

## 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 1日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22350106

研究課題名（和文） 光増感剤のフラーレン包接錯体を水に可溶化する  
感温性ナノキャリアの開発

研究課題名（英文） Preparation of thermo-responsive nano-carrier which can solubilize  
fullerene complex as a photosensitizer in water

研究代表者

遊佐 真一（Shin-ichi Yusa）

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00301432

研究成果の概要（和文）：感温性ブロックおよび C<sub>60</sub> と親和性の高いブロックからなる二重親水性ブロック共重合体を制御ラジカル重合法で合成した。このポリマーは水に不溶な C<sub>60</sub> を水に可溶化できた。この C<sub>60</sub> とポリマーのコンプレックスは体温より少し高い温度でサイズが増加するので体内に導入した場合、温めることでその周辺に C<sub>60</sub> を集積化できる。さらに光照射すると C<sub>60</sub> から DNA を破壊可能な活性酸素を発生した。したがってこのポリマーは光線力学的療法に利用できると期待される。

研究成果の概要（英文）：Water-soluble diblock copolymer, poly(*N*-isopropylacrylamide)-*block*-poly(*N*-vinyl-2-pyrrolidone) (PNIPAM<sub>*m*</sub>-*b*-PNVP<sub>*n*</sub>), was found to associate with fullerene (C<sub>60</sub>), and thus C<sub>60</sub> can be solubilized in water. The C<sub>60</sub>/PNIPAM<sub>*m*</sub>-*b*-PNVP<sub>*n*</sub> micelle formed an aggregate comprising a C<sub>60</sub>/PNVP hydrophobic core and a thermoresponsive PNIPAM shell. The hydrodynamic radius of the C<sub>60</sub>-bound polymer micelle increased with increasing temperature, which was ascribed to the hydrophobic association between dehydrated PNIPAM shells above lower critical solution temperature. The generation of singlet oxygen by photosensitization by the C<sub>60</sub>-bound polymer micelle was confirmed from photooxidation of 9,10-anthracenedipropionic acid. Furthermore, DNA was found to be cleaved by visible light irradiation in the presence of the C<sub>60</sub>-bound polymer micelle. Therefore, there may be a hope for a pharmaceutical application of the C<sub>60</sub>-bound polymer micelle to cancer photodynamic therapy (PDT).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	2,640,000
2012年度	1,800,000	540,000	4,250,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学、高分子・繊維材料

キーワード：精密ラジカル重合、高分子構造・物性、ナノチューブ・フラーレン、ナノ材料、光物性、光線力学的療法、温度応答性、自己集合体

## 1. 研究開始当初の背景

光線力学的療法（photo dynamic therapy: PDT）は主に皮膚、消化器、呼吸器などの各

種悪性腫瘍や加齢黄斑変性症などに用いられる。その方法はフォトフィリンなど腫瘍親和性の高い光増感剤の静脈注射を行い、光増

感剤が腫瘍に局在化した後に光ファイバーなどを使用して患部に光を照射して光増感剤から一重項酸素を発生させ、周囲の組織だけにダメージを与える。

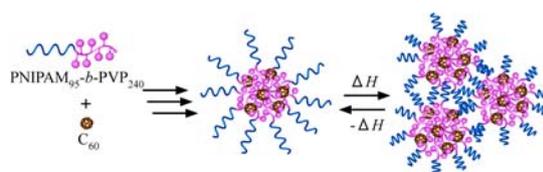
しかし現行の PDT における腫瘍組織への光増感剤の集積は、腫瘍親和性の物質を使用することで受動的に行われているので、体内に導入された光増感剤の腫瘍組織への集積は確実ではない。さらに患者への投薬直後から光増感剤が体内の健常部にも分布するため、日光などの光に被曝すると正常細胞が一重項酸素により障害を受けてしまうので、光増感剤を短期間に目的部位だけに集積する技術の開発が望まれる。またフォトリンよりも効率良く一重項酸素を発生できる光増感剤の使用により PDT の治療効果は大幅に改善できると考えられる。

