

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04853

研究課題名(和文) エネルギー地形の階層性に注目したガラスの理解と分類に関する研究

研究課題名(英文) Understanding glasses based on the energy landscape

研究代表者

池田 昌司 (Ikeda, Atsushi)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：00731556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,200,000円

研究成果の概要(和文)：ガラスとは、乱れた粒子配置のまま固化した物質群を指す。本研究では、ガラスのエネルギー地形の構造を解析することで、多様なガラスの分類とガラスの欠陥の理解を目指した。主にシミュレーションにより様々なガラスモデルを研究し、(1)ガラスの欠陥に付随する局在化した低周波振動の同定と定量化、(2)非熱的なジャム系における普遍的な緩和モードの同定と定量化、(3)異方的なダイマー粒子のジャミング転移の解明、(4)引力と斥力が競合する物理ゲルの低エネルギー振動の解明、(5)多成分粒子系のガラス転移の平均場理論の構築、(6)生きた細胞質におけるガラス状態の流動化の解明、などの成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の身の回りには、結晶のような粒子が整列した固体だけでなく、乱れた構造を持った固体が多数ある。これらの系をガラスと呼ぶ。本研究では、とくにこれらの物質のエネルギー地形に注目して、多彩なガラスの示す異常な物性を理解することを目指した。研究の結果、ガラスが特異な「欠陥」を持つことやその定量的な特徴を明らかにしたほか、ガラス系の遅い緩和モードの同定や、異方性粒子・物理ゲル・バクテリア細胞質などにガラスの理解を展開することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Glass is the matter in which particles get frozen with disordered structure. This work aims to classify a variety of glassy matters and understand the "defect" of glasses. To this end, this focused on the analysis of the complex energy landscape of glassy systems. We performed researches for three years along this line, and obtained the following key results: (1) we found and quantified the quasi-localized low frequency vibrations of glasses, (2) we found and quantified the slow relaxation mode in athermal jammed matters, (3) we unveiled the nature of the jamming transition of anisotropic dimer particles, (4) we found peculiar low frequency vibrations of physical gels with competing interactions, (5) we constructed a mean-field theory of multi-component glasses, and (6) we introduced a model of bacterial cytoplasm, where the active forces fluidize the glassy states.

研究分野：化学物理、統計力学

キーワード：ガラス転移 ジャミング転移 エネルギー地形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

液体を急冷あるいは急圧縮すると、その構造は乱雑なままに、粘性が発散的に増大し、ついには固体になってしまう。これがガラス転移である。ガラス化は、化学物理・統計力学の基本的な未解決問題であるとともに、液体から粉体や細胞内まで様々な系で見られるため、学際的な研究対象となっている。近年、ガラス転移の理論的研究は大きな進展を見せている。特に重要な発展は、申請者も関わった一連の研究により、ガラス転移の平均場理論が完成しつつあることである。平均場理論は、ガラス転移の運動論として発展してきたモード結合理論と、スピングラスの熱力学理論として発展してきたレプリカ理論を融合した理論体系であり、ガラス系の動的・熱力学的異常について、統一的な予言を与える。特に単成分剛体球ガラスについては、平均場理論は完成したと言ってよい。

しかし現実のガラス系を、既存の平均場理論で記述することはいまだ難しい。大きな難点は二つある。一つは、現実のガラス系は単成分剛体球系とは程遠いことである。典型的なガラスでは、分子は異方的であり、短距離・長距離に各種の相互作用が入り乱れている。現在の平均場理論は単純系のみで発展しており、これらの多彩なガラス系を説明できるかは、自明からは遠い。もう一つは、現実のガラスが平均場的でない性質を持つことである。その顕著な例は、ガラスの欠陥である。ガラスに応力を加えると、ガラスの中のある部分に局所的に歪みが集中し、そこで急激な塑性変形が起こることが知られている。この変形しやすい部分は、Shear Transformation Zone (STZ) と呼ばれ、ガラスの欠陥として注目を集めているが、その性質は未知な面が多い。

2. 研究の目的

本研究は、ガラスについての既存の平均場理論を超える理解を提示することを目指す。特に、ガラスの欠陥の理解、および多様なガラス系における複数のガラス相の理解を目標に据えた。研究の基本方針として、系のエネルギー地形の理解を進展させることで、上記の目標を達成することを目指した。

3. 研究の方法

研究の主な手段として、大規模な数値シミュレーションを行った。扱ったモデルは、多岐にわたるが、多くの場合短距離で相互作用する粒子系に注目している。エネルギー地形を調べるにあたって、ヘシアン対角化による振動状態を解析や、クエンチによる Inherent structure 解析を多用した。理論解析としては、レプリカ液体論と乱れのある弾性体の有効媒質近似理論を用いた。

