

## 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 24 年 5 月 2 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560710

研究課題名（和文） 自己組織化およびマイクロ・ナノ精密成形複合化による高分子階層構造と表面形状の制御

研究課題名（英文） Control of Surface Shape and Polymer Hierarchical Structure Using Hybrid Technology with Precision Micro-Nano-Molding and Self-Organization

研究代表者

伊藤 浩志 (ITO HIROSHI)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：20259807

研究成果の概要（和文）：

自己組織化および非晶性高分子材料を用いて、マイクロ・ナノスケールの微小・微細成形加工技術により、高分子材料の表面構造をマイクロ・ナノスケールで高度に制御することを目的とし、熱インプリント法や精密射出成形によって様々なマイクロ・ナノ表面転写加工を行った。得られた成形品の内部構造やモロフォロジーを調べるとともに、マイクロ構造体の2次加工を目的として、微小領域での接合技術について基礎検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to control polymer surface structure by thermal imprinting and precision injection molding in micro-nano scaled microscopic processing technique. We investigated internal structure of the molded part and its morphology. Furthermore fundamental study of joining technology in a micro region was performed for secondary processing for micro-nano scaled structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学，複合材料・物性

キーワード：複合効果

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、Micro/Nano Electro Mechanical Systems(M/N-EMS)が注目され、医療分野、情報通信分野、ロボット分野等と M/N-EMS デバイスが幅広く開発がなされている。特に、MEMS システムとして、微小ミラーデバイス、速度センサや位置センサなどが既に上市され、我々の身の回りの部品にも応用されている。更なる電子デバイスの軽量・縮小化にと

もない、様々な部材の小型化が進み、超小型のマイクロレンズアレーや回折格子などは代表的なものとなっている。また、光学部材の要求は更に高まってきており、微細表面構造は光学ディスプレイ、印刷基盤や各種基盤の表面防汚性などに必要不可欠である。

(2) MEMS やマイクロ精密加工は既に機械加工の様々な分野で研究と開発が行われて

いる。この分野では近年、高分子材料を用いた部材開発についても研究と開発も行われているが、経験と勘による加工条件の設定によるものが主である。しかし、新規高分子材料での加工、高品質・高機能の設計や成形品の応用展開を図る場合、系統的かつ理論的な研究は必要不可欠である。国内の高分子成形加工分野においては、材料・加工・構造発現・物性評価を総合的に研究しているところは非常に少なく、特にマイクロ・ナノスケールでの成形品構造・物性の評価がほとんど行われていないこと、マイクロ・ナノ加工プロセスにおける高分子材料と最適加工のデータベースの構築が行われていないこと、さらに、これらの加工では極縮小流動や高ひずみ速度下での加工、つまり極限下での高分子材料加工となり、学術的にも未知な部分が多いことも挙げられる。

(3) 高分子マイクロ・ナノ成形における成形品の性能評価や流動解析などが行なわれ始めている。これら手法は一般的な成形技術からのトップダウンアプローチとして考えられ、特に高分子ナノインプリントに関する報告が多く、近年は 50 nm 程度の表面微細構造を作製する報告もなされている。しかし、これらの研究ではまだ断片的に行なわれているにすぎない。一方、ボトムアップアプローチとして、高分子共重合体や化学的修飾により、組織構造を制御して規則性を有する形状を付与する手法（自己組織化）についても多くの報告がなされている。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、自己組織化および非晶性高分子材料を用いてマイクロ・ナノスケールの微小・微細成形加工技術により、高分子材料の表面構造をマイクロ・ナノスケールで高度に制御することを目的とする。本期間内には、以下の具体的アプローチによって微小領域構造形成のメカニズム解明と新規複合材料の創製を図る。

(2) 成形品のマイクロ・ナノスケールの表面 2 次加工特性と表面構造形態の相関を調べるために、レーザー加熱を利用した微細接合の可能性について基礎検討を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 自己組織化膜を利用したナノインプリント法による表面転写性

まず、市販の AAO 膜（Whatman 製，Anodisc47，孔径 200 nm，孔深さ（膜厚）60  $\mu\text{m}$ ）を使用した。高分子材料には、市販の非晶性高分子材料であるポリスチレン（PS ジャパン製，PS-679，数平均分子量 81,000，分子量分布 2.34）を使用した。AAO 膜は  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  のサ

