

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410218

研究課題名(和文) 液晶・光・相転移を用いた電解重合による機能性高分子の開発

研究課題名(英文) Development of functional polymers by using liquid crystals, light, and phase transition

研究代表者

後藤 博正 (Goto, Hiromasa)

筑波大学・数理物質系・准教授

研究者番号：40292528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：液晶を電解液として用い、液晶的秩序をもつ高分子を電解合成した。アキラルなモノマーの電解重合を円偏光照射下で行ない光学活性な高分子を得た。また強磁場下で液晶中電解合成を行い、垂直配向した高分子を得た。そしてキラルなポリマーの電荷担体(ポーラロン、バイポーラロン)がらせん構造を形成することを見出しこれをカイラリオンと名付けた。またキラルなポリマーブレンドを液晶電解液中で合成し、その光学模様や、光学活性を評価した。さらに光学活性な置換基を共役系高分子の側鎖に導入しその光学活性を調べた。

研究成果の概要(英文)：Electrochemical synthesis of polymers having liquid crystal like order was carried out in liquid crystal electrolyte solution. Electrochemical reactions were performed under circular polarized light in an isotropic solution to obtain chiral polymer from achiral monomer. Liquid crystal electrochemical polymerization in a magnetic field was carried out for obtaining perpendicular oriented polymer film on the substrate. Optically active chiral charge carrier "chiralions of helical form of polarons (radical cation) and bipolaron (dications) was evaluated and defined. Chiral polymer blends were synthesized in liquid crystal electrolyte solution with electrochemical polymerization, and evaluated their optical texture and optical activity. Furthermore, pi-conjugated polymers having optically active group were synthesized. Optical activity of the polymers thus prepared was evaluated.

研究分野：高分子科学

キーワード：キラル ポーラロン 円偏光 液晶 干渉 電荷移動相互作用 電解重合

1. 研究開始当初の背景

現在までにキラルなコレステリック液晶を電解液とし、ここで電解重合を行うことにより、アキラルなモノマーからキラルな高分子を得る手法を開発してきた。電解重合から作成される高分子は良好なエレクトロクロミック特性を示す。高分子を用いたエレクトロクロミック素子は、低電力駆動性や発色のメモリー性をもつことから現在までに活発に行われてきた。しかし、円偏光二色性、光学回転を動的な電気化学的酸化・還元により制御できる系の開発は他に例がなく、現在まで申請者はこれを世界に先駆けて行ってきた。またコレステリック液晶電解液中で合成した高分子は虹色の反射(干渉色)を示すととも光を回折し、さらに電気化学的酸化・還元でこの発色を制御できることがわかった。次に、磁場下、液晶中で電解重合を行うことにより、一方向に配向し、二色性を示すとともに、電気化学的酸化・還元でこの発色性を制御できる高分子を開発した。また電気化学的酸化還元による発光制御の可能な高分子ナノファイバーの電解合成も可能であることもわかった。酸化・還元による動的な蛍光発光の制御は本例が初めてである。さらに結晶中での電解重合も可能で、これにより球晶構造をもつポリピチオフェンの合成も可能であることがわかった。以上をもとにして、電解重合を行う際の媒質に液晶や結晶を用いることに加え、磁場、および直線偏光や円偏光下で特殊環境を作り出し、ここで電解重合反応を行い、光、電子機能性高分子を作成する着想に至った。

2. 研究の目的

(1) 反応場の利用

キラルスメクチックC (SmC*)相を電解液に用い、層構造とヘリカル構造をもつ電気的活性な導電性高分子薄膜の合成(高秩序・光学活性をもつ高分子の電解合成と円偏光反射型光干渉エレクトロクロミック素子の作成)を行う。

現在までにキラルで層構造をもたないコレステリック液晶電解液中で電解重合を行い、アキラルなモノマーからキラルなポリマーを合成するとともに、電解化学的酸化・還元による動的な学活性の制御を行ってきた。本研究では層状構造をもつとともに、キラルな右巻きあるいは左巻きに偏ったヘリカル構造をもつSmC*を電解液に用いて電解重合を行い、層状構造およびヘリカル構造をもつ電気的活性な高分子を合成する。

(2) 相転移連続電解重合

連続電解重合による液晶秩序と結晶秩序をもつ高分子の積層化による人工フォトニック生物の作成を行う。液晶性電解液に加え、結晶中での電解重合の可能なことが現在までわかってきた。この手法を用いて、液晶電解液中で電解重合を行い、液晶の秩序をもつ高分子薄膜を合成した後、この上に結晶秩序をもつ高分子を合成する。さらに等方性電解液での

電解重合を行い、同一の分子構造からなる、異なったモルフォロジーの高分子積層薄膜を作成する。この結晶-液晶-等方相の連続変化には、液晶性電解液の温度による相転移を用いる(液晶性分子は温度変化により結晶(固体)-液晶(中間相)-等方相(液体)に相転移する)。フォトニック生物と呼ばれる昆虫の一部は、液晶性秩序と無秩序な構造の積層化による光の選択反射を行っている。この構造の形成には、生体高分子液晶の昼夜間の温度変化による相転移が関与しているといわれている。本研究では電解液の相を転移させ、ここで連続的に電解重合を行うことにより相秩序の異なる積層構造体を連続合成する。この多層膜による光干渉機能を評価する。

(3) 光の利用

円偏光、直線偏光照射下での液晶電解重合による、光学活性高分子の作成および直線偏光性高分子の作成(光による不斉重合と光異方性をもつ高分子の作成)を行う。

まず直線偏光を照射しながら電解重合を行い直線偏光二色性と電気化学的応答性をもつ高分子薄膜を作成する。さらに酸化・還元により蛍光性を制御できる高分子を直線偏光下で合成する。これにより電気化学的制御可能な直線偏光蛍光二色性を示す高分子を作成し、評価する。次にパルスレーザー円偏光を照射しながら電解重合を行い、光による不斉電解重合を行う。得られた高分子の円偏光二色性および、電気化学的手法による酸化・還元特性を評価する。

