

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 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350050

研究課題名（和文）疎水性相互作用により誘起される高分子水溶液の白濁現象の真相究明

研究課題名（英文）Detailed study of “phase” behavior of polymer aqueous solutions induced by hydrophobic interactions

研究代表者

吉崎 武尚（YOSHIZAKI TAKENAO）

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90230705

研究成果の概要（和文）：高分子水溶液の白濁現象は、従来の高分子溶液理論に基づいて理解できるような簡単な現象ではないことを明らかにした。ポリ（*N*-イソプロピルアクリルアミド）（PNIPA）水溶液の曇点は、PNIPA とその周りの水分子の間の水素結合だけでなく、PNIPA 鎖の末端基および一次構造にも支配されることを示した。これにより、PNIPA 水溶液の曇点曲線は共存曲線とは必ずしも一致しないことを指摘した。

研究成果の概要（英文）：Phase behavior of polymer aqueous solutions was found not to be so simple as usually considered. The cloud point in aqueous poly(*N*-isopropylacrylamide) (PNIPA) solutions is shown to be governed not only by the hydrogen bonds between PNIPA and surrounding water molecules but also by the end group and primary structure of PNIPA chains. It is concluded that the cloud-point curve does not directly correspond to the bimodal as far as aqueous PNIPA solutions are concerned.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2011 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

 キーワード：高分子物性、高分子溶液物性、ポリ（*N*-イソプロピルアクリルアミド）、高分子水溶液、相挙動、曇点

1. 研究開始当初の背景

ポリ（*N*-イソプロピルアクリルアミド）（PNIPA）水溶液は下限臨界温度（LCST）型相挙動（図1左）を示すと考えられている。そのような相挙動は、溶質高分子の繰返し単位と水分子の間の電気双極子相互作用-水素結合が温度の上昇によって弱くなり、剥き出しになった疎水性基の間に引力が働くためと理解されている。また、PNIPA水溶液を含む高分子溶液の様々な相挙動は、Flory-Huggins

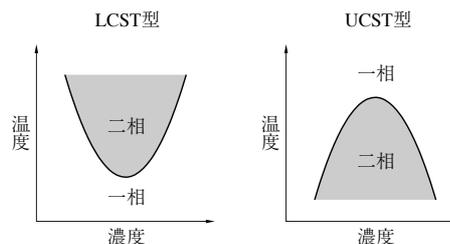


図 1 LCST 型および UCST 型相図

(FH) 理論の枠組で理解できると考えられている。同理論では、高分子溶液の混合自由エネルギーが、FH混合エントロピーと、溶質高分子と溶媒分子の混合によって生じる過剰エネルギーを表現したエンタルピー項との和で表される。理論は、元々、極性の小さい高分子を極性の小さい溶媒に溶かした系を想定しているが、その場合、エンタルピー項に含まれる熱力学的相互作用係数と呼ばれる因子 χ が絶対温度 T に反比例し、そのような系が示す上限臨界温度 (UCST) 型相挙動 (図1右) を再現することができる。一方、水溶液のように、極性の大きい高分子を極性の大きい溶媒に溶かした場合、電気双極子相互作用により、 χ の温度依存性は単調ではなく、LCST型をはじめとする様々な相挙動を示す。生体内高分子あるいは水溶性機能高分子の振舞を最底辺から理解するには、そのような高分子水溶液の χ の温度依存性とその結果生じる相挙動の理解が必要であるが、PNIPA水溶液の相境界温度が体温近辺で実験が容易なこともあり、数年前に同水溶液に関する系統的な実験的研究に着手した。

しかし、研究に先立ってPNIPA水溶液に関する文献データを詳細に比較検討したところ、相境界温度 (図1の実線) が研究者によって実験誤差を超えて異なっていた。なお、二成分溶液が温度変化によって液-液相分離する場合、相境界温度の極近傍において急激に濃度揺らぎが大きくなり、溶液が白濁するので、溶液の透過光強度が減衰し始める温度-曇点を実験的に決定し、それを相境界温度とする。その場合、一旦透過光強度が減衰し始めると、そこで温度を一定に保っても透過光強度が一定値に止まることはなく、相分離が自発的に進行する。また、FH理論ではPNIPAの分子量の増大に伴い相境界温度が低下するが、その理論予測に反する報告例もあり、PNIPA水溶