イズに切り出し、PS は溶融プレス成形により厚さ 160  $\mu\text{m}$  にフィルム化したものを用いた。熱インプリント実験は、インプリント装置に真空ホットプレス装置（和泉テック製）を用い、プレス圧力を 0.1~3 MPa、プレス温度 120~200 $^{\circ}\text{C}$ 、圧力保持時間 5, 10, 15, 30 min と変化させ、成形条件の影響を評価した。

得られた試料を 4 mol/L 水酸化ナトリウムで AAO 膜を除去後、液体窒素で破断した断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察し、試料のロッド長を評価した。さらに、作製したロッド表面の濡れ性を評価するため、自動接触角計（協和界面科学製，DM500）を用いて、純水との接触角を測定した。

### (2) 超精密射出成形法によるナノ構造転写

生産性向上の観点から、急冷下での表面転写性を調べるために、精密射出成形を行った。試料には、市販の非晶性高分子材料であるポリカーボネート（PC，三菱エンジニアリングプラスチックス株式会社，ユーピロン HL-7001）を使用した。射出成形実験には小型射出成形機（日精樹脂工業株式会社，ELJECT AU3E 改良型）を用いた。ここでは、孔径 200 および研究室で作製した 30 nm 孔の AAO 膜をスタンパーに用いて成形を行った。この時の成形条件は樹脂温度 350  $^{\circ}\text{C}$ 、金型温度は 120  $^{\circ}\text{C}$ 、リミット圧 250 MPa と固定して、射出速度 70~120 mm/s、保圧 70~120 MPa、と変化させた。

### (3) 微小レーザーによる微細構造の接合技術

マイクロ構造体の 2 次加工を目的として、微細領域のレーザー接合技術の可能性について検討を行った。試料にはポリメタクリル酸メチル樹脂（PMMA）及びポリカーボネート（PC，三菱エンジニアリングプラスチックス株式会社）（透過材・吸収材）を用いた。さらに二種類のサンプルを幅 10mm、長さ 35mm で切り出し、試料とし、重ね合わせレーザー透過接合試験を行った。レーザー照射機は B&W 社製のものを使用した。また、使用したレーザー照射機のレーザー系は 100 $\mu\text{m}$  であった。レーザー出力、450~200mW、レーザー走査速度、100~5000 $\mu\text{m}/\text{s}$  で接合を行った。

## 4. 研究成果

(1) プレス圧力 1 MPa、プレス温度 130 $^{\circ}\text{C}$ 、圧力保持時間 30 min の条件で作製したナノロッドの断面 SEM 写真を Figure 1 に示した。観察結果から、長さ 7  $\mu\text{m}$ 、繊維径 200 nm の PS ナノロッドが生成できることが確認できる。そこで、プレス温度条件がロッドの長さおよび影響を評価した。その結果を Figure 2 に示す。プレス温度が高くなるほどロッド

長は長くなり、160 °Cを境に AAO 膜の厚さ 60 μm まで完全充填されていた。

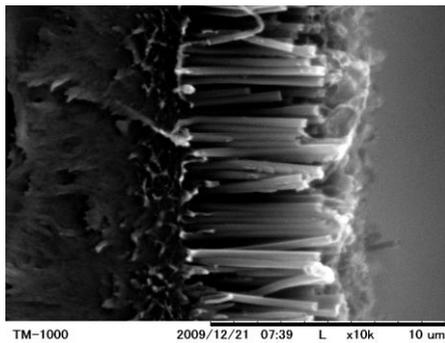


Figure 1 SEM image of cross-section of PS film after imprinting

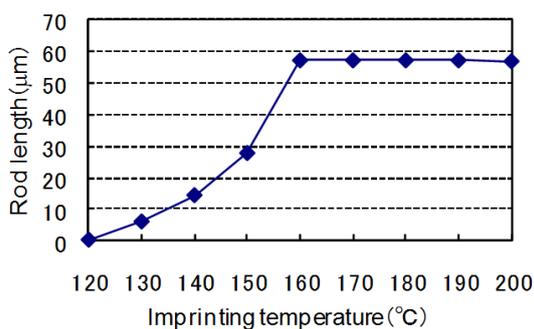


Figure 2 Rod lengths as a function of imprinting temperature. Pressure is 1MPa and holding time is 30 min.