フラーレン ( $C_{60}$ ) は光照射による一重項酸素発生量子収率が 0.96 と非常に高いため、PDT 用光増感剤としての利用が期待されているが、疎水性が高く全く水に溶けないため化学修飾による水溶性化合物への誘導体化、 $\gamma$ -シクロデキストリンなどの水溶性化合物との錯体形成、水溶性のポリ (*N*-ビニルピロリドン) (PNVP) とのコンプレックス形成などの方法で水に可溶化する必要がある。

そこで  $C_{60}$  への親和性の高い PNVP と感温性のポリ (*N*-イソプロピルアクリルアミド) (PNIPAM) による二重親水性ジブロック共重合体を使用することで、 $C_{60}$  を水に可溶化できると考えられる。PNIPAM は室温で水に溶解するが、温度を上昇させると、ある温度で脱水和が起り水に不溶となる。この温度は下限臨界溶液温度 (LCST) と呼ばれている。本研究では感温性ジブロック共重合体を用いて  $C_{60}$  の水への可溶化と PDT への応用を試みるという着想に至った。

## 2. 研究の目的

$C_{60}$  は水に不溶である。そこで感温性ジブロック共重合体とコンプレックスを形成させることで水へ可溶化する (Figure 1)。コンプレックス表面は感温性ポリマーに覆われているため、温度を LCST 以上に上昇すると、コンプレックス間の会合によりサイズの増加が起こる。体内にコンプレックスを導入すると、体内循環により腫瘍血管から腫瘍組織に取り込まれる。ハイパーサーミアなどにより患部周辺を加温することでコンプレックスのサイズが増加して腫瘍細胞から排出されにくくなり、 $C_{60}$  を効果的に患部のみに集積できる。また温度上昇によりコンプレックスの表面が疎水性になるため、腫瘍細胞内に取り込まれやすくなると期待される。腫瘍細胞へ  $C_{60}$  を取り込ませた後、患部に光を照射することで発生する一重項酸素により、選択的に腫瘍組織のみにダメージを与えられる。

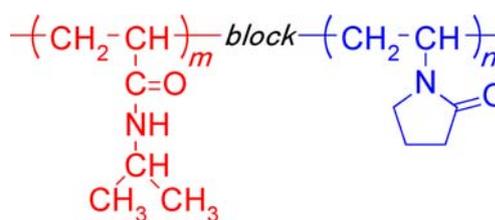


**Figure 1.** Conceptual illustration of micellization of PNIPAM-*b*-PNVP by association with  $C_{60}$  and thermoresponsive behavior of  $C_{60}$ -bound block copolymer micelle.

本研究ではまず  $C_{60}$  と感温性ジブロック共重合体によるコンプレックスの温度応答性を調べた。ジブロック共重合体の分子量や組成とコンプレックスのサイズの間関係を調べて、最適な構造になるようにジブロック共重合体の分子設計と合成を行った。次に光照射による一重項酸素発生について調べ、デオキシリボ核酸 (DNA) に及ぼす影響を調べることを目的とした。

## 3. 研究の方法

親水性の PNVP は生体適合性で  $C_{60}$  との親和性が高いことが知られている。しかしモノマーの NVP は非共役であるため通常の制御ラジカル重合法では重合の制御が困難で、ブロック共重合体を合成できない。そこで本研究では有機テルル化合物を使用した制御ラジカル重合法 (TERP (organotellurium-mediated living radical polymerization)) で重合を行うことで Figure 2 に示す感温性の PNIPAM と PNVP によるジブロック共重合体を合成した。ポリマーの構造と組成の確認を赤外および NMR 測定で行った。また GPC で分子量と分子量分布について調べた。



**Figure 2.** (a) Chemical structure of thermo-responsive diblock copolymer (PNIPAM<sub>*m*</sub>-*b*-PNVP<sub>*n*</sub>) used in this study.

