

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540420

研究課題名（和文）氷結したタンパク質水溶液のガラス転移と分子ダイナミクス

研究課題名（英文）Glass transition and dynamics of molecules in partially crystallized aqueous solution of protein

研究代表者

新屋敷 直木（SHINYASHIKI NAOKI）

東海大学・理学部・教授

研究者番号：00266363

研究成果の概要（和文）：本研究は氷結するゼラチン、牛血清アルブミン（BSA）、リゾチウム水溶液の不凍水、水和タンパク質、氷の 3 つの誘電緩和を 298～113K の温度域、 $10\mu\text{Hz}$ ～10GHz の周波数域の広帯域誘電分光法（BDS）を用いて観測した。さらに水以外の溶媒の高分子溶液で観測される緩和と比較し、水溶液で観測される緩和の普遍的性質と物質構造依存性を調べた。不凍水と水和タンパク質の緩和の特徴は、氷結しない様々な水溶液で観測されたものと一致した。球状タンパク質とゼラチン水溶液で観測された水和タンパク質の緩和は後者の方が氷の融解の影響が顕著に現れ、分子構造による違いが観測された。一方、BSA およびリゾチウム水溶液の広い濃度範囲（含水率 5～85%）で、熱測定及び誘電測定により、ガラス転移温度と融解温度の濃度依存性を明らかにした。溶媒が結晶化する有機溶媒を用いた高分子溶液で、溶媒の結晶化による高分子の凍結濃縮に伴い急激な高分子の緩和時間の変化とガラス転移が観測された。また、水以外の溶液でも不凍溶媒が観測され、不凍水と水素結合の関係を再考すべき結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Three kinds of relaxation processes originated from uncrystallized water, ice, and hydrated protein were observed using broadband dielectric spectroscopy at temperatures between 113K and 300K in a frequency range of 1 mHz - 50 GHz for water mixtures with gelatin, bovine serum albumin (BSA), and lysozyme. The characteristic properties of the relaxation processes of uncrystallized water and hydrated protein were common to those observed in various kinds of non-crystallized aqueous solutions. The influence of the melting of ice for the relaxation process of hydrated gelatin is larger than that of the hydrated BSA and lysozyme. The concentration dependences of the glass transition, melting, and crystallization temperatures in BSA- and lysozyme-water mixtures were clarified in entire concentration range. The glass transition and abrupt change of the relaxation time of the local chain motion of polymers caused by the condensation and plasticization induced by the melting and crystallization of solvents were observed in the mixtures of poly (vinyl acetate)-benzene and poly (ethyl acrylate)-p-xylene, and presence of the non-crystallized solvents were confirmed. It implies that the hydrogen-bond between water and polymer is not necessary for the presence of uncrystallized water at subzero temperatures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：化学物理、生物物理、物性実験、タンパク質、水溶液、ガラス転移、誘電緩和、不凍水

1. 研究開始当初の背景

タンパク質-水系の分子運動は、様々な手法によって観測されてきたが、現在タンパク質の「機能」「構造」に対し「分子運動」の理解は十分ではない。タンパク質の分子運動に水の存在は不可欠で、タンパク質の分子運動は水によって支配されて(slaved)いるという解釈が与えられている。(例えば, D. Ringe, et al. Biophys. Chem. 105, 667(2003). D. Beece, et al. J. Am. Chem. Soc. 19, 5147(1980)). しかし, 水分子とタンパク質の分子運動は, それぞれの分子運動の時間スケールが数桁も異なるため, 一つの観測手段で両方の分子運動を観測する事は困難である。そのため, 水又はタンパク質いずれかの分子運動の観測に基づき, 両者を含んだ解釈やモデリングが行われる事が多い。

