

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2009～2013

課題番号：21224011

研究課題名(和文)液体の階層的自己組織化とダイナミクス

研究課題名(英文)Hierarchical Self-Organization and Dynamics of Liquids

研究代表者

田中 肇(TANAKA, Hajime)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：60159019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 139,700,000円、(間接経費) 41,910,000円

研究成果の概要(和文)：液体状態は物質の基本状態の一つであるが、その基礎的理解は気体・固体に比べ大きく遅れてきた。我々は、液体の本性に関わる基本現象として液体・液体転移、ガラス転移、結晶化、水の特異性、非線形流動などに注目して研究を行った。その結果、これらすべての現象において液体の内包する時空階層性が大きな役割を果たすことが明らかとなった。これにより、従来の液体状態についての「乱雑かつ等方的な流体」という常識的描像によって上記の現象を理解することは困難であり、時空階層性を考慮の上、液体論を根本的に構築しなおす必要があることが示された。

研究成果の概要(英文)：Liquid is one of the three most fundamental states of matter, its basic understanding is far behind that of gas and solid states. We have studied unsolved important problems of liquids, such as liquid-liquid transition, glass transition, crystallization, water's anomalies, and nonlinear flow behavior. We have revealed that the spatio-temporal hierarchy of liquids plays a crucial role in all these phenomena. We have shown that they cannot be understood on the basis of the conventional picture of the liquid state, in which a liquid is regarded as random and isotropic at any length scale. This indicates that we need to reconstruct a liquid-state theory at the fundamental level, taking the spatio-temporal hierarchy into account.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、生物物理・化学物理

キーワード：液体 時空階層性 水の熱力学異常 ガラス転移 液体・液体転移 結晶化

### 1. 研究開始当初の背景

液体状態には、物質輸送・反応の場として極めて重要な機能が備わっており、工業的な輸送プロセス、マイクロフルイデクス、生命活動における水のように、多くの場面で極めて本質的な役割を果たしている。そのような重要性にもかかわらず、液体状態、そして融点以下の過冷却状態、運動が凍結したガラス状態の物理的理解は、気体・結晶状態に比べて著しく遅れていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、液体における未解明現象、(1)水型液体の熱力学異常・運動学的異常、(2)単一成分液体の液体・液体転移現象の起源の解明とその応用、(3)ガラス転移現象の解明、(4)高分子メルトを含む液体の結晶化の素過程と機構解明、(5)液体・ガラス状物質の非線形流動・破壊現象の解明と制御、という5つの基本問題の解明を目指す。

### 3. 研究の方法

具体的には、結晶構造形成傾向とそれとは異なる対称性をもつ局所安定構造形成傾向の競合という観点から、実験的アプローチ(実空間・波数空間での構造・ダイナミクス解析、分光学的測定、熱測定)、ブラウン動力学・分子動力学シミュレーション、流体粒子ダイナミクス法などの数値シミュレーション、理論的研究の有機的な連携により、液体の動的階層性という概念に基礎を置いた新たな物理描像を定量的レベルで確立することを目指す。

### 4. 研究成果

(1) 過冷却液体におけるボンド配向秩序の発達と時空階層性：我々は、いくつかのモデル系において、過冷却液体中に結晶的ボンド配向秩序が出現し、過冷却度の増大とともにその特徴的な大きさが理想ガラス転移温度に向かって臨界発散的に増大することを見出した。我々は、フラストレーションのもとでは、結晶化に不可欠な位置秩序は容易に破壊されるが、ボンド配向秩序に関しては、その位相コヒーレンスは失われるものの、振幅に関しては協同的転移が生き残り、これが臨界性の源になっているのではないかと推測している。また、剛体球液体のモデル系であるコロイド液体の共焦点顕微鏡観察により、過冷却液体の中に局所的な回転対称性の破れを反映して、中距離のfcc的なボンド秩序と、短距離のアイコサヘドラル構造が形成され、体積分率の上昇とともにそれらが発達することを発見した。この両秩序において、前者が系の遅いダイナミクスに重要な影響を与えること、後者は結晶化に対するフラストレーション効果として重要な寄与を与えていることも明らかにした。これらの結果は、液体のダイナミクス、相挙動のカギを握るのは密度の二体相関ではなく、多体相関、特にボンド秩序であることを強く示唆しており、実際に数値シミュレーションによりこれを直接確かめることにも成功した。