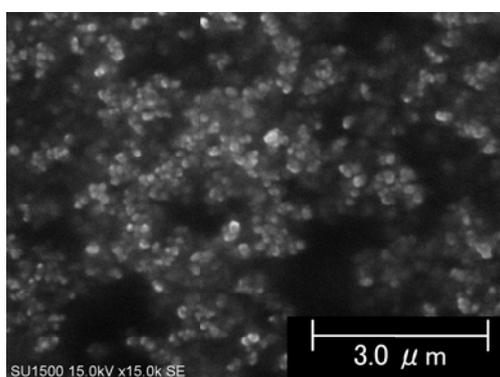
次に感温性ジブロック共重合体を使用して  $C_{60}$  を水に可溶化することを試みた。水への可溶化量は UV-vis 吸収スペクトルで定量的に評価を行った。

固形腫瘍では腫瘍血管新生が誘導される反面リンパシステムが構築されない。腫瘍血管は未熟な血管内皮細胞から構築されるため血管透過性が亢進し、正常な血管において、通常は漏出しにくい粒径が 100 nm 程度の高分子物質でも、腫瘍血管では漏出しやすい。

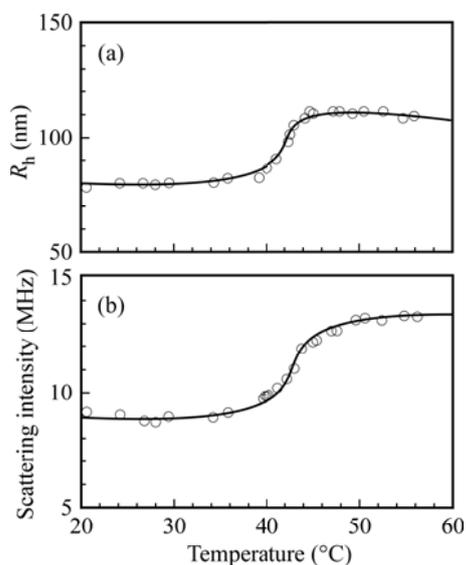
さらに漏出した高分子物質は漏出箇所停滞しやすい。このような現象は EPR (enhanced permeability and retention) 効果として知られている。そこでジブロック共重合体の鎖長のコントロールによりコンプレックスの直径が 100 nm 程度になるよう TERP で分子量を制御した。会合体の大きさを SEM 観察と動的光散乱 (DLS) 測定で調べた。

さらに  $C_{60}$  内包感温性コンプレックスへの光照射による一重項酸素発生量を調べるため、水溶性のアントラセン誘導体の ADPA を用いた退色実験を行った。

次に  $C_{60}$  内包感温性コンプレックスに光を照射したときに発生する一重項酸素により DNA に損傷を与えられるか調べた。プラスミド DNA を使用して  $C_{60}$  から発生した一重項酸素による切断をゲル電気泳動で確認した。



**Figure 3.** SEM image of the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelles. The scale bar is 3.0  $\mu$ m.

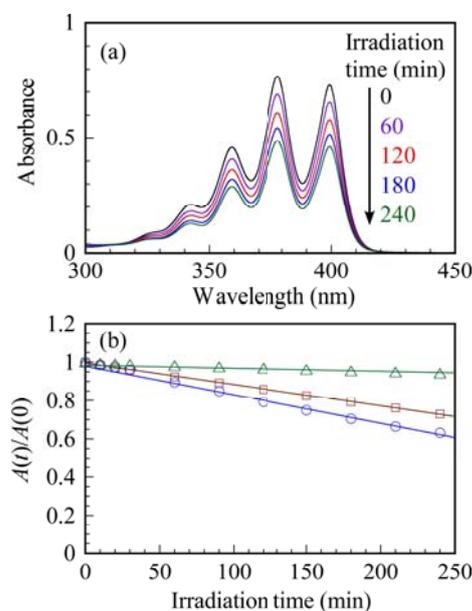


**Figure 4.** (a) Plots of hydrodynamic radius ( $R_h$ ) and (b) scattering intensity for the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelle as a function of temperature in water.