4. 研究成果

(1) ガラスにおける欠陥の研究:

結晶と異なり、ガラスは乱れた固体であり、その欠陥を同定することは簡単でない。しかし近年の研究からは、ガラスには STZ と呼ばれる弱い部分があり、そこから破壊が起こることが分かってきた。さらにこの STZ の存在に付随して、ガラスが低周波数領域に空間的に局在化した振動モードを持つことが報告されていた。本研究ではまず、この局在化した振動モードを大規模な数値シミュレーションで徹底的に定量化した。その結果、この局在化モードはゼロ振動数に至るまで存在する、ガラスに特有なギャップレスな励起であることを見出した。具体的には、このモードの振動状態密度が振動数を w として w^4 に比例することを見出した。これはガラ

すが、無限に弱い欠陥（ゼロ周波数近傍の局在化モード）に至るまでの様々な強度の欠陥を内在することを明らかにした結果であり、ガラスの特殊性を確立する成果と言える。さらに、この局在化振動の相関長はジャミング転移において発散し、その臨界ベキ則はボソンピーク近傍の振動の相関長のそれと同じであることを見出した。これは局在化振動とボソンピーク振動の関係を確立し、局在化振動の物理的な理解を与える成果である。これらの成果はPNAS誌1報とPhys. Rev. E誌4報に掲載されている。

局在化振動は、ガラスの欠陥が調和モードに顕在したものと言える。一方で、実際の破壊や粒子の再配置は非調和な運動であるため、その完全な理解にはガラスにおける非調和性の理解が必要である。そこで、ガラスにおける粒子再配置を調べる最もクリーンな系として、ランダムピン系における理想ガラス状態に注目した。この系は熱力学的なガラス転移を起こすため、エイジングなどの非平衡性が介在する余地がなく、粒子の再配置を最もあいまいさなく検討できる。この系の平衡ガラス状態において長時間のシミュレーションを行ったところ、ガラス相の内部であるにもかかわらず、粒子の再配置が頻繁に起こることを見出した。これはガラスが極めて強い非調和性を持つことの証左である。さらにこの再配置がエントロピーに寄与するため、ガラスのエントロピーを定量的に記述するには、再配置の影響を取り込む必要があることを見出した。これらの成果は、PRL誌一報とPhys. Rev. E誌1報に掲載されている。

(2) 非熱的なジャム粒子系における普遍的な緩和動力学：

熱運動をしない程度に巨視的な粒子を、液体に分散した系を考える。粒子の充填率がランダム最密充填密度に近づく、系はジャミング転移を起こし粘性がベキ的に発散する。一方で、柔らかい粒子を箱にランダムに配置した系を考える。初期のランダムな配置から十分長時間放置すると、粒子はつりあいを満たす配置へと至る。この構造緩和にかかる時間は、粒子の充填率がランダム最密充填に近づく、ベキ的に発散することが知られている。前者の粘性発散と後者の構造緩和時間の発散の間の定性的な類似性は、明らかである。ならば、両者は本質的に同じ現象と考えてよいのだろうか？熱的な系では、グリーン久保公式から構造緩和時間と粘性には密接な関係があるが、今の系は熱揺らぎの全くない非平衡系である。これまで、この問いに対する答えは、明らかではなかった。本研究では、この二つの現象を同一の手法で研究・比較することにより、両者が臨界指数を含めて定量的に等価であることを示した。具体的には、バネポテンシャルで相互作用する粒子系を考える。まず粒子をランダムに配置し、そこから最急降下法で緩和させ、緩和時間を測定した。さらに、緩和後の配置の振動解析を行ったところ、低周波側に孤立した異常な振動モードがあることがわかった。さらに緩和時間との比較により、このモードこそが緩和を支配していることを明らかにした。この振動モードの周波数の密度依存性を、シア系のそれと比較すると、両者が全く同じ臨界挙動を見せることが明らかになった。この成果はPhys. Rev. Lett.誌に公開されている。また、空間次元やモデルの平均場性を制御した場合の結果について、現在論文執筆中である。

(3) 異方的な相互作用を有するダイマー粒子系におけるジャミング転移：

これまで、等方的な相互作用をする粒子系について、そのジャミング転移が深く研究されてきた。そこではジャミング転移点での粒子系が isostaticity を持つことや、その低周波振動の臨界的な挙動が明らかになっている。しかし、異方的な粒子系の理解は不十分である。これは、ジャミング系を様々な現実のガラスのモデルと見たとき、不満の残る状況である。本研究では、二つの等方粒子をつないだダイマー粒子系について、そのジャミング転移を研究した。まず、系における粒子の接触数を調べたところ、この系では素朴な isostaticity は成り立っていないことを見出した。これは、系内に一つの粒子に接触が偏った粒子 (rotational rattler と