(2) 空間拘束下における過冷却液体の構造化とダイナミクス：空間拘束下での液体のダイナミクスの理解は、ナノテクなどの基盤として極めて重要な問題である。空間拘束下においては液体のダイナミクスが遅くなり、ガラス転移温度も上昇することが知られていたが、我々は、拘束壁が液体のボンド秩序化を促し、それが空間拘束下でのより遅いダイナミクスの起源となっていることを初めて明らかにした。また、壁の影響の到達距離は、過冷却液体のボンド秩序の相関長で決まっていることを見出した。このことは、バルク液体、拘束下の液体にかかわらず、局所的なダイナミクスがその位置での局所的なボンド秩序化の度合いによって決まっていることを示唆する。さらに、この結果は上述の臨界現象とのアナロジーを支持するものであり、過冷却液体の遅いダイナミクスの起源の解明という観点からも重要な知見であると考えている。

(3) 過冷却液体からの結晶核形成過程の微視的解明：結晶化はあらゆる物質で、準安定な過冷却状態からの核形成過程を通して起こる。我々は、従来の常識に反し、上述のように過冷却液体が内包するボンド秩序という時空不均一性を反映して、核形成は常に密度とボンド秩序がともに高い領域から選択的に起きることを見出した。また、結晶化の微視的過程に密度の不連続変化は存在せず、ボンド秩序の空間的なコヒーレンスの連続的な増大により結晶核が形成されることを発見した。これは、従来の古典核形成理論の概念を根底から覆すものである。また、生成される結晶の対称性も、結晶核生成が起きる前の段階で、既に過冷却液体が内包するボンド秩序の対称性により選択されていることを明らかにした。つまり、結晶化の引き金になっているのは、これまで信じられてきた並進対称性の破れではなく、回転対称性の破れであること、さらには、結晶多形の選択は、結晶状態のエネルギー差で決定されるのではなく、液体の中で局所的に破れる回転対称性により決定されることを明らかにした。これらの発見は、過冷却液体の動的な階層性が直接結晶の核形成を促すことを示唆しており、従来の古典核形成理論を越え、結晶化について全く新しい描像を与えるものと期待している。また、この描像が剛体球モデルだけでなく、ソフトスフィア系や水系でも成り立ち、普遍性を有することを示した。さらに、長年未解明であった、剛体球コロイドの結晶核形成頻度の実験と数値シミュレーションの間の10桁以上の不一致の原因が、重力による沈降の影響である可能性を初めて指摘した。

(4) 過冷却液体の非局所的な輸送：我々は、過冷却液体の粘性輸送に関して研究を行い、メゾスコピックな動的相関長を境にして、過冷却状態では、マクロな粘性からミクロな粘性に向かって粘性係数が大きく低下するこ

とを見出した。このことは、過冷却液体が単純液体と本質的に異なり、メゾスコピックな時空階層性を有することを強く示唆しており、液体論的アプローチは有効ではなく、時空階層性に焦点を当てたソフトマターのなアプローチが不可欠であることを強く示唆している。さらに、輸送係数の波数依存性と過冷却液体におけるストークス・アインシュタイン則の破れの起源の関係を明らかにすることにも成功した。

(5) 過冷却液体の非線形流動・破壊現象:我々が発見した、粘性の密度の変化に対する「動的非対称性」に起因する液体の新たなずり変形下での不安定化機構を、粘弾性体に拡張し、延性・脆性破壊の物理的起源を現象論に基づき明らかにした。

(6) 液体・液体転移:トリフェニルフォスファイトにおいて見られる転移現象について光散乱測定を行い、その結果、長年論争となっていた液体・液体転移説と微結晶説において、前者が有力である実験的証拠を得た。また、我々は、液体が液体に転移する際、固体壁へのぬれ性が大きく変化すること、スピノード線近傍で部分ぬれから完全ぬれへ転移することを見出した。また、水溶液(グリセリン・水系)において、相分離を伴わない純粋な液体・液体転移を発見した。これは、純粋な水にも液体・液体転移が存在する可能性を示唆する結果として注目を集めている。さらには、14種類の水溶液系において、液体・液体転移現象を発見し、その普遍性を示した。

(7) 水型液体の熱力学異常とガラス形成能:水の温度・圧力相図とLiCl/水系の温度・濃度相図の類似性に着目し、水に形成される正4面体構造と結晶構造のフラストレーションという観点から研究を行い、液体のフラジリティ、ガラス形成能と平衡相図の形の間に関係がある可能性を見出した。この結果は、結晶化とガラス転移に関する我々の二秩序変数モデルを支持するものであり、ガラス転移の起源と結晶化へのフラストレーションとの関係に重要な示唆を与えるものである。