#### 4. 研究成果

TERP による重合で PNIPAM と PNVP の組成の異なるさまざまな二重親水性ジブロック共重合体を合成した。得られたポリマーの組成は NMR で決定した。また GPC 測定から分子量分布は 1.2 以下のせまい値だったので構造の制御されたジブロック共重合体を合成できたと考えられる。

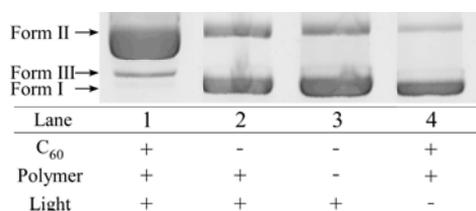
Figure 3 に室温で調製した  $C_{60}$  を内包した感温性コンプレックスの SEM 観察の結果を示す。直径約 140 nm の球状の粒子が観測された。さらに Figure 4 に DLS から求めた  $C_{60}$  コンプレックスの流体力学的半径 ( $R_h$ ) と散乱光強度の温度依存性を示す。体温付近の 36  $^{\circ}$ C での  $R_h$  は約 70 nm で SEM の結果と一致した。この温度ではコンプレックス間の凝集は起こっていないが 40  $^{\circ}$ C 付近から粒径の増加が観測されたので、コンプレックス間の凝集が起こりはじめたと考えられる。



**Figure 5.** (a) Change in UV-vis absorption spectra of ADPA in the presence of the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelle in  $D_2O$  caused by irradiation of visible light ( $\geq 420$  nm). The irradiation times are indicated in the figure. (b) Absorbance of ADPA at 400 nm as a function of irradiation time in the absence ( $\Delta$ ) and in the presence of the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelle in  $D_2O$  ( $\circ$ ). For the latter, data obtained in  $H_2O$  in place of  $D_2O$  are also plotted ( $\square$ ).

水溶性のアントラセン誘導体の ADPA は一重項酸素による酸化を受け、退色して吸光度が減少する。合成した  $C_{60}$  内包の感温性コンプレックスを使用したときの ADPA の退色実

験を行った結果を Figure 5 に示す。ADPA の吸収の無い 420 nm 以上の可視光を照射すると、照射時間に応じて  $C_{60}$  から発生した一重項酸素による ADPA の酸化が起こり、吸光度の減少が観測された。



**Figure 6.** Gel electrophoretic images of supercoiled plasmid pBR322 DNA nicking by the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelle in the presence of NADH. The mixtures were analyzed on a 1.0 wt % agarose gel, and photographed with ethidium bromide staining. Lane 1 shows 0.9 g/L of the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> micelle incubated under visible light irradiation for 6 h. Lane 2 shows 0.9 g/L of PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> incubated under visible light irradiation for 6 h. Lane 3 shows no chemicals incubated under visible light irradiation for 6 h. Lane 4 shows 0.9 g/L of the  $C_{60}$ /PNIPAM<sub>95</sub>-*b*-PNVP<sub>240</sub> incubated in the dark for 6 h.

次に  $C_{60}$  コンプレックスを用いた DNA の光による切断能を調べた (Figure 6)。プラスミド DNA は普通 Form I (スーパーコイル型) の形態をとっているが、一部切断されると Form II (ニック型) や Form III (リニア型) に形態が変化することが知られている。そこで  $C_{60}$  コンプレックス及び DNA の共存下で 420 nm 以上の波長の光を照射後、ゲル電気泳動を行い、DNA の光切断能を評価した。 $C_{60}$  コンプレックス及び、DNA の共存下で光照射した場合、プラスミド DNA は Form I から Form II 及び Form III への DNA 切断が観測された (lane 1)。また比較サンプルの、ポリマーと DNA の共存下で光照射したサンプル (lane 2)、DNA のみで光照射したサンプル (lane 3)、 $C_{60}$  コンプレックス及び、DNA の共存下で光照射を行わないサンプル (lane 4) の場合、ほとんどの DNA が Form I の状態のままであった。このことから、 $C_{60}$  コンプレックスは 420 nm 以上の光の照射により DNA を切断できることが確認できた。

以上の結果から本実験で作製した  $C_{60}$  を内包する感温性コンプレックスは、体温よりわずかに高い温度で凝集してサイズが大きくなるので体内で、患部周辺を加温することで、加温された周囲にコンプレックスが滞留す