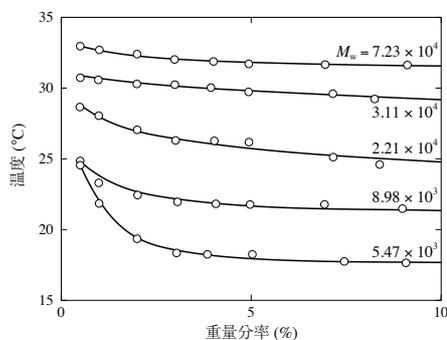


図2 直鎖PNIPAの曇点曲線

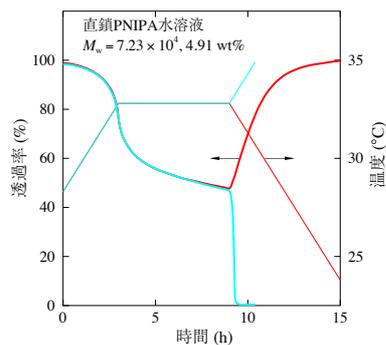


図3 透過率の時間・温度依存性

液は一般に言われているような単純な系ではないことが予感された。

そこで、先ず文献データの再現性を確認するため、アゾビスイソブチロニトリル(AIBN)を開始剤として種々の有機溶媒中でラジカル重合したPNIPA試料を調製し、それらの水溶液の透過光強度測定により曇点を決定するとともに、稀薄溶液物性の解析から試料の分枝の程度を調べた。その結果、重合溶媒によって分枝の程度が異なること、分枝の程度が大きい方が曇点が低いことが分かった。また、非常に稀薄な領域を除いて、曇点の分子量依存性がFH理論予測と逆転することを確認した。次に、分枝の影響をより明確にするため、リビングアニオン重合した分枝のない試料を調製し、曇点を決定した。しかし、重合開始末端の疎水性が大きいため、分枝の影響よりはむしろ末端基の疎水性の影響を調べる結果となった (図2)。分子量の低下とともに末端基の影響が大きくなり曇点が著しく低下している。さらに、PNIPA水溶液の透過光強度の温度依存性を精密に追跡し、それが液-液相分離に伴うものではないこと (図3)、曇点より低い温度において会合体が形成されることを明らかにした。

試料の合成において重合開始・停止末端には主鎖の繰返し単位と疎水性の異なる基が必然的に導入されるが、水溶液の場合、その末端基の影響が想像を超えて大きく、白濁のようなマクロな変化に先立ち、見掛け上均一透明な溶液中で会合体が形成される。それが成長、結合して溶液が白濁するという分子論的シナリオが思い浮かぶが、現在利用できる実験データのみに基づいてそのように結論するのは無理である。

2. 研究の目的

上記の予想を裏付け、実際に形成されるPNIPA会合体の構造を明らかにするには、水

溶液が見掛け上均一透明な温度から曇点以上の温度にわたる散乱実験が望まれる。しかし、温度が曇点に近付くと、光散乱では散乱光強度が増し、多重散乱、Mie散乱の影響が現れ、解析が困難になり、さらには白濁するので構造決定は事実上不可能である。本研究では、小角X線散乱法を用いて温度上昇に伴うPNIPA会合体の構造変化を追跡する。さらに、主鎖の繰返し単位と水分子の相互作用の状態を熱量測定により追跡し、曇点ならびに会合体構造と水素結合状態の関係を解明する。また、レドックス系開始剤を用いたラジカル重合により末端に親水性基を持つPNIPA試料を新たに調製し、「相」挙動と末端基の関係についてさらに考察を深める。得られた結果を総合して、温度上昇に伴うPNIPA水溶液の白濁現象の総体的理解を得る。

3. 研究の方法

本研究では、まず初めに、レドックス系開始剤を用いた水溶液中でのラジカル重合によって合成されるPNIPA試料の分子特性解析および水溶液の相挙動に関する研究を行う。我々がこれまでに研究したAIBNを開始剤に用いてラジカル重合したPNIPA試料およびリビングアニオン重合法によって合成した直鎖PNIPA試料との比較を交えながら、レドックス系開始剤に由来するイオン性親水性末端基によってPNIPA試料の水溶液の曇点および溶液物性がどのような影響を受けるのか明らかにする。その後、本研究においてレドックス系開始剤を用いて重合した試料も含め、様々な方法で合成したPNIPA試料の水溶液の曇点近傍での小角X線散乱実験と熱量測定を行う。PNIPA水溶液の曇点を挟む温度変化につれて、同水溶液の構造と水和状態にどのような変化が見られるか、またその変化にPNIPA試料の末端構造や一次構造の違いがどのように反映されるのかを解明する。