## 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 46 件)すべて査読有

1. J. Russo, F. Romano and H. Tanaka, New metastable form of ice and its role in the homogeneous crystallization of water, **Nature Mater.** (2014). (印刷中)  
DOI: 10.1038/nmat3977

2. J. Russo and H. Tanaka, Understanding water's anomalies with locally favoured structures, **Nature Comm.** Vol. 5, Article number: 3556 (2014).  
DOI: 10.1038/ncomms4556

3. T. T. Debela, X. D. Wang, Q. P. Cao, Y. H.

Lu, D. X. Zhang, H.-J. Fecht, H. Tanaka and J. Z. Jiang, Nucleation driven by orientational order in supercooled niobium as seen via ab initio molecular dynamics, **Phys. Rev. B** Vol. 89, 104205 (2014).  
DOI: 10.1103/PhysRevB.89.104205

4. R. Shimizu, M. Kobayashi and H. Tanaka, Evidence of Liquid-Liquid Transition in Triphenyl Phosphite from Time-Resolved Light Scattering Experiments, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 112, 125702 (2014).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.125702

5. T. Yanagishima, N. Laohakunakorn, U. F. Keyser, E. Eiser and H. Tanaka, Influence of internal viscoelastic modes on the Brownian motion of a  $\lambda$ -DNA coated colloid, **Soft Matter** Vol. 10, pp. 1738-1745 (2014).  
DOI: 10.1039/C3SM52830H

6. A. Malins, J. Eggers, H. Tanaka and C. P. Royall, Lifetimes and lengthscales of structural motifs in a model glassformer, **Faraday Discuss.** Vol. 167, 405-423 (2013).  
DOI: 10.1039/C3FD00078H

7. H. Tanaka, Importance of many-body orientational correlations in the physical description of liquids, **Faraday Discuss.** Vol. 167, 9-76 (2013).  
DOI: 10.1039/C3FD00110E

8. K. Murata and H. Tanaka, General nature of liquid-liquid transition in aqueous organic solutions, **Nature Comm.** Vol. 4, Article number: 2844 (2013).  
DOI: 10.1038/ncomms3844

9. T. Araki, F. Serra and H. Tanaka, Defect science and engineering of liquid crystals under geometrical frustration, **Soft Matter** Vol. 9, pp. 8107-8120 (2013).  
DOI: 10.1039/C3SM50468A

10. A. Furukawa, A. Gambassi, S. Dietrich and H. Tanaka, Nonequilibrium Critical Casimir Effect in Binary Fluids, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 111, 055701 (2013).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.055701

11. J. Russo, A. C. Maggs, D. Bonn and H. Tanaka, The interplay of sedimentation and crystallization in hard-sphere suspensions, **Soft Matter** Vol. 9, pp. 7369-7383 (2013).  
DOI: 10.1039/C3SM50980J

12. C. L. Klix, K. Murata, H. Tanaka, S. R. Williams, A. Malins and C. P. Royall, Novel kinetic trapping in charged colloidal clusters due to self-induced surface charge organization, **Sci. Rep.** Vol. 3, Article number: 2072 (2013).  
DOI: 10.1038/srep02072