ると予想される。さらに光を照射することにより、DNA を破壊するのに十分な活性酸素を放出可能であることを確認できた。したがって、今後実用化に向けて展開できると期待される。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 68 件)

- 1) S. Fujii, Y. Yokoyama, Y. Miyanari, T. Shiono, M. Ito, S. Yusa, Y. Nakamura, "Micrometer-sized gold-silica Janus particles as particulate emulsifiers", *Langmuir*, 査読有, in press.
- 2) S. Zhai, Y. Manako, S. Yusa, K. Nakashima, "Synthesis of nanometer-sized hollow calcium tungstate particles by using micelles of poly(styrene-*b*-acrylic acid-*b*-ethylene oxide) as a soft template", *Chem. Lett.*, 査読有, in press.
- 3) A. Ghosh, S. Yusa, H. Matsuoka, Y. Saruwatari, "Effect of chain length and salt on the temperature responsive cationic amphiphilic diblock copolymer", *Journal of Chemical and Biological Interfaces*, 査読有, in press.
- 4) K. Nakai, H. Nakagawa, K. Kuroda, S. Fujii, Y. Nakamura, S. Yusa, "Near-infrared-responsive liquid marbles stabilized with carbon nanotubes", *Chem. Lett.*, 査読有, in press.
- 5) K. Nakai, S. Fujii, Y. Nakamura, S. Yusa, "Ultraviolet Light-responsive Liquid Marbles", *Chem. Lett.*, 査読有, in press.
- 6) B. P. Bastakoti, Y. Hsu, S.-H. Liao, K. C.-W. Wu, M. Inoue, S. Yusa, K. Nakashima, Y. Yamauchi, "Inorganic-organic hybrid nanoparticles with biocompatible calcium phosphate thin shells for drastic enhanced fluorescence", *Chemistry-An Asian Journal*, 査読有, in press.
- 7) C. M. Phan, T. N. Le, C. V. Nguyen, S. Yusa, "Modeling adsorption of cationic surfactants at air/water interface without using Gibbs equation", *Langmuir*, 査読有, in press.
- 8) Y. Asanuma, Y. Inoue, S. Yusa, K. Ishihara, "Hybridization of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine-*block*-2-ethylhexyl methacrylate) with segmented polyurethane for reducing thrombogenicity", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 査読有, in press.
- 9) Y. Yokoyama, S. Yusa, "Water-soluble complexes formed from hydrogen bonding interactions between poly(ethylene glycol) containing triblock copolymer and poly(methacrylic acid)", *Polym. J.*, 査読有, in press.