様々な分子運動の観測法の中で, 最も広い観測時間窓を誘電分光法 = Broadband Dielectric Spectroscopy (BDS) は持っており, メガ秒からピコ秒までの 18 桁以上の時間スケールの分子運動を, 複素誘電率の誘電緩和現象として観測することができる。また, 分子性液体, 高分子, 溶液など様々な物質が, 液体状態から固体に変化するまでの分子運動に関する多くの研究が, ここ 20 年間活発に行われてきた。物質が液体状態の比較的高温域では, ナノ秒程度の緩和時間 τ をもつ緩和が一つ観測される。温度の低下とともに τ が大きくなり, 主緩和 (α 緩和) に加え, 一つまたは複数の副緩和が α 緩和の高周波数側に観測される。従来の多くの実験事実として, τ_{α} が 100~1000 秒になる温度で, 熱測定でガラス転移が観測されることが判っている。そのため τ_{α} が 100 秒または 1000 秒になる温度をダイナミクス観測によるガラス転移温度 T_g として定義してきた。 α 緩和の高周波側に現れる副緩和は, α 緩和の素過程である Johari-Goldstein (JG) β 緩和と, それ以外の局所的分子運動 (local β 緩和) に分類された (K. L. Ngai, M. Paluch, J. Chem. Phys. 120, 857(2004))。 α 緩和はガラス転移に直接関係する, 多数の分子の協同的な運動によって引き起こされる緩和であり, 一方, JG β 緩和は局所的な分子運動であるが, JG β 緩和は α 緩和と密接に関係し, 協同運動である α 緩和の前駆的かつ局所的に起こる α 緩和の素過程 (JG β 緩和は, α 緩和となる協同運動よりも短い時間で起こる揺らぎであり, この揺らぎが同時多発的に起こった場合に α 緩和となる) であると提

唱された。

我々はガラス転移温度まで温度を下げて, 氷結しない含水率約 40%以下の様々な物質の水溶液について, 室温付近の液体状態から低温のガラス転移温度以下までの広い温度範囲 (80~298K), 液体から固体までの分子運動を観測できる広い周波数域 (10 μ Hz ~ 10 GHz) の BDS 測定を行った。その結果, (1) 液体状態で観測された緩和時間分布と低温における複数の緩和が, 水分子と溶質分子の協同運動性と密接に関係し, 協同運動性が温度によって大きく変化することが判った。

(2) 様々な低分子量分子性液体の水溶液で, 液体状態の高温域では一種類の運動モードの水が存在し, 低温では水分子固有の局所的な速い ν 緩和と, 溶質分子と協同的にゆっくりと動く α 緩和の 2 種類の水の運動が存在する。(3) α 緩和のガラス転移温度で ν 緩和の緩和時間, 緩和強度の温度依存性が変化することを明らかにした。(N. Shinyashiki, et al. J. Phys.: Condens. Matter, 19, 205113 (2007).)

以上の結果は ν 緩和と α 緩和の関係が, 水以外の様々な物質で観測される JG β 緩和と α 緩和の関係と同じであり (S. Capaccioli, K. L. Ngai, N. Shinyashiki, J. Phys. Chem. B 111, 8197(2007)), α 緩和と JG β 緩和の関係が, タンパク質-水系の水とタンパク質と水分子運動の関係と同じであることを示した (K. L. Ngai, S. Capaccioli, N. Shinyashiki, J. Phys. Chem. B, 112, 3826(2008)).

近年, 氷結した 20(w/w)牛血清アルブミン (BSA) 水溶液の断熱カロリーメトリー測定で, 110K, 135K, 200K でのエンタルピー緩和としてガラス転移が観測された (Kawai, K.; Suzuki, T.; Oguni, M. Biophys. J., 90, 3732(2006).)。同じ BSA 水溶液に対して我々が BDS 測定を行ったところ, 氷結したタンパク質水溶液で不凍水, 氷, 水和したタンパク質の 3 つの緩和が観測された。(図 1) (N. Shinyashiki, et al. J. Phys. Chem. B, 113, 14448(2009).) 3 つの緩和の緩和時間から得られた T_g は, 断熱カロリーメトリーで観測された T_g と一致したことから, 熱測定で観測されたガラス転移を引き起こす分子運動を誘電緩和で確認することが出来た。また, 不凍水の緩和と水和タンパク質の緩和が, 氷結しない水溶液で観測された ν 緩和と α 緩和の関係と同様, 水和タンパク質の分子運動が水の局所運動を素過程としている事を示した。