13. M. Leocmach, J. Russo and H. Tanaka, Importance of many-body correlations in

- glass transition: An example from polydisperse hard spheres, **J. Chem. Phys.** Vol. 138, 12A536 (2013).  
DOI: 10.1063/1.4769981
14. A. Malins, J. Eggers, C. P. Royall, S. R. Williams and H. Tanaka, Identification of long-lived clusters and their link to slow dynamics in a model glass former, **J. Chem. Phys.** Vol. 138, 12A535 (2013).  
DOI: 10.1063/1.4790515
15. M. Leocmach and H. Tanaka, A novel particle tracking method with individual particle size measurement and its application to ordering in glassy hard sphere colloids, **Soft Matter** Vol. 9, pp. 1447-1457 (2013).  
DOI: 10.1039/C2SM27107A
16. J. Taffs, S. R. Williams, H. Tanaka and C. P. Royall, Structure and kinetics in the freezing of nearly hard spheres, **Soft Matter** Vol. 9, pp. 297-305 (2013).  
DOI: 10.1039/C2SM26473K
17. H. Tanaka, Bond orientational order in liquids: Towards a unified description of water-like anomalies, liquid-liquid transition, glass transition, and crystallization, **Eur. Phys. J. E** Vol. 35, Article: 113 (2012).  
DOI: 10.1140/epje/i2012-12113-y
18. H. Tanaka, Viscoelastic phase separation in soft matter and foods, **Faraday Discuss.** Vol. 158, 371-406 (2012).  
DOI: 10.1039/C2FD20028G
19. A. Furukawa and H. Tanaka, Dynamic scaling for anomalous transport in supercooled liquids, **Phys. Rev. E** Vol. 86, 030501(R) (2012).  
DOI: 10.1103/PhysRevE.86.030501
20. M. Leocmach and H. Tanaka, Roles of icosahedral and crystal-like order in the hard spheres glass transition, **Nature Comm.** Vol. 3, Article number: 974 (2012).  
DOI: 10.1038/ncomms1974
21. J. Russo and H. Tanaka, The microscopic pathway to crystallization in supercooled liquids, **Sci. Rep.** Vol. 2, Article number: 505 (2012).  
DOI: 10.1038/srep00505
22. K. Murata and H. Tanaka, Liquid-liquid transition without macroscopic phase separation in a water-glycerol mixture, **Nature Mater.** Vol. 11, pp. 436-443 (2012).  
DOI: 10.1038/nmat3271
23. J. Russo and H. Tanaka, Selection mechanism of polymorphs in the crystal nucleation of the Gaussian core model, **Soft Matter** Vol. 8, pp. 4206-4215 (2012).  
DOI: 10.1039/C2SM07007C
24. T. Koyama and H. Tanaka, Time-resolved simultaneous polarized and depolarized light scattering system with high sensitivity to optical anisotropy: Application to phase separation of an optically isotropic liquid mixture, **J. Chem. Phys.** Vol. 136, 064509 (2012).  
DOI: 10.1063/1.3682469
25. A. Furukawa and H. Tanaka, Direct evidence of heterogeneous mechanical relaxation in supercooled liquids, **Phys. Rev. E** Vol. 84, 061503 (2011).  
DOI: 10.1103/PhysRevE.84.061503
26. M. Kobayashi and H. Tanaka, Relationship between the Phase Diagram, the Glass-Forming Ability, and the Fragility of a Water/Salt Mixture, **J. Phys. Chem. B** Vol. 115, pp. 14077-14090 (2011).  
DOI: 10.1021/jp203855c
27. H. Tanaka, Roles of bond orientational ordering in glass transition and crystallization, **J. Phys.: Condens. Matter** Vol. 23, 284115 (2011).  
DOI: 10.1088/0953-8984/23/28/284115
28. K. Watanabe, T. Kawasaki and H. Tanaka, Structural origin of enhanced slow dynamics near a wall in glass-forming systems, **Nature Mater.** Vol. 10, pp. 512-520 (2011).  
DOI: 10.1038/nmat3034
29. T. Kawasaki and H. Tanaka, Structural signature of slow dynamics and dynamic heterogeneity in two-dimensional colloidal liquids: glassy structural order, **J. Phys.: Condens. Matter** Vol. 23, 194121 (2011).  
DOI: 10.1088/0953-8984/23/19/194121
30. M. Kobayashi and H. Tanaka, Possible Link of the V-Shaped Phase Diagram to the Glass-Forming Ability and Fragility in a Water-Salt Mixture, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 106, 125703 (2011).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.125703
31. T. Araki, M. Buscaglia, T. Bellini and H. Tanaka, Memory and topological frustration in nematic liquid crystals confined in porous materials, **Nature Mater.** Vol. 10, pp. 303-309 (2011).  
DOI: 10.1038/nmat2982
32. H. Tanaka, Bond orientational ordering in a metastable supercooled liquid: a shadow of crystallization and liquid-liquid transition, **J. Stat. Mech.** Vol. 2010, P12001 (2010).  
DOI: 10.1088/1742-5468/2010/12/P12001
33. T. Kawasaki and H. Tanaka, Formation of a crystal nucleus from liquid, **Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.** Vol. 107, 14036-14041 (2010).  
DOI: 10.1073/pnas.1001040107
34. A. Furukawa and H. Tanaka, Key Role of Hydrodynamic Interactions in Colloidal

Gelation, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 104, 245702 (2010).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.245702

35. T. Kawasaki and H. Tanaka, Structural origin of dynamic heterogeneity in three-dimensional colloidal glass formers and its link to crystal nucleation, **J. Phys.: Condens. Matter** Vol. 22, 232102 (2010).  
DOI: 10.1088/0953-8984/22/23/232102