4. 研究成果

2010年度 以下の三つの成果を得た。

(1)レドックス系開始剤を用いたPNIPAのラジカル重合および分別精製

末端に親水性のスルホン酸基を持ち、立体規則度を表すラセモ分率 f_r が0.53ないし0.54の原試料を合成し、それを分別精製することにより重量平均分子量 M_w が約10万から約250万の9試料を得た。いずれの試料についても、分子量分布の指標となる M_w と数平均分子量 M_n の比 M_w/M_n は1.2ないし1.3であり、特性解析を行うための要求を十分満たしている。

(2)レドックス系開始剤を用いてラジカル重

合したPNIPAの特性解析

(1)で得られたPNIPA測定試料のメタノール溶液について、25.0℃における光散乱および粘度測定を行い、 M_w 、平均二乗回転半径、第2ビリアル係数、固有粘度を決定した。それらの物理量の解析から試料の分枝の程度を調べた。

(3)レドックス系開始剤を用いてラジカル重合したPNIPA水溶液の相挙動に関する研究

M_w が 1.04×10^5 、 1.86×10^5 の2試料について、その水溶液が白濁し始める温度（曇点）を重量濃度が10%以下の範囲で決定した。これまでに研究した疎水性末端基を持つPNIPA水溶液の曇点が M_w の増加とともに上昇したのとは逆に、今回の結果では下降し、高分子溶液の熱力学理論の予測と一致した。以前の結果が理論予測に反したのは、疎水性末端基の影響によることを明らかにした。 M_w が 10^5 以上の高分子量領域においても、水溶液の曇点挙動が末端基に左右されるという結果は、これまで誰も予想しなかったことであり、高分子水溶液の相挙動解明に新しくかつ重要な知見を提供した。

2011年度 以下の(1)と(2)を行ったが、(1)については期待した実験データが得られなかった。

(1)様々な末端構造および一次構造を持つPNIPAの水溶液の曇点近傍における小角X線散乱測定

レドックス系開始剤およびアゾビスイソブチロニトリルを開始剤に用いてラジカル重合したPNIPA試料、ならびにリビングアニオン重合法によって合成した直鎖PNIPA試料の稀薄から濃厚な濃度領域にわたる水溶液について、曇点を挟む温度範囲にわたって小角X線散乱測定を行い、昇温にともなう同水溶液中で形成されるナノスケールあるいはメゾスケールの構造を明らかにするため、SPring8において予備実験を行ったが、高分子間架橋が起り、望む測定はできなかった。

(2)様々な末端構造および一次構造を持つPNIPAの水溶液の曇点近傍における熱量測定

(1)と同様に種々のPNIPA試料の稀薄から濃厚な濃度領域における水溶液について、曇点を挟む温度範囲にわたる熱量測定を行い、昇温にともなうPNIPAの繰返し単位と水分子との相互作用の状態の変化を明らかにするために、京都大学大学院工学研究科に共通機器として設置されているセイコーインスツル社製熱流束型示差走査熱量計で測定を

行った。さらに、熱量測定で検出される吸熱ピークより決定される転移温度と転移エンタルピーに対する PNIPA 試料の末端基と一次構造の違いの影響を系統的に調査・検討した。

2012年度 2011, 2012年度に3種類の末端基を有するPNIPA原試料を順次合成、精製した精密測定に耐える分子量分布の狭い一連の測定試料を用いて、特性解析、曇点測定、熱量測定、小角X線散乱測定を行ってきたが、最終年度である2012年度は実験結果を確定するための幾つかの追加実験を行い、得られた実験結果に基づき以下の二つの総合的な結論に至った。

(1)PNIPA水溶液の昇温によって白濁する温度(曇点)が長鎖分枝の有無や末端基の疎水性、親水性によって異なることを明らかにした。また、疎水性末端基を持つPNIPA水溶液においては、マクロな相分離に先立ち分子間会合が起こるため、曇点曲線が相境界温度である共存曲線と必ずしも一致しないという重要な事実を指摘した。

(2)有機溶剤を溶媒とする高分子溶液においても末端基の影響は知られているが、溶液のマクロな挙動にまで影響することはない。水和によって高分子鎖が分散して均一溶液を形成する水溶液では、水和構造が疎水性基に敏感なためにドラスティックな変化が起こると考えられる。したがって、PNIPA水溶液で観察された上の現象は高分子水溶液に共通する現象であると考えられる。