名付けた)が存在するためであった。その効果を取り込んで接触数を再定義すると、isostaticityが回復することを見出した。さらに、この系の弾性率を調べたところ、等方粒子と同様の臨界ベキ則を示すことを見出した。最後にこの系の振動特性を調べたところ、振動状態密度に特異なプラトーが二種類現れることを見出した。特に低周波数側のプラトーは、回転運動に起因するものであり、等方粒子系では存在しなかったものである。ジャミング転移に近づくにつれ、この低周波数側の回転的なプラトーが臨界的な挙動を示すことが分かった。この研究については、二次元系での成果は Phys.Rev.E 誌に公開済みであり、三次元系での成果は現在投稿中である。

(4) 引力と斥力が競合する物理ゲルの振動特性：

荷電コロイドやタンパク質系などは、長距離の斥力相互作用と短距離の引力相互作用を持つ粒子系とモデル化できる。これらの粒子系では、高密度でガラス化が起こる一方で、低密度ではゲル化が起こる。つまりこの競合する相互作用粒子系は、ガラスとゲルといういわば二種類のガラス相の性質の違いを研究するのに、最適な系である。本研究では、Yukawa potential で表される斥力と、Lennard-Jones 型の引力を持つ粒子系についてシミュレーションを行い、ガラス状態とゲル状態の性質の違いを詳しく調べた。特にガラス状態とゲル状態の違いが、低周波数での振動特性に現れることを見出した。ゲル状態では、低周波数の振動状態密度に特異なピークが現れた。この振動は、ネットワーク内のつながりが弱い部分が折れ曲がる運動に起因していることを明らかにした。さらにこの振動の有無に基づいて、ガラス状態とゲル状態の平均二乗変位の大きな相違を説明することに成功した。この成果については、現在論文執筆中である。

(5) 多成分粒子系におけるガラス転移の平均場理論：

多成分粒子系のガラス転移においては、swap monte carlo (MC)シミュレーションと呼ばれるアルゴリズムにより、極めて高速に系を平衡化できることが知られている。これは並進運動と粒子交換の双方を行う手法である。本研究では、ガラス転移の平均場理論であるレプリカ液体論を多成分粒子系に拡張することで、多成分粒子系が二種類の動的転移を持つことを示し、これにより swap MC 法による高速化が物理的に理解できることを明らかにした。具体的には、粒子の並進に対する秩序変数に加えて、粒子種に対する秩序変数も加えてレプリカ液体論を構築したところ、後者の自由度を凍結した場合(通常の MC シミュレーションに相当)の動的転移と後者の自由度を残した場合 (swap MC シミュレーションに相当)の動的転移があらわれることを見出した。この成果は、J. Chem. Phys. 誌に掲載されている。