次に、プレス温度および圧力保持時間を一定にして圧力を変化させた場合、圧力がロッドの長さおよび径に及ぼす影響を評価した。その結果、ロッド長は約 4~6 μm わずかに長くなるものの大きな変化は見られず、圧力の影響は小さいことが分かった。この結果、PS の孔への流入は負荷力によるものではなく、自発的な流入つまり毛細管現象のようなことが生じていることも考えられる。さらに、プレス圧力 1 MPa、プレス温度 120、140、160°C の条件で圧力保持時間を長くして、保持時間がロッドの長さおよび径に及ぼす影響を評価した結果、温度条件が高くなるにつれ、充填速度が向上した。この初期の傾きから充填速度を算出すると、160°C の場合、5.6 μm/min であり、140°C では 0.32 μm/min であった。この結果、より高温で流入しやすく、ナノロッド作製には付加する圧力よりも温度条件が必要で、特に熔融ポリマーの粘度低下が重要であることが示唆された。

ここで、この充填速度から、最適な熔融粘度の考察を行った。この PS 材料の熔融せん断粘度から、ナノロッド浸入時のひずみ速度を算出して、その熔融粘度を求めた結果、160°C で  $1.2 \times 10^4$  (Pa\*s) と、140°C で  $1.8 \times 10^5$  (Pa\*s) となり、一桁ほど高温下では低下する。

この大きな粘度低下が、PS ポリマーのナノスケールの充填には必要不可欠であることが分かった。また、プレス圧力 1 MPa、温度 130 °C、保持時間 30 分の条件で作製したナノロッドを有するフィルムに対する純水の接触の様子を Figure 3 に示す。この接触角を評価したところ、インプリント前の PS フィルムが 85° であるのに対して、140° となり PS ナノロッド形状を付与することにより、きわめて高い撥水性を付与できることが明らかとなった。

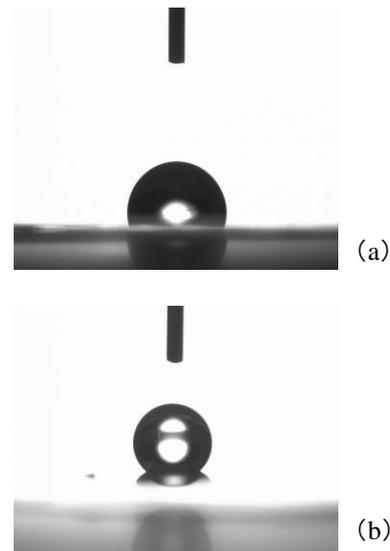


Figure 3 Image of the water drop for measuring the contact angle of (a) before and (b) after imprinting.

(2) 精密射出成形による作製したナノロッドの断面電子顕微鏡写真を Figure 3 に示す。200 nm 径の AAO 膜を金型のスタンパーに用いた結果である。ナノロッドの転写性は、高射出速度および高保圧の条件で向上することが分かった。また、70 mm/s、保圧 70mm/s の条件において、AAO 膜を鋼材金型のスタンパーとして用いた成形品の場合、構造長/直径のアスペクト比は約 5 であった (Fig.3 (a))。これに対し、AAO 膜と断熱金型を用いた成形品の場合、Fig.3(b) に示すようにアスペクト比が約 25 と大きく向上した。断熱金型により金型内での樹脂冷却速度が抑制され転写性

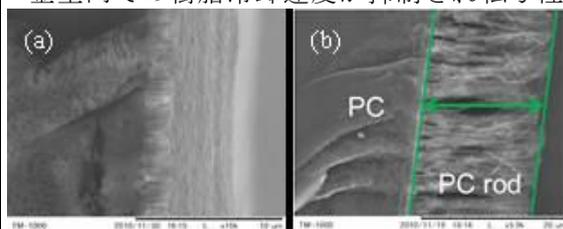


Figure 4 SEM micrograph of surface of molded parts. (a) Without heat insulator mold, (b) With heat insulator mold