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 11 件)

- Hiroshi Okada, Shuhei Matsumoto, Yo Nakamura, "Second and third virial coefficients of low-molecular-weight polystyrene with a benzyl end in toluene," *Polymer Journal*, 査読有, 42 巻, 2010, 386~390.
DOI: 10.1038/pj.2010.11
- Daichi Ida, Daisuke Nakatomi, Takenao Yoshizaki, "A Monte Carlo study of the second virial coefficient of semiflexible ring polymers," *Polymer Journal*, 査読有, 42 巻, 2010, 735~744.
10.1038/pj.2010.61
- Juan P. Hinestrosa, Jose Alonzo, Masashi Osa, S. Michael Kilbey II, "Solution behavior of polystyrene-polyisoprene microarm block copolymers in a selective solvent for polyisoprene," *Macromolecules*, 査読有, 43 巻, 2010, 7294~7304.
DOI: 10.1021/ma100428a
- Tomoyo Ise, Kouta Nagaoka, Masashi Osa, Takenao Yoshizaki, "Cloud points in aqueous solutions of poly(*N*-isopropylacrylamide) synthesized by aqueous redox polymerization," *Polymer Journal*, 査読有, 43 巻, 2011, 164~170.
DOI: 10.1038/pj.2010.121
- Yo Nakamura, "Intermolecular interactions of brush-like polymers," *Polymer Journal*, 査読有, 43 巻, 2011, 757~761.
DOI: 10.1038/pj.2011.61
- Hiroshi Iwawaki, Tadashi Inoue, Yo Nakamura, "Rheo-optical study on dynamics of bottlebrush-like polymacromonomer consisting of polystyrene," *Macromolecules*, 査読有, 44 巻, 2011, 5414~5419.
10.1021/ma2008332
- Takuma Kaneshima, Daichi Ida, Takenao Yoshizaki, "Intrinsic viscosity of wormlike regular four-arm stars," *Polymer Journal*, 査読有, 44 巻, 2012, 115~120.
DOI: 10.1038/pj.2011.45
- Hidetsugu Kanda, Yo Nakamura, "Effects of side-chain ends on the stiffness and excluded-volume parameters of polymacromonomers," *Polymer Journal*, 査読有, 44 巻, 2012, 115~120.
DOI: 10.1038/pj.2011.132
- 近藤 泰史, 中村 洋, 「SEC-MALS 測定における分子量分布の影響について」, 高分子論文集, 査読有, 69 巻, 2012, 387~391.
DOI: 10.1295/koron.69.387
- Hiroshi Iwawaki, Osamu Urakawa, Tadashi Inoue, Yo Nakamura, "Rheo-optical study on dynamics of bottlebrush-like polymacromonomer consisting of polystyrene. II. Side chain length dependence on dynamical stiffness of main chain," *Macromolecules*, 査読有, 45 巻, 2012, 4801~4808.
DOI: 10.1021/ma300269b
- Yuuji Hatanaka, Yo Nakamura, "Dilute solution properties of polymacromonomer consisting of polybutadiene backbone and polystyrene side chains," *Polymer*, 査読有, 45 巻, 2013, 1538~1542.
DOI: 10.1016/j.polymer.2013.01.007

[学会発表] (計 37 件)

- 小松原 拓也, 伊勢 知世, 長 昌史, 吉崎 武尚, 「ポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド)水溶液の曇点近傍における熱