36. K. Murata and H. Tanaka, Surface-wetting effects on the liquid-liquid transition of a single-component molecular liquid, **Nature Comm.** Vol. 1, Article number: 16 (2010).  
DOI: 10.1038/ncomms1015

37. C. L. Klix, C. P. Royall and H. Tanaka, Structural and dynamical features of multiple metastable glassy states in a colloidal system with competing interactions, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 104, 165702 (2010).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.165702

38. H. Tanaka, T. Kawasaki, H. Shintani and K. Watanabe, Critical-like behaviour of glass-forming liquids, **Nature Mater.** Vol. 9, pp. 324-331 (2010).  
DOI: 10.1038/nmat2634

39. S. Takagi and H. Tanaka, Multiple-scattering-free light scattering spectroscopy with mode selectivity, **Phys. Rev. E** Vol. 81, 021401 (2010).  
DOI: 10.1103/PhysRevE.81.021401

40. M. Leocmach, C. P. Royall and H. Tanaka, Novel zone formation due to interplay between sedimentation and phase ordering, **Europhys. Lett.** Vol. 89, 38006 (2010).  
DOI: 10.1209/0295-5075/89/38006

41. A. Wysocki, C. P. Royall, R. G. Winkler, G. Gompper, H. Tanaka, A. van Blaaderen and H. Löwen, Multi-particle collision dynamics simulations of sedimenting colloidal dispersions in confinement, **Faraday Discuss.** Vol. 144, 245-252 (2009).  
DOI: 10.1039/B901640F

42. A. Malins, S. R. Williams, J. Eggers, H. Tanaka and C. P. Royall, Geometric frustration in small colloidal clusters, **J. Phys.: Condens. Matter** Vol. 21, 425103 (2009).  
DOI: 10.1088/0953-8984/21/42/425103

43. A. Furukawa and H. Tanaka, Nonlocal nature of the viscous transport in supercooled liquids: Complex fluid approach to supercooled liquids, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 103, 135703 (2009).  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.103.135703

44. A. Furukawa and H. Tanaka, Inhomogeneous flow and fracture of glassy materials, **Nature Mater.** Vol. 8, pp.

601-609 (2009).

DOI: 10.1038/nmat2468

45. T. Kawasaki and H. Tanaka, Apparent violation of the fluctuation-dissipation theorem due to dynamic heterogeneity in a model glass-forming liquid, **Phys. Rev. Lett.** Vol. 102, 185701 (2009).

DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.185701

46. H. Tanaka, Formation of network and cellular structures by viscoelastic phase separation, **Adv. Mater.** Vol. 21, 1872-1880 (2009).

DOI: 10.1002/adma.200802763

〔学会発表〕(計 184 件)

海外で行われた基調講演・招待講演のみ記載

1. H. Tanaka, Importance of many-body orientational correlations in the physical description of liquids, **Faraday Discussion 167: Mesoscale and dynamics in liquids and solutions**, 2013.9.18. (Bristol, UK)

2. H. Tanaka, J. Russo, M. Leocmach and T. Kawasaki, Link between a static growing length and slow glassy relaxation in supercooled colloidal liquids, **7th. International Discussion Meeting on Relaxation in Complex Systems**, 2013.7.25. (Barcelona, Spain)

3. H. Tanaka, J. Russo, M. Leocmach and T. Kawasaki, Microscopic kinetic pathway of crystal nucleation, **CECAM Workshop on "The Role of Interfaces in Crystallization"**, 2013.5.23. (Lausanne, Switzerland)

4. H. Tanaka and (講演者) K. Murata, Solute effects on the thermodynamic and kinetic behavior of water and liquid-liquid transition, **American Physical Society March Meeting 2013**, 2013.3.21. (Baltimore, USA)

5. H. Tanaka, Glassy slow dynamics of confined hard spheres, **International Workshop on Wetting and Capillarity in Complex Systems**, 2013.2.19. (Dresden, Germany)

6. H. Tanaka, A. Furukawa, T. Araki and Y. Goto, Roles of Many-body Hydrodynamic Interactions in Colloid Dynamics and Ordering, **Fluid-Structure Interactions in Soft-Matter Systems: From the Mesoscale to the Macroscale**, 2012.11.29. (Prato, Italy)

7. H. Tanaka, Frustration-induced topological defects in liquid crystals and their applications, **24th International Liquid Crystal Conference (ILCC 2012)**, 2012.8.20. (Mainz, Germany)