(6) バクテリア細胞質におけるガラス的な動力学的研究：

近年の実験により、いくつかの細胞における細胞質は、その代謝活動が抑制されるとガラス的な動力学的を示す一方で、代謝活動が活発なときには流動化することが明らかになった。この流動化のメカニズムは、特にバクテリアにおいてはよくわからない。なぜなら、バクテリアはモータープロテインのような自走する成分を持たないためである。本研究では、代謝活動によるタンパク質のコンフォメーション変化を有効的な体積変化ととらえた、細胞質の粒子系モデルを構築した。そして、このモデルの動力学的を、シミュレーションを用いて詳しく調べた。その結果、極めて小さな体積変化で、系が容易に流動化することを見出した。この成果は、Phys. Rev. Research 誌に公開されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ozawa Misaki, Ikeda Atsushi, Miyazaki Kunimasa, Kob Walter	4. 巻 121
2. 論文標題 Ideal Glass States Are Not Purely Vibrational: Insight from Randomly Pinned Glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 205501(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.205501	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 Shimada Masanari, Mizuno Hideyuki, Ikeda Atsushi	4. 巻 97
2. 論文標題 Anomalous vibrational properties in the continuum limit of glasses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 022609(1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.97.022609	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 Shimada Masanari, Mizuno Hideyuki, Wyart Matthieu, Ikeda Atsushi	4. 巻 98
2. 論文標題 Spatial structure of quasilocalized vibrations in nearly jammed amorphous solids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 060901(R)(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.060901	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 Mizuno Hideyuki, Shiba Hayato, Ikeda Atsushi	4. 巻 114
2. 論文標題 Continuum limit of the vibrational properties of amorphous solids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 E9767 ~ E9774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1709015114	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 Ikeda Harukuni, Zamponi Francesco, Ikeda Atsushi	4. 巻 147
2. 論文標題 Mean field theory of the swap Monte Carlo algorithm	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 234506 ~ 234506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5009116	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 Mizuno Hideyuki, Ikeda Atsushi	4. 巻 98
2. 論文標題 Phonon transport and vibrational excitations in amorphous solids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 062612(1-18)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.062612	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 Mizuno Hideyuki, Shimada Masanari, Ikeda Atsushi	4. 巻 2
2. 論文標題 Anharmonic properties of vibrational excitations in amorphous solids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013215(1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.013215	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 Ikeda Atsushi, Kawasaki Takeshi, Berthier Ludovic, Saitoh Kuniyasu, Hatano Takahiro	4. 巻 124
2. 論文標題 Universal Relaxation Dynamics of Sphere Packings below Jamming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 058001(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.058001	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 Shiraishi Kumpei、Mizuno Hideyuki、Ikeda Atsushi	4. 巻 100
2. 論文標題 Vibrational properties of two-dimensional dimer packings near the jamming transition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 012606(1-14)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.100.012606	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 Oyama Norihiro、Kawasaki Takeshi、Mizuno Hideyuki、Ikeda Atsushi	4. 巻 1
2. 論文標題 Glassy dynamics of a model of bacterial cytoplasm with metabolic activities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 032038(R)(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.1.032038	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 Shimada Masanari、Mizuno Hideyuki、Berthier Ludovic、Ikeda Atsushi	4. 巻 101
2. 論文標題 Low-frequency vibrations of jammed packings in large spatial dimensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 052906(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevE.101.052906	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25件(うち招待講演 3件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 池田昌司、川崎猛史、Ludovic Berthier、波多野恭弘、齊藤国靖
2. 発表標題 ジャミング転移における粘性発散と緩和時間の増大の関係
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 島田真成, 水野英如, Matthieu Wyart, 池田昌司
2. 発表標題 アモルファス固体における低周波局在振動の空間構造
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 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 ガラスにおける音波輸送のレイリー散乱
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 白石薫平, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 2次元ダイマーのジャミング転移
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 Masanari Shimada, Hideyuki Mizuno, Matthieu Wyart, and Atsushi Ikeda
2. 発表標題 Spatial structure of quasilocalized low-frequency vibrations in amorphous solids
3. 学会等名 Designer Soft Matter 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Ikeda
2. 発表標題 Viscosity divergence and dynamical slowing down at the jamming transition
3. 学会等名 Workshop "Rheology of disordered particles" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田真成, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 不規則バネネットワークの有限次元における不安定性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白石薫平, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 2次元ダイマーの振動特性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 ガラスにおける分子振動モードの非調和性
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大山倫弘, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 細胞質を模した非自走粒子型active matterのガラス的振る舞い
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 大山倫弘, 川崎猛史, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 非自走粒子型Activeガラス系のエネルギー地形描像
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野英如, 芝隼人, 池田昌司
2. 発表標題 連続体極限におけるガラスの振動特性
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 島田真成, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 連続体極限におけるガラスの異常な振動特性
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 池田晴國, Zamponi Francesco, 池田昌司
2. 発表標題 スワップ・モンテカルロ法の理論的解析, 及び, 過冷却液体における遅い緩和の動力学依存性
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 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 連続体極限におけるガラスのフォノン輸送特性
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 Masanari. Shimada, Hideyuki Mizuno, Atsushi Ikeda
2. 発表標題 Continuum Limit of Vibrational Properties of Structural Glasses
3. 学会等名 International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 白石薫平, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 ダイマー粒子系の低周波数局在振動
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山玄德, 池田昌司
2. 発表標題 競合する相互作用を持つ系のゲル状態とガラス状態の違いについて
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥裕理, 池田昌司, 高江恭平
2. 発表標題 分子シミュレーションによる高密度流体の相分離の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大山倫弘, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 アモルファス固体の振動モードと塑性変形ダイナミクスの関係
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田真成, Daniele Coslovich, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 ガラスのポテンシャルエネルギー地形における鞍点配置の振動特性
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大山倫弘, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 非平衡流動化ガラスの限界安定性に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原雄介, 水野英如, 池田昌司
2. 発表標題 粒径の大きく異なる二成分系のジャミング転移
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsushi Ikeda
2. 発表標題 Connection between the Boson peak and quasi-localized modes in amorphous solids
3. 学会等名 25th International Congress on Glass (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Ikeda
2. 発表標題 Anomalous extended and quasi-localized low frequency vibrations of jammed solids
3. 学会等名 2019 International Workshop on Glass Physics in Beijing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ガラスと通常の固体の本質的な違いを発見
<http://www.c.u-tokyo.ac.jp/info/news/topics/files/20171101pressrelease.pdf>

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
--	---------------------------	-----------------------	----