- 分析」, 第 59 回高分子学会年次大会, 2010 年 5 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
2. 伊勢 知世, 永岡 洪太, 長 昌史, 吉崎 武尚, 「レドックス開始剤を用いて合成したポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド)の稀薄溶液物性」, 第 59 回高分子学会年次大会, 2010 年 5 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
 3. 中臣 大輔, 井田 大地, 吉崎 武尚, 「非摂動半屈曲性環状高分子の第 2 ビリアル係数」, 第 59 回高分子学会年次大会, 2010 年 5 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
 4. 畑中 悠史, 中村 洋, “Dilute solution properties of poly(styrene macromonomer) with polybutadiene backbone,” 第 59 回高分子学会年次大会, 2010 年 5 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
 5. 山本 誠治, 井上 耕太, 中村 洋, 「ポリイソプレンからなるポリマクロモノマーの第 2 ビリアル係数」, 第 56 回高分子研究発表会 (神戸), 2010 年 7 月 6 日, 兵庫県民会館 (兵庫県) .
 6. 中臣 大輔, 井田 大地, 吉崎 武尚, 「非摂動半屈曲性環状高分子の第 2 ビリアル係数」, 第 56 回高分子研究発表会 (神戸), 2010 年 7 月 6 日, 兵庫県民会館 (兵庫県) .
 7. 井田 大地, 中臣 大輔, 吉崎 武尚, 「非摂動環状高分子の第 2 ビリアル係数に対する 3 体セグメント間相互作用の影響」, 第 59 回高分子討論会, 2010 年 9 月 15 日, 北海道大学高等教育機能開発総合センター (北海道) .
 8. 中村 洋, 「ポリマクロモノマー溶液の第 2 ビリアル係数」, 第 59 回高分子討論会, 2010 年 9 月 15 日, 北海道大学高等教育機能開発総合センター (北海道) .
 9. 伊勢 知世, 小松原 拓也, 長 昌史, 吉崎 武尚, 「レドックス開始剤系を用いて合成したポリ(*N*-イソプロピルアクリルアミド)の水溶液挙動」, 第 59 回高分子討論会, 2010 年 9 月 15 日, 北海道大学高等教育機能開発総合センター (北海道) .
 10. 松本 修平, 中村 洋, 「数個の繰り返し単位からなる側鎖を有するポリスチレンポリマクロモノマーの希薄溶液物性」, 第 59 回高分子討論会, 2010 年 9 月 16 日, 北海道大学高等教育機能開発総合センター (北海道) .
 11. 井田 大地, 中臣 大輔, 吉崎 武尚, “Second virial coefficient of unperturbed semiflexible rings,” PachifiChem2010, 2010 年 12 月 19 日, Hawaii Convention Center (アメリカ, ハワイ州) .
 12. 中村 洋, 畑中 悠史, “Characterization of polyacromonomer consisting of polyisoprene backbone with polystyrene side chain,” PachifiChem2010, 2010 年 12 月 19 日, Hawaii Convention Center (アメリカ, ハワイ州) .
 13. 吉崎 武尚, 「非イオン性高分子水溶液の相挙動に関する幾つかの問題」, 第 60 回高分子学会年次大会, 2011 年 5 月 27 日, 大阪国際会議場 (大阪府) .
 14. 中村 洋, 畑中 悠史, 山本 誠治, 松宮 由美, 渡辺 宏, 「主鎖にポリイソプレン構造を持つポリスチレンポリマクロモノマーの誘電緩和」, 第 60 回高分子学会年次大会, 2011 年 5 月 26 日, 大阪国際会議場 (大阪府) .
 15. 大橋 泰良, 井上 耕太, 中村 洋, 「U 溶媒中における低分子量ポリイソプレンの第 2 ビリアル係数」, 第 57 回高分子研究発表会 (神戸), 2011 年 7 月 15 日, 兵庫県民会館 (兵庫県) .
 16. 坪内 隆太郎, 井田 大地, 吉崎 武尚, 「半屈曲性環状高分子の散乱関数」, 第 60 回高分子討論会, 2011 年 9 月 29 日, 岡山大学津島キャンパス (岡山県) .
 17. 井田 大地, 吉崎 武尚, 「非摂動半屈曲性環状高分子の第 2 ビリアル係数に対する 3 体セグメント間相互作用の影響」, 第 60 回高分子討論会, 2011 年 9 月 29 日, 岡山大学津島キャンパス (岡山県) .
 18. 中村 洋, 長谷川 祐介, 「ポリスチレンスルホン酸ナトリウムを側鎖とするポリマクロモノマーの水溶液中における拡がり」, 第 60 回高分子討論会, 2011 年 9 月 29 日, 岡山大学津島キャンパス (岡山県) .
 19. 中村 洋, “Inter- and Intramolecular interactions of brush-like polymers,” KIPS-ESPCI Workshop on Polymer Science 2011, 2011 年 11 月 29 日, 京都大学桂キャンパス (京都府) .
 20. 坪内 隆太郎, 井田 大地, 吉崎 武尚, “Scattering functions of semiflexible rings,” KIPS-ESPCI Workshop on Polymer Science 2011, 2011 年 11 月 29 日, 京都大学桂キャンパス (京都府) .
 21. 山本 誠治, 井上 耕太, 中村 洋, “Second virial coefficient of polyacromonomer consisting of polyisoprene,” KIPS-ESPCI Workshop on Polymer Science 2011, 2011 年 11 月 29 日, 京都大学桂キャンパス (京都府) .
 22. 吉崎 武尚, 「水溶性高分子の特性解析と相挙動」, 第 139 回ポバール会, 2012 年 1 月 28 日, 倉敷国際ホテル (岡山県) .
 23. 金島 琢磨, 井田 大地, 吉崎 武尚, 「4 本腕星型みみず鎖の固有粘度」, 第 61