従来、主に低温で氷結しない含水率の低い含水物や溶液が分子運動の研究対象とされてきた。しかし、氷結した BSA 水溶液の分子運動の観測により、氷結した系においても、 α 緩和と JG β 緩和が同様に観測される事を示した。さらに、氷結するタンパク質-水系で観測されてきた熱力学的挙動のメカニズムを、誘電緩和でより明確にした。

2. 研究の目的

本研究は不凍水緩和、水和タンパク質の緩和、氷の緩和を、様々な構造のタンパク質や合成高分子の水溶液で観測し、氷結した水溶液中の不凍水、水和した溶質、氷の分子運動について、普遍的性質と物質構造依存性を明らかにすることが目的である

3. 研究の方法

本研究ではタンパク質水溶液と様々な高分子溶液の複素誘電率を測定するが、溶液中の溶媒と高分子の分子運動による緩和を同時に観測する必要がある。そのため 1 μ Hz から 30GHz までの 16.5 桁の周波数域の誘電分光測定システムを用い、80K-300K の範囲で温度を変化させ、ガラス状態から液体状態、あるいは氷結した水溶液から液体状態の水溶液の 50GHz-1mHz の周波数域の複素誘電率を広帯域誘電分光法 (Broadband Dielectric Spectroscopy: BDS) を用いて測定した。BDS 以外にも示差走査熱量測定 (differential scanning calorimetry: DSC)、熱刺激再分極電流測定法 (Thermally Stimulated depolarization Current: TSDC)、等温水分平衡吸着法 water equilibrium sorption isotherms (ESI) measurements を用い、ガラス転移に関する熱分析等を行った。

4. 研究成果

(1) タンパク質水溶液の誘電緩和

①ゼラチン水溶液

ゼラチン濃度 10-40wt%のゼラチン水溶液の温度を 113K-298K の範囲で変化させ、1mHz-50GHz の周波数域で誘電分光測定を行った。以前観測された BSA 水溶液と同様に 3つの緩和が観測された。3つの緩和が現れる周波数や緩和の温度依存性から、これらの3つの緩和の起源は BSA 水溶液と同様であると考えられる。 T_g が 128K の最も速い緩和は水和層にある不凍水による緩和である。中間の速さで T_g が 139K の緩和は氷によるものである。 T_g が 210K の最も遅い緩和は水和したゼラチンの局所的な分子鎖のコンフォメーションの揺らぎによるものであると解釈した。

不凍水緩和と水和タンパク質緩和の溶質構造依存性について、ゼラチン水溶液と BSA 水溶液を比較した。ゼラチン水溶液では不凍水緩和の T_g は 128K であり、110K 付近である

BSA 水溶液の不凍水緩和よりも高く、従来氷結しない水溶液で観測された不凍水緩和と同等であった。系統的な比較はできていないが、球状タンパク質の表面が親水基で覆われているのに対し、ランダムコイル状のゼラチンの方は必ずしも親水性でない部分も水に触れる。疎水性部分が水に触れると水の緩和時間が大きくなると考えられ、このような構造の違いが緩和時間や T_g の違いとして現れたと考えられる。

ゼラチン水溶液で最も低周波側に観測された水和ゼラチンの緩和は、260K 以上で緩和時間の温度依存性が大きくなる。一方、温度の上昇とともに不凍水緩和の緩和強度も 260K 付近から増加する。これは 260K 付近から氷の融解が始まった為と考えられる。260K 以上では温度の上昇と共に氷が徐々に融解するため不凍水緩和の強度は増加する。氷の融解により溶液相のゼラチン濃度が下がり、その結果水和ゼラチンは動きやすくなり、緩和時間の急激な減少が 260K 以上で観測されたと考えられる。ゼラチン水溶液では氷の融解により水和ゼラチンの緩和時間が大きく変化するが、BSA 水溶液では変化が見られない。これは球状タンパク質が氷の融解により濃度が減少しても、球状構造を保ったタンパク質分子の分子鎖の局所的な濃度が変化しない為と考えられる。水和した溶質分子運動のガラス転移と不凍水緩和の緩和時間の関係としては、まずは上記の 260K の融解開始温度以上では、氷の融解による不凍水緩和の緩和強度増加と、不凍溶液相のゼラチン濃度減少による緩和時間の温度依存性変化が挙げられる。さらに、 T_g を境に不凍水緩和の緩和時間の温度依存性が低温側の Arrhenius 型から、高温側の Vogel-Fulcher 型へ変化する事がゼラチン水溶液でも確認された。