- 10) B. P. Bastakoti, K. C.-W. Wu, M. Inoue, S. Yusa, K. Nakashima, Y. Yamauchi, "Multifunctional core-shell-corona type polymeric micelles for anticancer drug delivery and imaging", *Chemistry - A European Journal*, 査読有, in press.
- 11) S. Fujii, S. Yamashita, Y. Kakigi, K. Aono, S. Hamasaki, S. Yusa, Y. Nakamura, "Thiol-terminated hydroxy-functional polymer as a transtab toward polymer latex particles", *Colloid and Polymer Science*, 査読有, **291**, (2013), 1171-1180.
- 12) H. J. Haroosh, Y. Dong, D. S. Chaudhary, G. D. Ingram, S. Yusa, "Electrospun PLA: PCL composites embedded with unmodified and 3-aminopropyltriethoxysilane (ASP) modified halloysite nanotubes (HNT)", *Journal of Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 査読有, **110**, (2013), 433-442.
- 13) S. Chavda, S. Yusa, M. Inoue, L. Abezgauz, E. Kesselman, D. Danino, P. Bahadur, "Synthesis of stimuli responsive PEG<sub>47</sub>-*b*-PAA<sub>126</sub>-*b*-PSt<sub>32</sub> triblock copolymer and its self-assembly in aqueous solutions", *European Polymer Journal*, 査読有, **49**, (2013), 209-216.
- 14) H. Hamasaki, N. Fukui, S. Fujii, S. Yusa, Y. Nakamura, "Sterically stabilized polypyrrole-palladium nanocomposite particles synthesized by aqueous chemical oxidative dispersion polymerization", *Colloid and Polymer Science*, 査読有, **291**, (2013), 223-230.
- 15) T. Sato, K. Tanaka, A. Toyokura, R. Mori, R. Takahashi, K. Terao, S. Yusa, "Self-association of a thermosensitive amphiphilic block copolymer poly(*N*-isopropylacrylamide)-*b*-poly(*N*-vinyl-2-pyrrolidone) in aqueous solution upon heating", 査読有, *Macromolecules*, **46**, (2013), 226-235.
- 16) A. Plewa, S. Yusa, M. Szuwarzynski, K. Szczubialka, Y. Morishima, M. Nowakowska, "Molecularly imprinted hybrid adsorbents for adenine and ATP", *J. Med. Chem.*, 査読有, **55**, (2012), 8712-8720.
- 17) S. Guragain, B. P. Bastakoti, M. Ito, S. Yusa, K. Nakashima, "Aqueous polymeric micelles of poly[*N*-isopropylacrylamide-*b*-sodium 2-(acrylamido)-2-methylpropanesulfonate] with a spiropyran dimer pendant: quadruple stimuli-responsiveness", *Soft Matter*, 査読有, **8**, (2012), 9628-9634.
- 18) B. P. Bastakoti, S. Guragain, S. Yusa, K. Nakashima, "Novel synthesis route for Ag@SiO<sub>2</sub> core - shell nanoparticles via micelle template of double hydrophilic block copolymer", *RSC Advances*, 査読有, **2**, (2012), 5938-5940.
- 19) T. Iwasaki, A. Matsumoto, S. Yusa, "Optimized molecular structure of photoreactive biocompatible block copolymers for surface modification of metal substrates", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 査読有, **4**, (2012), 3254-3260.
- 20) C. M. Phan, T. N. Le, S. Yusa, "A new and consistent model for dynamic adsorption of CTAB at air/water interface", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 査読有, **406**, (2012), 24-43.
- 21) Duy-Cuong Nguyen, S. Ito, M. Inoue, S. Yusa, "Superstrate CuInSe<sub>2</sub>-printed solar cells on In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>/FTO/Glass plates", *Energy Science and Technology*, 査読有, **3**, (2012), 10-17.
- 22) B. P. Bastakoti, M. Inoue, S. Yusa, S-H. Liao, K. C.-W. Wu, K. Nakashima, Y. Yamauchi, "A block copolymer micelle template for synthesis of hollow calcium phosphate nanospheres with excellent biocompatibility", *Chem. Commun.*, 査読有, **48**, (2012), 6532-6534.
- 23) M. Sasidharan, N. Gunawardhana, M. Inoue, S. Yusa, M. Yoshio, K. Nakashima, "La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hollow nanospheres for high performance lithium-ion rechargeable batteries", *Chem. Commun.*, 査読有, **48**, (2012), 3200-3202.
- 24) M. Inoue, K. Noda, S. Yusa, "Hollow nanoparticles prepared from pH-responsive template polymer micelles", *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, 査読有, **50**, (2012), 2596-2603.
- 25) P. Akkhat, S. Kiatkamjornwong, S. Yusa, V. P. Hoven, Y. Iwasaki, "Development of a novel antifouling platform for biosensing probe immobilization from methacryloyloxyethyl phosphorylcholine-containing copolymer brushes", *Langmuir*, 査読有, **28**, (2012), 5872-5881.
- 26) S. Fujii, K. Aono, M. Suzaki, S. Hamasaki, S. Yusa, Y. Nakamura, "pH-Responsive hairy particles synthesized by dispersion polymerization with a macroinitiator as an instab and their use as a gas-sensitive liquid marble stabilizer", *Macromolecules*, 審査有, **45**, (2012), 2863-2873.
- 27) S. Yusa, M. Shibata, M. Noborizato, P. Bahadur, "Salt and heat induced aggregation of diblock copolymers of sodium 2-(acrylamido)-2-methylpropanesulfonate and *N*-isopropylacrylamide in aqueous