が向上したと考えられる。したがって、ナノ表面転写性には、温度制御が重要であることが確認された。

(3) さらに、成形品のマイクロ・ナノスケールの加工特性と表面構造形態の相関を調べるために、レーザー加熱を利用した微細接合の可能性について基礎検討を進めた。レーザー加熱を利用した微細接合については、ファイバーレーザーカップリングシステム及び自作した光学システムを用いてレーザー出力、レーザー走査速度を変化させ微細線による接合試験を行った。Figure 5 に実際に接合試験を行った接合線写真を示した。線幅190 $\mu\text{m}$ の微細接合線を達成することができた。Figure 6 に様々なレーザー出力、レーザー走査速度条件にて線接合実験を行った際の接合線幅をレーザーエネルギー密度に対してプロットした結果を示す。全ての条件についてマスターカーブを描くことができた。細線での接合を実現するためには低エネルギー密度であることが有効であることが明らかとなった。具体的には高出力のレーザー光源から小レーザー光径、高速走査することにより微細線接合が可能となることが明らかとなった。

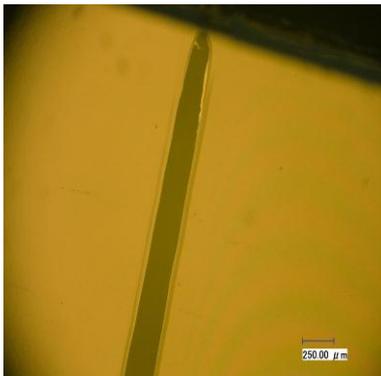


Figure 5 Micrograph of thin joining line. The line width was 190 $\mu\text{m}$ .

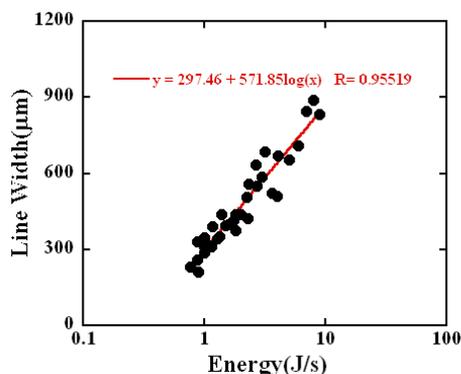


Figure 6 Effect of energy density on joining line width.

## 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 24 件)

1. K.Uchiumi, T.Takayama, H.Ito, A.Inou: Surface Replication of Molded Products with Micro-needle Features in Injection Molding, Intern.JournalModernPhysics:ConferenceSeries,6, 166-171,(2012),DOI:10.1142/S2010194512003121 (査読有)
2. H.Suzuki, T.Takayama, H.Ito: Replication Behavior for Micro Surface Features with High Aspect Ratio and Structure Development in Injection Compression Molding, Intern. Journal ModernPhysics:ConferenceSeries,6,563-569,(2012),DOI:10.1142/S2010194512003789(査読有)
3. T.Sano, M.Nakabayashi, H.Ito: Transparent Thermoplastic Resin with Electron Beam Cross-linking, Polymer Engineering & Science, 52(3), 566-571, (2011), DOI: 10.1002/pen.22118 (査読有)
4. M.Otsuka, AOyabe, H.Ito: The Effects of Surface Roughness on Moldability of Thin-wall Parts, Society of Plastics Engineers Plastics Research Online, 1-3, (2011), DOI:10.1002/spepro.003725 (査読有)
5. M.Otsuka, AOyabe, H.Ito: Effects of Mold Surface Conditions on Flow Length in Injection MoldingProcess,Polym.Eng.Sci.,51(7),1383-1388,(2011),DOI:10.1002/pen.21931(査読有)
6. Y.Kayano,K.Zouta,S.Takahagi,H.Ito: Replication Properties and Structure of PC in Micromolding with Heat Insulator Mold Using Zirconia Ceramic,Intern.PolymerProcessingXXVI,3,304-312,(2011),DOI:10.3139/217.2440(査読有)
7. H.Ito, A.Haryu, S.Takahagi, T.Takayama, T.Kyotani: Precision Polymer Nano-Molding with Anodic Aluminum Template, ANTEC tech. paper 2011,2092-2096,(2011, Boston)(査読有)
8. K.Okubo, S.Tanaka, H.Ito.: The Effects of Metal Particle Size and Distributions on Dimensional Accuracy for Micro Metal Injection Molding, Microsyst Technol, 2037-2041, DOI 10.1007/s00542-010-1122-9, (2010) (査読有)
9. K.Tada, D.Fukuzawa, A.Watanabe, H.ito: Numerical Simulation for Flow Behaviour on Micro-and nanomoulding Plastics, Rubber and Composites,39(7),321-326, (2010) (査読有)
10. A.Sato, H.Sakaguchi, K.Koyama, H.Ito: Evaluation of Replication Properties on Moulded Surface by Ultrasonic Injection Moulding System, Plastics, Rubber and Composites,39(7), 315-320, (2010) (査読有)
11. T.Sano, Y.Iyoda, T.Shimizu, M.Harumoto, A.Inoue, M.Nakabayashi, and H.Ito: Injection Molded Optical Lens Using a Heat Resistant Thermoplastic Resin with Electron Beam