②球状タンパク質水溶液

BSA および lysozyme 水溶液でほぼ乾燥したペレット状の 2wt%から、溶液状態の 82wt%の範囲で含水率を変化させ、DSC、BDS、TSDC、ESI による測定を行った。氷結や氷の融解を DSC で観測し、不凍水量を見積った。また、DSC と TSDC を用い含水率が低い領域のガラス転移温度と含水率が高い氷結が起こる濃度の試料の氷結および融解温度を決定し、広い含水率の範囲の状態図を明らかにした。含水率 7%以上の BSA、lysozyme 両水溶液で、水和タンパク質の分子運動によるガラス転移をもたらす α 過程が DRS で観測された。含水率の増加によりタンパク質が可塑化され、含水率 28%までは水和タンパク質の T_g が急激に低くなる。28%以上の含水率では試料の冷却過程で氷結が起こった。また、タンパク質表面の極性基及び水和水の局所的な分子運動による緩和が観測され、含水率の増加により、この緩和の緩和時間が含水率 18wt%までは小

さくなる。18wt%でこれまで様々な水溶液で観測されてきた不凍水緩和の緩和時間と一致し、含水率が高い溶液では緩和時間が変化しないことが判った。

(2) 高分子水溶液、高分子溶液の誘電緩和

タンパク質は複雑な分子構造を持つため、タンパク質水溶液で観測される緩和からそのメカニズムを特定することは困難である。そこで単一の繰返し単位構造を持ち、ランダムコイル状態の合成高分子水溶液の高分子の運動を調べる事は、タンパク質水溶液中の分子運動を理解する上で必要である。

poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) 水溶液で低温でも氷結しない 65wt%PVP 水溶液の BDS 測定を室温付近から水の T_g 付近 (120K) までの広い温度範囲で行い、従来水の緩和のみが観測されていたが、PVP の局所的な分子運動による緩和の温度依存性を初めて観測し、水の緩和の温度依存性との関係を解明した。

水溶性高分子の PVP のクロロホルム溶液を 298K-210K の温度域で BDS 測定を行い、PVP 高分子鎖の局所的な分子運動による緩和を観測した。20wt% PVP よりも高濃度では PVP の緩和は非対称に広がり、緩和時間は VFTH 型の温度依存性を示した。一方、低濃度の溶液では緩和は対称的に広がり、緩和時間は Arrhenius 型の温度依存性を示した。緩和の形や緩和時間の温度依存性の濃度による違いが PVP 高分子鎖の局所的な分子運動の協同運動性と関係し、PVP 濃度 20wt%以上の溶液では、温度-時間換算則が成り立ち、PVP は溶液中で均一に広がっていることが判った。

poly(vinyl acetate) (PVAc) ベンゼン用液で温度を変化し BDS 測定を行い PVAc 分子鎖の局所的な運動による緩和を観測した。4°C におけるベンゼンの結晶化により PVAc の緩和時間が急激に増加した後 100s に達する、つまり凍結濃縮により高分子がガラス化する過程が観測された。同様な現象が Poly(ethyl acrylate)/ p-キシレン溶液でも観測された。一部の溶媒が結晶化した高分子溶液の温度上昇に伴う融解を DSC で観測し、不凍溶媒量を見積った。また、DSC と TSDC を用い広い濃度範囲の状態図を明らかにした。溶媒濃度の増加と共に高分子が可塑化され、 T_g の急激な低下が観測された。溶媒が結晶化しても一部の溶媒は結晶化していないことが高分子の緩和の温度依存性や DSC、TSDC 測定によって明らかになった。これらの結果は、低温で不凍水が存在するために水分子と高分子の間の水素結合が必ずしも必要ではない事を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 25 件)

1. Dielectric relaxation strength and magnitude of dipole moment of poly(vinyl

pyrrolidone) in polar solutions, N. Shinyashiki, M. Miyara, S. Nakano, W. Yamamoto, M. Ueshima, D. Imoto, K. Sasaki, R. Kita, S. Yagihara, J. Mol. Liq. 181, 110-114(2013). 査読有