8. H. Tanaka, Viscoelastic phase separation in soft matter and foods, **Faraday Discussion 158: Soft Matter Approaches to Structured Foods**, 2012.7.4. (Wageningen, Netherlands)

9. H. Tanaka, Structural ordering in supercooled hard-sphere liquids, **French-Japanese meeting on Jamming, Glasses and Phase transitions**, 2011.12.8. (Paris, France)

10. H. Tanaka, An intimate link between glass transition and crystallization, **Conference on Molecular Simulations in Biosystems and Material Science**, 2011.9.28. (Konstanz, Germany)

11. H. Tanaka, Spontaneous bond orientational ordering in a supercooled liquid: its roles in glass transition and crystallization, **Workshop on temporally and spatially resolved dynamical phenomena**, 2011.9.23. (Hamburg, Germany)

12. H. Tanaka, Formation of Crystal Nuclei from Solution, **Gordon Research Conference 2011 "Thin Film & Crystal Growth Mechanisms"**, 2011.7.18. (Biddeford, USA)

13. H. Tanaka, Hidden critical-like structural ordering in a supercooled liquid: Its link to dynamic heterogeneity and crystal nucleation, **APCTP Workshop on Current Progress of Simulations in Complex Systems**, 2010.11.15. (Pohang, Korea)

14. H. Tanaka, Wetting-induced interactions between colloids immersed in a critical binary mixture, **International Workshop of Fluctuation-Induced Forces in Condensed Matter**, 2010.10.14. (Dresden, Germany)

15. H. Tanaka and A. Furukawa, Pattern evolution - From viscoelastic phase separation to mechanical fracture, **Passion for Knowledge**, 2010.9.29. (Donostia-San Sebastian, Spain)

16. H. Tanaka, T. Kawasaki, H. Shintani and K. Watanabe, Critical-like structural ordering in a supercooled liquid: Its link to dynamic heterogeneity and crystal nucleation, **Workshop on the Dynamics of the Glass/Jamming Transition in celebration of the 80th birthday of Prof. Kyozi Kawasaki**, 2010.9.9. (Busan, Korea)

17. H. Tanaka, Hidden critical-like structural ordering in a supercooled liquid and its roles in crystal nucleation, **XXIV International Conference on Statistical Physics (STATPHYS 24)**, 2010.7.22. (Cairns, Australia)

18. H. Tanaka, Structural origin of dynamic heterogeneity in colloidal liquids and its link to crystal nucleation, **KITP Program: The Physics of Glasses: Relating Metallic Glasses to Molecular, Polymeric and Oxide Glasses, Conference: Emerging Concepts in Glass Physics**, 2010.6.25. (Santa Barbara,

USA)

19. H. Tanaka, Localization of deformation in glassy materials, **COST exploratory workshop on the Physics of Amorphous Solids: Mechanical Properties and Plasticity**, 2010.3.19.

(Grenoble, France)

20. H. Tanaka, Roles of many body hydrodynamic interactions in the dynamics of colloidal suspensions, **Elopto 2010**, 2010.3.15. (Mainz, Germany)

21. H. Tanaka, Structural origin of dynamic heterogeneity in colloidal glass formers and its link to crystal nucleation, **SFB TR6 workshop 2010 „Physics of Colloidal Dispersions in External Fields“**, 2010.3.2. (Bonn, Germany)

22. H. Tanaka, Pattern Evolution - Commonality Between Phase Separation and Mechanical Fracture, **Gordon Research Conference 2009 "Liquids, Chemistry & Physics Of"**, 2009.8.4. (Holderness, USA)

〔図書〕(計 1 件)

1. H. Tanaka, Wiley, Liquid Polymorphism, Advances in Chemical Physics vol. 152, 2013, pp. 399-420, (担当部分のタイトル: Cooperative Bond Ordering in Liquid: Its Link to Liquid Polymorphism and Water-Like Anomalies)

〔その他〕

ホームページ

<http://tanakalab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

東京大学生産技術研究所公開行事への参加

2009年5月29,30日/2010年6月4,5日/2011年6月3,4日/2012年6月1,2日

テーマ「ソフトマターの物理」

2013年5月31日,6月1日

テーマ「液体・ソフトマターの時空階層性にせまる」

(参加者数は、各年度とも100名前後)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 肇 (TANAKA, Hajime)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 60159019

(2) 研究分担者: 研究分担者なし

(3) 連携研究者

古川 亮 (FURUKAWA, Akira)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号: 20508139

鎌田 久美子 (KAMATA, Kumiko)

東京大学・生産技術研究所・技術職員

研究者番号: 90422427