- solutions”, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 審査有, **33**, (2012), 287-292.
- 28) K. Takahashi, S. Ito, S. Yusa, T. Imamura, K. Tanimoto, “Effects of homogenization scheme of TiO<sub>2</sub> screen printing paste for dye-sensitized solar cells”, *International Journal of Photoenergy*, 審査有, **2012**, (2012), Article ID 405642 (7 pages).
- 29) M. Sasidharan, N. Gunawardhana, N. Gunawardhana, H. N. Luitel, T. Yokoi, M. Inoue, S. Yusa, T. Watari, M. Yoshio, T. Tatsumi, K. Nakashima, “Novel LaBO<sub>3</sub> hollow nanospheres of size 34 ± 2 nm templated by polymeric micelles”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 審査有, **370**, (2012), 51-57.
- 30) J. Liu, M. Sasidharan, D. Liu, Y. Yokoyama, S. Yusa, K. Nakashima, “Novel MoO<sub>3</sub> and WO<sub>3</sub> hollow nanospheres assembled with polymeric micelles”, *Materials Letters* 審査有, **66**, (2012), 25-28.
- 31) M. Sasidharan, H. N. Luitel, N. Gunawardhana, M. Inoue, S. Yusa, T. Watari, K. Nakashima, “Synthesis of magnetic α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hollow nanospheres for sustained release of ibuprofen”, *Materials Letters*, 審査有, **73**, (2012), 4-7.
- 32) B. P. Bastakoti, S. Guragain, Y. Yokoyama, S. Yusa, K. Nakashima, “Synthesis of hollow BaSO<sub>4</sub> nanospheres templated by core-shell-corona type polymeric micelles”, *New J. Chem.*, 審査有, **36**, (2012), 125-129.
- 33) S. Yusa, “Self-assembly of cholesterol-containing water-soluble polymers”, *International Journal of Polymer Science*, 審査有, **2012**, (2012), Article ID 609767 (10 pages).

[学会発表] (計 184 件)

- 1) S. Yusa, F. Goto, K. Ishihara, Y. Iwasaki, “Thermo-responsive behavior of Au-containing core cross-linked polymer micelles with biocompatible shells”, ICBS2013, Tsukuba International Congress Center (茨城県) Mar 20-22, 2013.
- 2) K. Osawa, S. Yusa, T. Imae, M. Ujihara, A. Harada, K. Ochi, K. Ishiharad, “Association behavior of amphiphilic diblock copolymers with pendant dendron groups”, OUMS 2012, Osaka University (大阪府) Nov 10-11, 2012.

[図書] (計 1 件)

- 1) 遊佐真一、エヌ・ティー・エス出版、新改訂版ラジカル重合ハンドブック：RAFT 重合によるリビングラジカル重合 (2010)、197-206

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：感温性界面活性剤

発明者：松岡 秀樹、遊佐 真一、猿渡 欣幸、松岡和義

権利者：大阪有機化学工業株式会社、国立大学法人京都大学

種類：特許

番号：特許出願 2011-40995

出願年月日：平成 23 年 2 月 26 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/yusa/index.html>

アウトリーチ活動

- 2010 年青少年のための科学の祭典、2010 年 8 月 7~8 日、「不思議な石と面白い鉄」(姫路会場)
- 2011 年青少年のための科学の祭典、2011 年 8 月 6~7 日、「お湯に溶けやすい？それとも溶けにくい？」(姫路会場)
- 「電気の不思議を体験しよう」、2012 年 1 月 28 日、2 月 24 日 (兵庫県立大学書写キャンパス)
- 2012 年青少年のための科学の祭典、2012 年 8 月 11~12 日、「水上でスケートする水滴」(姫路会場)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遊佐 真一 (YUSA SHIN-ICHI)

兵庫県立大学工学研究科・准教授

研究者番号：00301432

(2) 研究分担者

川瀬 毅 (KAWASE TAKESHI)

兵庫県立大学工学研究科・教授

研究者番号：10201443

(3) 連携研究者

山子 茂 (YAMAGO SHIGERU)

京都大学化学研究所・教授

研究者番号：30222368

駒田 富佐夫 (KOMADA FUSAO)

姫路独協大学薬学部・教授

研究者番号：50306247