2. Glass Transition and Dynamics of Poly(vinyl pyrrolidone)-Water Mixture, M. Miyara, Y. Sakuramatsu, K. Sasaki, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, The 4th International Symposium on Slow Dynamics in Complex System, AIP Conference Proceedings, 1518, 300-303(2013). 査読有
3. 広帯域誘電分光法による高分子水溶液の分子ダイナミクスとガラス転移, 宮良政彦、佐々木海渡、桜松陽平、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋, 東海大学紀要理学部, 48, 109-118(2013). 査読有
4. Dynamics of Water and Hydrated Gelatin in Partially Crystallized Mixtures, K. Sasaki, A. Panagopoulo, M. Miyara, K. Fujita, W. Yamamoto, P. Pissis, A. Kyritsis, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, The 4th International Symposium on Slow Dynamics in Complex System, AIP Conference Proceedings, 1518, 288-291(2013). 査読有
5. 誘電分光法による部分的に氷結したゼラチン水溶液の水のダイナミクス, 佐々木海渡、宮本陽介、宮良政彦、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、東海大学紀要理学部, 48, 119-131(2013). 査読有
6. 水構造の広帯域ダイナミクスとその解釈, 八木原晋、喜多理王、新屋敷直木、福崎稔、冷凍, 87(1018), 21-27(2012). 査読有
7. Water and Protein Dynamics in Protein-Water Mixtures over Wide Range of Composition, A. Kyritsis, A. Panagopoulou, P. Pissis, R. S. i. Serra, J. L. Gómez Ribelles, N. Shinyashiki, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 19(4), 1239-1246(2012) 査読有
8. Protein and Water Dynamics in Bovine Serum Albumin-Water Mixtures Over Wide Ranges of Composition, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, N. Shinyashiki, P. Pissis, J. Phys. Chem. B. 116, 4593-4602(2012) 査読有
9. 誘電分光法によるミオグロビン-グリセロール-水 3 成分混合系のガラス転移, 疋田由貴、山本航、佐々木海渡、新屋敷直木、喜多理王、八木原晋、東海大学紀要理学部, 47, 131-142(2012). 査読有
10. 広帯域誘電分光法による部分的に氷結したゼラチン水溶液のダイナミクス, 佐々木海渡、藤田圭史、疋田由貴、山本航、栗山直哉、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、東海大学紀要理学部, 47, 89-101(2012), 査読有
11. 高分子溶液中における高分子の双極子モーメントと溶媒の誘電率との関係, 宮良政彦,