- 回高分子学会年次大会, 2012年5月29日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
24. 北河 佑介, 中村 洋, 「ポリスチレンスルホン酸ナトリウムからなるポリマクロモノマーの希薄溶液中における拡がりの塩濃度依存性」, 第61回高分子学会年次大会, 2012年5月29日, パシフィコ横浜 (神奈川県) .
 25. 井出 啓太, 中村 洋, 「ポリスチレンスルホン酸ナトリウムからなるポリマクロモノマーの光散乱測定」, 第58回高分子研究発表会 (神戸), 2012年7月13日, 兵庫県民会館 (兵庫県) .
 26. 森本 逸朗, 中村 洋, 「側鎖重合度が100を超えるポリスチレンポリマクロモノマーの液晶形成」, 第58回高分子研究発表会 (神戸), 2012年7月13日, 兵庫県民会館 (兵庫県) .
 27. 井田 大地, 吉崎 武尚, “Solution properties of semiflexible ring polymers,” Gordon Research Conference, Polymer Physics, 2012年7月22日, Mount Holyoke College (アメリカ, マサチューセッツ州) .
 28. 中村 洋, “Inter- and Intramolecular interactions of brush-like polymers,” Gordon Research Conference, Polymer Physics, 2012年7月22日, Mount Holyoke College (アメリカ, マサチューセッツ州) .
 29. 井田 大地, 吉崎 武尚, 「非摂動半屈曲性環状高分子の第2ビリアル係数に対する3体セグメント間相互作用の影響 [III]」, 第61回高分子討論会, 2012年9月19日, 名古屋工業大学 (愛知県) .
 30. 坪内 隆太郎, 井田 大地, 吉崎 武尚, 「半屈曲性環状高分子の散乱関数 [II]」, 第61回高分子討論会, 2012年9月19日, 名古屋工業大学 (愛知県) .
 31. 大橋 泰良, 井上 耕太, 中村 洋, 「U溶媒中における低分子量ポリイソプレンの第2ビリアル係数」, 第61回高分子討論会, 2012年9月19日, 名古屋工業大学 (愛知県) .
 32. 井上 正志, 岩脇 寛, 中村 洋, 「ボトルブラシ状高分子のダイナミクス: 側鎖末端基種および主鎖分岐密度の効果」, 第61回高分子討論会, 2012年9月19日, 名古屋工業大学 (愛知県) .
 33. 近藤 泰史, 中村 洋, 「SEC-MALS測定における分子量分布の影響について」, 2012年9月20日, 名古屋工業大学 (愛知県) .
 34. 井田 大地, 吉崎 武尚, “Topological interactions between semiflexible ring polymers,” Joint Symposium of 5th International Symposium on Polymer

Material Science & 8th Osaka University Macromolecular Symposium, 2012年11月10日, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府) .

35. 中村 洋, “Inter- and intramolecular interactions of brush-like polymers,” Joint Symposium of 5th International Symposium on Polymer Material Science & 8th Osaka University Macromolecular Symposium, 2012年11月10日, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府) .
36. 井田 大地, 中臣 大輔, 吉崎 武尚, “Topological interactions between semiflexible ring polymers,” The 9th SPSJ International Polymer Conference, 2012年12月12日, 神戸国際会議場 (兵庫県) .
37. 中村 洋, “Inter- and intramolecular interactions of brush-like polymers,” The 9th SPSJ International Polymer Conference, 2012年12月13日, 神戸国際会議場 (兵庫県) .

〔図書〕 (計1件)

1. Yo Nakamura, Takashi Norisuye, Elsevier Science, “Polymer Science: A Comprehensive Reference,” Volume 2, Chapter 2.02 Polymer Properties in Solutions, 2012, 7760頁.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.molsci.polym.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉崎 武尚 (YOSHIZAKI TAKENAO)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 90230705

(2) 研究分担者

中村 洋 (NAKAMURA YO)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90243162
長 昌史 (OSA MASASHI)
愛知教育大学・教育学部・講師
研究者番号: 50332721
井田 大地 (IDA DAICHI)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 80610518

(3) 連携研究者

該当なし