- Cross-Linking, *Jpn.J.Appl.Phys.*, 49, 052601-1-3, (2010) (査読有)
12. H.Ito, S.Takahagi, K.Zouda, Y.Kayano: Replication Properties and Structure in Micromolding with Heat Insulator Mold, ANTEC 2010 Tech. paper, 2138-2142, (2010) (査読有)
  13. H.Ito, K.Honta, T.Ikari, S.Ito: Micromolding for Quartz Glass/Polymer Composites, ANTEC 2010 Tech. paper, 2172-2176, (2010) (査読有)
  14. A.Sato, H.Ito, K.Koyama: Behavior of Resin Flow under Ultrasonic Wave in Extrusion Process, *Intern. J. Polymers Tech.*, 1(2), 165-173, (2009) (査読有)
  15. K.Okubo, S.Tanaka, H.Ito: Molding Technology for Improvement on Dimensional Accuracy of Micro-Parts in Micro Metal Injection Molding, *MicrosystemTech.* 15(6), 887-892, (2009) (査読有)
  16. H.Ito, H.Suzuki, K.Kazama, and T.Kikutani: Polymer structure and properties in micro- and nanomolding process, *Current Applied Physics*, 9, e19-e24, (2009) (査読有)
  17. K.Okubo, S.Tanaka, H.Hamada, H.Ito: Compression Process Effects on Filling Density and Replication Properties of Micro-Surfaces during Metal Injection Molding, *Asia Pacific Journal of Chemical Engineering*, 4(2), 133-139, (2009) (査読有)
  18. A.Sato, H.Ito, K.Koyama: Study of Application of Ultrasonic Wave to Injection Molding, *Polymer Engineering and Science*, 49(4), 768-773, (2009) (査読有)
  19. H.Ito, H.Suzuki: Micro-Features Formation in Injection Compression Molding, *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 3(2), 320-327, (2009) (査読有)
  20. A.Sato, H.Sakaguchi, H.Ito, K.Koyama: Evaluation of Replication Properties on Molded Surface by Ultrasonic Injection Molding System, ANTEC 2009 Tech.paper, 1301-1305, (2009) (査読有)
  21. K.Tada, D.Fukuzawa, A.Watanabe, H.Ito: Computer Simulation for Flow Behavior on Micro-and Nano Molding, ANTEC 2009 Tech. paper, 1794-1798, (2009) (査読有)
  22. K.Okubo, S.Tanaka, H.Ito: The Effects of Metal Particle size and Distributions on Dimensional Accuracy for Micro Parts in Micro Metal Injection Molding, ANTEC 2009 Tech. paper, 2592-2597, 2009 (査読有)
  23. K.Miyata, T.Abe, H.Tokanai, A.Nishioka, G.Murasawa, T.Koda, Effect of crystallization at film interface in heat sealing process, ANTEC 2011, Tech. paper, 1467-1471 (2011) (査読有)
  24. K.Miyata, T. Hiyama, K.Yamada, Yew W.Leong, Effect of LLDPE contents on heat seal properties for HDPE/LLDPE film, ANTEC 2011, Tech. paper, 1472-1478 (2011) (査読有)
- [学会発表] (計 26 件)