- 中野慎也, 山本航, 上島匡博, 井本大蔵, 喜多理王, 新屋敷直木, 八木原晋, 東海大学紀要理学部, 47, 103-114 (2012). 査読有
12. Thermal transitions and dynamics in nanocomposite hydrogels, A. Kyritsis, A. Spanoudaki, C. Pandis, L. Hartmann, R. Pelster, N. Shinyashiki, J. C. Rodriguez Hernandez, J. L. G. Ribelles, M. M. Pradas, P. Pissis, J. Therm. Anal. Calorim. 108, 1067-1078 (2012). 査読有
13. Water and polymer dynamics in poly (hydroxyl ethyl acrylate - co - ethyl acrylate) copolymer hydrogels, A. Kyritsis, A. Spanoudaki, C. Pandis, L. Hartmann, R. Pelster, N. Shinyashiki, J. C. Rodriguez Hernández, J. L. Gómez Ribelles, M. Monleón Pradas, P. Pissis, Eur. Polym. J. 47, 2391-2402 (2011). 査読有
14. Segmental Relaxation of Hydrophilic Poly (Vinyl Pyrrolidone) in Chloroform Studied by Broadband Dielectric Spectroscopy, N. Shinyashiki, A. Spanoudaki, W. Yamamoto, E. Nambu, K. Yoneda, A. Kyritsis, P. Pissis, R. Kita, S. Yagihara, Macromolecules, 44, 2140-2148 (2011). 査読有
15. Polymer Segmental Dynamics and Solvent Thermal Transitions in Poly(ethyl acrylate)/ p-xylene Mixtures, A. T. Stathopoulos, A. Kyritsis, F. J. Romero Colomer, J. L. Gomez Ribelles, N. Shinyashiki, C. Christodoulides, P. Pissis, J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys. 49(6), 455-466 (2011). 査読有
16. Glass transition and dynamics in BSA-water mixtures over wide ranges of composition studied by thermal and dielectric techniques, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, R. S. i Serra, J. L. G. Ribelles, N. Shinyashiki, P. Pissis, Biochimica et Biophysica Acta, 1814, 1984-1996(2011). 査読有
17. Water and Protein Dynamics in Protein - Water Mixtures over Wide Ranges of Composition, A. Kyritsis, A. Panagopoulou, P. Pissis, R. Sabater. i Serra, J. L. G. Ribelles, and N. Shinyashiki, Proceedings of 14th International Symposium on Electrets, IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society, 49-50 (2011). 査読有
18. Glass Transition and Dynamics in Lysozyme-Water Mixtures Over Wide Ranges of Composition, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, Anna-Maria Aravantinou, D. Nanopoulos, R. S. i Serra, J. L. G. Ribelles, N. Shinyashiki, P. Pissis Food Biophysics, 6 (2), 199-209(2011). 査読有
19. Glass transition and dynamics in hydrated proteins over wide ranges of composition studied by thermal and dielectric techniques, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, A-M. Aravantinou, D. Nanopoulos, J. L. G. Ribelles, R. Sabater. i Serra, N. Shinyashiki, P. Pissis, Proceedings of the 9th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances, 9, 62-69(2011). 査読有
20. Resolving the mystery of the dynamics of water clarifying its role in the dynamics of hydrated protein, K. L. Ngai, S. Capaccioli, S. Ancherbak, P. A. Rolla, N. Shinyashiki, Philosophical Magazine., 91 (13-15), 1809- 1835 (2011). 査読有
21. The Role of the Primitive Relaxation in the Dynamics of Aqueous Mixtures, Nano-confined Water and Hydrated Proteins, S. Capaccioli, K. L. Ngai, S. Ancherbak, P. A. Rolla, N. Shinyashiki, J. Non-Cryst. Solids, 357, 641-654 (2011). 査読有
22. 物質中のダイナミックな水構造の直接観測 (広帯域誘電分光からわかってきたこと), 八木原晋, 新屋敷直木, 喜多理王, 日本バイオレオロジー学会誌, 第25巻 第1号、2-11 (2011). 査読有
23. Water and Polymer Dynamics in Hydrogels, L. Hartmann, A. Spanoudaki, A. Kyritsis, P. Pissis, R. Pelster, N. Shinyashiki, J. C. Rodriguez Hernández, J.L. Gómez Ribelles and M. Monleón Pradas, Modern polymeric materials for environmental applications, 4th International Seminar Kraców, Vol. 4, Iss. 1, 109-118 (2010). 査読有
24. Dynamics of polymer and glass transition in partially crystallized polymer solution studied by dielectric spectroscopy, N. Shinyashiki, M. Asano, M. Shimomura, S. Sudo, R. Kita, S. Yagihara, J. Biomaterials Science: Polymer Edition, 21, 1937-1946 (2010). 査読有
25. Study of Polymer Glass Transition and Segmental Motions in Partially Crystallized Poly(ethyl acrylate)/ p-xylene Mixtures, A. T. Stathopoulos, A. Kyritsis, F. J. Romero Colomer, J. L. Gómez Ribelles, N. Shinyashiki, C. Christodoulides, and P. Pissis, AIP Conf. Proc. 1255, 70-72(2010). 査読有
- [学会発表] (計14件)
1. 部分的に氷結したゼラチン水溶液の融解と水のダイナミクス, 佐々木海渡、宮良政彦、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、'12 SAS Intelligent Symposium, 2012年11月15、16日、平塚。

