「コンピュータと物質科学」/国内講演(90 min.)2016/07/11, 主催・共催/(独)科学技術振興機構「平成26年度採択スーパー・プロフェッショナル・ハイスクール推進事業」企画/石川県立工業高校 開催場所/石川県立工業高校・多目的ホール 参加人数79名/電気科・電子情報科3年
6. "IITM, Workshop on materials simulation 2016"/国際会議 2016/07/03-2016/07/09 主催・共催/インド工科大マドラス校 企画/前園グループ(JAIST)・ハリクマルグループ(インド工科大マドラス校)開催場所/インド工科大マドラス校(インド/

- チェンナイ) 参加人数 25 名/前園研究室からの派遣(4名)
7. "The 1st International Symposium of Energy & Environment in JAIST"/国際会議 2016/02/26, 主催/北陸先端科学技術大学院大学 企画/北陸先端科学技術大学院大学・エネルギー環境領域 開催場所/石川県ハイテク交流センター 参加人数 30 名/企画委員として、個人的コネクションから、以下の 2 名を招聘 Prof. Richard M. Martin/米国物理学会フェロー・イリノイ大学名誉教授/電子状態計算 Prof. Yoshio Oyanagi(小柳義夫)/東京大学名誉教授・神戸大学特命教授/スパコン科学
 8. 第一回 JAIST-ISM シンポジウム「シミュレーション科学とデータ科学の協働/国内会議 2016/01/27, 主催/北陸先端科学技術大学院大学・統計数理研究所 企画/北陸先端科学技術大学院大学・前園グループ 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科 参加人数 20 名(国立情報学研究所、統計数理研究所、北陸先端大)
 9. "マテリアルズインフォマテックスに関するワークショップ"/国内会議 2015/10/14, 主催/北陸先端科学技術大学院大学 シミュレーション科学研究センター 企画/北陸先端科学技術大学院大学 シミュレーション科学研究センター(センター長代行として企画とりまとめ) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科参加人数 17 名/本学、金沢大学、東京大学、および、物質・材料研究機構から
 10. "Frontier Scientists/Engineers with Global Sense/Ser. I (2015FY); 'Materials Science and High Performance Computing'"/国際会議 2015/09/27-2015/10/05 主催・共催/文科省「平成 26 年度大学の世界展開力強化事業」企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科 参加人数 8 名/インド工科大ガンディガナール校から学生 4 名、教員 1 名、マドラス校から教員 1 名
 11. "Japan-Asia Youth Exchange Program in Science 2015/QMC Electronic Structure Calculation"/国際会議 2015/07/05-2015/07/25, 主催・共催/「日本・アジア青少年サイエンス交流事業」(さくらサイエンスプラン) 企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科 参加人数 8 名/アジア学部生(インド、マレーシア、タイ、ベトナム、インドネシア)
 12. "平成 27 年度 SPH 第 1 回先端技術講義 I 「コンピュータと物質科学」/国内講演 2015/06/12, 主催・共催/(独) 科学技術振興機構「平成 26 年度採択スーパー・プロフェッショナル・ハイスクール推進事業」企画/石川県立工業高校 開催場所/石川県立工業高校・多目的ホール 参加人数 80 名/電気科 1 年生 40 名、電子情報科 1 年生 40 名
 13. "JAIST-India International school 2014/Quantum Monte Carlo Electronic Structure Calculation"/国際会議 2015/3/23-2015/3/27 主催・共催/文科省特別経費「新興国の成長と同期した高い国際競争力を有する人材育成プログラムー協働実体験型大学院教育による高度専門技術者の養成ー」企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/S. N. Bose National Centre for Basic Science (インド・コルカタ) 参加人数 25 名/講師(英国、台湾、日本)、参加者(日本、イラン、インド、ロシア、マレーシア、タイ、ベトナム、インドネシア)
 14. "平成 26 年度サイエンスキャンプ/自作パソコンを繋げてスーパーコンピュータを作ってみる"/国内会議 2014/8/19-2014/8/21, 主催・共催/(独) 科学技術振興機構 企画/前園グループ(単一グループでの企画) 開催場所/北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科 参加人数 8 名/国内高校生(東京、兵庫、愛知、大阪、長崎、石川)
 - *「高校生がスパコン自作に挑む」, 2014/8/20, 北國新聞
 - *「高校生スパコン作り・先端大で体験合宿始まる」, 2014/8/20, 北陸中日新聞
 - *「ラマダンの夏と電子状態計算」, 2015 年度さくらサイエンスプラン特別寄稿, JST さくらサイエンスプラン HP 活動報告(特別寄稿)第 3 号.
 - *「特別シリーズ/さくらサイエンスプラン/友情と感激、第 57 回、スパコンを用いた電子状態シミュレーション」題材に実習形態の研修(p. 66-67)」, 文教ニュース第 2416 号.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
前園 涼(Ryo Maezono)
北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授
研究者番号：40354146
 - (2) 研究分担者
研究者番号：
 - (3) 連携研究者
研究者番号：
 - (4) 研究協力者