1. H.Ito: Nano-Structure Fabrication in Precise Polymer Processing 2<sup>nd</sup> Molecular Materials Meeting (M3) (Invited lecture) Abstracts of 2<sup>nd</sup> Molecular Materials Meeting (M3), 57, Jan 10, 2012 (2012, Singapore)
  2. A.Nemoto, H.Ito, Y.Murata, N.Ito, H.Ohomori: Ultraprecision Grinding of Aspheric Cemented Carbide Lens Mold for Plastic Injection Molding, Proceedings of EUROTEC2011, No.266, Nov 15, 2011 (2011, Barcelona, Spain)
  3. K.Tada, A.Watanabe, H.Ito: 3-D Computer Simulation in Micro- and Nano-molding, Proceedings of EUROTEC2011, No.209, Nov 14, 2011 (2011, Barcelona, Spain)
  4. K.Nishio, T.Takayama, H.Ito: Control of Surface Fine Structure and Physical Properties of Biodegradable Polymer Fibers Using Phase Separation, Proceedings of 11<sup>th</sup> Asian Textile Conference, 2PS-027, 1415-1418, Nov 3, 2011 (2011, Daegu, Korea)
  5. Y.Zhao, G.Matsuba, H.Ito: Shear-Induced Crystallization and Viscoelastic Behavior of Syndiotactic Polystyrene, Proceedings of 11<sup>th</sup> Asian Textile Conference, S1-OR-04, 632-638, Nov 2, 2011 (2011, Daegu, Korea)
  6. M.Kato, H.Ibuki, H.Ito: Molding Condition Dependency on Optical Characteristic and Products Shape in Injection Molding of Fluorene Polymers, Proceedings of Asian Workshop on Polymer Processing 2011 in China (AWPP2011) 190, Sep 6, 2011 (2011 Qingdao, China)
  7. T.Takayama, K.Uchiumi, H.Ito: Precise Injection Molding of Bio-absorbable HA/PLLA Composites, Proceedings of Asian Workshop on Polymer Processing 2011 in China (AWPP2011) 175, Sep 6, 2011 (2011, Qingdao, China)
  8. Y.Zhao, G.Matsuba, H.Ito: Shear-induced Crystallization and Viscoelastic Behavior of Polystyrene, Proceedings of Asian Workshop on Polymer Processing 2011 in China (AWPP2011) 301, Sep 5, 2011 (2011, Qingdao, China)
  9. H.Ito, T.Watanabe, T.Takayama, Y.Matsushita, M.Yamazaki: High Thermal Conductivity of Thin-wall Injection Molded Parts for AlN/PBT Composite, Proceeding of 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, W33-1-IF0174, Aug 24, 2011 (2011, Jeju, Korea)
  10. T.Takayama, M.Todo, H.Ito: Mechanical Properties of HA/PLLA Composites with Bimodal Particle Distribution, Proceeding of 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, Th31-1-AF0305, Aug 24, 2011 (2011, Jeju, Korea)
  11. K.Honta, E.Ono, T.Takayama, H.Ito: Fabrication of Micro-pattern of Quartz Glass in Injection