2. Water and Protein Dynamics in Hydrated Globular Proteins, P. Pissis, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, N. Shinyashiki, Frontiers of Water Biophysics, 23-26 September 2012, Italy.
 3. Glass Transition and Dynamics for Partially Crystallized Gelatin Water Mixture Studied by Broadband Dielectric Spectroscopy, K. Sasaki, A. Panagopoulou, M. Miyara, K. Fujita, W. Yamamoto, P. Pissis, A. Kyritsis, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, 15th International Congress on Thermal Analysis and Calorimetry & 48th Japanese Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, 20-24 August, 2012, Higashi-Osaka.
 4. Dielectric Relaxation of PVP-Water Mixtures about Glass Transition, M. Miyara, Y. Sakuramatsu, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, The 5th Discussion Meeting on Glass Transition, February 27 - March 1, 2012. Tohoku University, Sendai.
 5. Dielectric Relaxations and Glass Transitions of Partially Crystallized Gelatin-Water Mixture, K. Sasaki, K. Fujita, Y. Hikita, N. Kuriyama, W. Yamamoto, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, The 5th Discussion Meeting on Glass Transition, February 27 - March 1, 2012. Tohoku University, Sendai.
 6. 部分的に氷結したゼラチン水混合系の誘電的研究、佐々木海渡、藤田圭史、疋田由貴、山本航、栗山直哉、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム 2011、2011 年 12 月、横浜。
 7. 広帯域誘電分光法による部分的に氷結したゼラチン水溶液のダイナミクス、佐々木海渡、藤田圭史、疋田由貴、山本航、栗山直哉、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、日本物理学会 2011 年秋季大会、2011 年 9 月 21-24、富山。
 8. 溶液中の水溶性高分子鎖ダイナミクスの時間 - 温度換算則とガラス転移、山本航、南部絵梨、米田馨、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、A. Spanoudaki, A. Kyritsis, P. Pissis, 日本物理学会 2011 年秋季大会、2011 年 9 月 21-24、富山。
 9. 高分子溶液中の高分子の緩和強度および双極子モーメントと溶媒の誘電率との関係、宮良政彦、中野慎也、上島匡博、井本大蔵、山本航、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、日本物理学会 2011 年秋季大会、2011 年 9 月 21-24、富山。
 10. 広帯域誘電分光法によるポリビニルピロリドン-アルコール溶液の緩和現象、宮良政彦、中野慎也、上島匡博、井本大蔵、山本航、喜多理王、新屋敷直木、八木原晋、第 60 回高分子学会年次大会、2011 年 5 月、大阪。
 11. Glass Transition and Dynamics in Hydrated Proteins Over Wide Ranges of Composition Studied by Thermal and Dielectric Techniques, A. Panagopoulou, A. Kyritsis, A-M. Aravantinou, D. Nanopoulos, J. L. G. Ribelles, R. Sabater i Serra, N. Shinyashiki, P. Pissis, 9th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances, International Society for Electromagnetic Aquametry, May 31- June 3, 2011. USA.
 12. Water and Protein Dynamics in Protein - Water Mixtures over Wide Ranges of Composition, A. Kyritsis, A. Panagopoulou, P. Pissis, R. S. i Serra, J. L. Gomez Ribelles, N. Shinyashiki, 2011 IEEE 14th International Symposium on Electrets ISE14, August 28-31. 2011, France.
 13. Thermal transitions of solvent and polymer dynamics in binary poly(ethyl acrylate) /p-xylene mixtures, A. Kyritsis, A. Stathopoulos, F. Romero Colomer, A. Sanchez Alcazar, J.L. Gómez Ribelles, N. Shinyashiki. The -6th International Conference on Broadband Dielectric Spectroscopy and Its Applications, 7-10, September, 2010, Spain.
 14. Slow and fast dynamics of hydrated proteins: the pivotal role of secondary β relaxation of water, S. Capaccioli, M. Bertoldo, P.A. Rolla, N. Shinyashiki, K.L. Ngai The -6th International Conference on Broadband Dielectric Spectroscopy and Its Applications 7-10, September. 2010, Spain.
- [その他]
ホームページ等
<http://www.sp.u-tokai.ac.jp/~rgms/indj01.html>
6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
新屋敷 直木 (SHINYASHIKI NAOKI)
東海大学・理学部・教授
研究者番号：00266363
 - (2) 研究分担者
八木原 晋 (YAGIHARA SHIN)
東海大学・理学部・教授
研究者番号：40191093

喜多 理王 (KITA RIO)
東海大学・理学部・准教授
研究者番号：90322700
 - (3) 連携研究者 なし