- Molding Process, Proceeding of 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, P4-62-IF0340, Aug 24,2011 (2011 , Jeju, Korea)
12. A.Hariu, S.Takahagi, T.Takayama, T Kyotani, H.Ito, Nano-Fabrication in Precision Polymer Moulding, 104-105, PPS-27 Annual meeting 2011 (Keynote), Marrakech, Morocco, May 12,2011(2011 Morocco)
  13. H.Ito, A.Hariu, S. Takahagi, T. Takayama and T. Kyotani: Fabrication of Nano-structures for Precision Polymer Molding with Anodic Aluminum Oxide Membrane Proceeding of the Asian Workshop on Polymer, Processing 2010 in Vietnam, 148-151, Dec 9,2010 (2010 , Hanoi)
  14. T.Sano, M.Nakabayashi and H.Ito: Study of the Transparent Thermoplastic Resin with Electron Beam Cross-Linking for Heat Resistant, Proceeding of the Asian Workshop on Polymer Processing 2010 in Vietnam, 140-141, Dec 8, 2010 (2010 , Hanoi)
  15. M.Otsuka, A.Oyabe and H.Ito: The Effect of Mold Surface Condition on Flow Length in Injection Molding Process, Proceeding of the Asian Workshop on Polymer Processing 2010 in Vietnam, 93-96, Dec 8,2010 (2010 , Hanoi)
  16. T.Takayama, K.Uchiumi, H.Ito and M.Todo: Fabrication and Characteristic of Bio-Absorbable Hap/Plla Composites by The Micro-Molding, Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Regional Meeting, PPS-26 IST, CD-R S07-142, Oct 22,2010 (2010 , Istanbul, Turkey)
  17. T.Nagasawa, T.Takayama, A.Sato, and H.Ito: Surface Replication and Its Structure Development in Ultrasonic Micro-Injection Molding, Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Regional Meeting, PPS-26 IST, CD-R S01-138, Oct 21,2010(Istanbul, Turkey)
  18. H.Ito, K.Tada, and Y.Mori: Latest Computer Simulation for Flow Behaviors in Micro-and Nano-Molding, Proceedings of The 8<sup>th</sup> Korea-Japan Plastic Processing Joint Seminar 2010, 31-34, Aug 27,2010 (2010, Jeju, Korea)
  19. K.Tada, D.Fukuzawa, A.Watanabe, Y.Mori, and H.Ito: Surface Replication in Thermal Micro-and Nano-Imprinting Process Proceedings of 5<sup>th</sup> Pacific Rim Conference on Rheology, USB C1-6, Aug 1,2010 (北海道大学 北海道 札幌)
  20. H.Ito, S.Takahagi, K.Zouda, Y.Kayano: Surface Replication and Structure in Micro- and Nano-molding with Heat Insulator Mold, Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Annual Meeting, PPS-26, USB G06-8, Jul 6,2010 (2010 , Banff, Canada)
  21. H.Ito, Precise Powder Injection Molding in Micro- and Nano-Composites 10th International Symposium on Applied Rheology (Invited lecture) Proceedings of 10th International Symposium on Applied Rheology, 157-168, Jun 3, 2010 (2010, Seoul, Korea)
  22. H.Suzuki, T.Watanabe, Y.Matsushita, M.Yamazaki, H.Ito: Thermal Property and Surface Replication of Nanocomposites Micromoldings,ProceedingofAdvanced Polymeric Materials and Technology Symposium (APMT 2010) (USB),P142,Jan 26 2010(Jeju, Korea)
  23. H.Suzuki , H.Ito: Surface Replication and Structure Development in Micro-Injection Compression Molding, Proceeding of Advanced Polymeric Materials and Technology Symposium (APMT 2010) (USB), P80, Jan 26,2010 (2010 , Jeju, Korea)
  24. T.Watanabe, Y.Aoki, Y.Matsushita, M.Yamazaki, H.Ito: Structure and Thermal Property of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fiber Filled Composites in Injection Molding, Proceeding of the Asian Workshop on Polymer Processing in Malaysia 2009 (CDROM), B202, Dec 3,2009(2009, Penang, Malaysia)
  25. Y.Mori, R.Nishino, K.Miyata, A.Watanabe, D.Fukuzawa, K.Tada, H.Ito: Surface Replication and Structural Development in Thermal Micro-and Nano-Imprinting Process, Proceedings of the Polymer Processing Society, PPS-2009, (CDROM,#011), Oct 23,2009, (2009, Cyprus)
  26. A.Sato, K.Koyama, H.Ito: Novel Injection Molding With Ultrasonic Wave For Optical Lens, Proceeding of Asia Pacific Conference on Optics Manufacture2009 (Keynote), KN1D-1(CD-ROM), Feb 12,2009(2009, Taipei, Taiwan)
- 〔図書〕 (計 3 件)
1. 伊藤浩志, マイクロモールディング, プラスチックエージエンサイクロペディア 進歩編 2012, プラスチックエージ, 97-104 (2011)
  2. 宮田 剣, 包装工程の最適化とトラブル対策, 技術情報協会, 3-19 (2011)
  3. 伊藤浩志: フィルムの機能性向上と成形加工・分析・評価技術 (監修: 金井俊孝), 第 8 章 第 3 節 フィルム延伸過程の現象評価, 複屈折計測, And TECH, 101-104 (2010)
- 〔その他〕  
ホームページ等  
<http://pep.yz.yamagata-u.ac.jp/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
伊藤 浩志 (ITO HIROSHI)  
山形大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 20259807
  - (2) 研究分担者  
宮田 剣 (MIYATA KEN)  
山形大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 60333994