以上を通し、外部環境と電解合成を組み合わせた手法による電子・光機能性高分子合成を行い、得られた機能性高分子の学術的な確立を行う。

3. 研究の方法

反応場の利用に関しては、光学活性なコレステリック液晶を電解液とし、これにモノマーを溶解し、電解重合を行うことにより、コレステリック液晶のもつ、キラルな会合構造を転写した共役系高分子を得る。

相転移連続重合法による多層膜高分子の合成を行うため、ペルチェ素子を用いたカスタムメイドの恒温プレートを用い、ここで温度制御を行い、液晶相と結晶相でそれぞれ連続して電解重合を行い、高分子を得る。また円偏光下での電解重合は、光チョッパーを用いてパルスレーザーを作成し、これに円偏光板を用いて右回りあるいは左回りの円偏光パルスレーザー光をつくり、この光照射下で、サイクリックボルタンメトリーによる電解重合を行う。

4. 研究成果

液晶反応場での電解重合においては、種々のモノマーを特定の比率で液晶電解液に溶解させ、これを電解重合することにより、指紋状の共役系ポリマーブレンドを得た。またラ

イオトロピック液晶を用いた電解重合を行い、液晶構造を転写したポリピロールを得た。これらの光学的構造を偏光顕微鏡観察で確認し、紫外-可視吸収スペクトル、円偏光二色性スペクトルにより光学的性質を評価した。また反射スペクトルを用い、その干渉色反射特性をCIEカラースペースで評価した。さらに光学活性物質をローバンドギャップ型のポリチオフェンの側鎖に導入し、ヘリカル構造をもつローバンドギャップ光学活性高分子を合成し、その性質を評価した。

次に、光学活性な共役系高分子(ドープ状態)の荷電担体「ポーラロン(ラジカルカチオン)」および「バイポーラロン(ジカチオン)」が光学活性なヘリカル構造を形成していることを確認し、これらをまとめてカイラルチャージキャリアー「カイラリオン」と命名した。

また相転移連続重合法では液晶と結晶相の二層構造をもつ共役系高分子を合成し、この黄金色の表面反射を確認した。この重合法の最適条件を見出すことができた。

光の利用に関しては、円偏光パルスレーザーを照射しながら電解重合を行い、アキラルなモノマーからキラルなポリマーを得ることができた。右円偏光および左円偏光照射によりそれぞれ円偏光二色性スペクトル測定において、相補的なシグナルをもつポリマーを得た。しかしその円偏光度は低く、キラルな置換基を導入した共役系高分子、あるいはキラルな液晶中で合成した高分子の光学活性には、およばなかった。反応場としての光によるねじれ構造の作成は、液晶反応場による機械的なトルクより弱いことが原因である。しかし光学活性は低いものの、レーザー光をもって絶対不斉重合には成功したため、本研究の当初の目的は達成されたと思われる。

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8件)

- 1) Hiromasa Goto, Circular Dichroism of Bipolarons in a Chiroptically Active Conjugated Polymer, *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 55, 471-482 (2016). (査読有)
- 2) Hiroki Hayashi, Kohsuke Kawabata, Shigeki Nimori, Hiromasa Goto, A Poly(ter(3,4-ethylenedioxythiophene)) Showing Concentric-Circle Morphology Prepared by Electrochemical Synthesis in Smectic A Liquid Crystal under Vertical Strong Magnetic Field, *Chemistry Letters*, 45, 170-172 (2016). (査読有)
- 3) Aohan Wang, Kohsuke Kawabata, Hiromasa Goto, Thiophene-based chiral small bandgap pi-conjugated polymers: synthesis and optical properties, *Designed*

Monomers and Polymers, 18, 360-366 (2015). (査読有)

- 4) Tomokazu Iseki, Kohsuke Kawabata, Shigeki Nimori, Hiromasa Goto, Synthesis of chiral inducers having double stereogenic centers for electrochemical polymerization in cholesteric liquid crystal medium, *Synthetic Metals*, 187, 217-223 (2014). (査読有)
- 5) Hiromasa Goto, Aohan Wang, Shigeki Nimori, Kohsuke Kawabata, Mechanical Orientation and Magnetic Evaporation Orientation of a Low-Bandgap Liquid Crystalline π -Conjugated Polymer, *Liq. Cryst.*, 40, 1159-1166 (2014). (査読有)
- 6) Hiroki Hayashi, Kohsuke Kawabata, Hiromasa Goto, Synthesis of new chiral inducer and preparation of semi-conducting polymer films showing fingerprint structure, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 8, 6-12, (2014). (査読有)
- 7) Hiromasa Goto, Aohan Wang, Kohsuke Kawabata, Fan Yang, Synthesis and Properties of Low-Bandgap Liquid Crystalline π -Conjugated Polymers, *Journal of Materials Science*, 48, 7523-7532(2013). (査読有)
- 8) Kosuke Kawabata, Shigeki Nimori, Hiromasa Goto, Horizontal and Vertical Orientation of Polybithiophenes by Electrochemical Polymerization in Magnetically Aligned Smectic Liquid Crystal, *ACS Macro Letters* 2, 587-591 (2013). (査読有)

[学会発表](計51件)

- 1) (ポスター賞) 林宏紀、林仁志、後藤博正、液晶を鋳型とする電解重合法により配向制御した共役系ポリマーの電気伝導度評価、第30回高分子学会関東支部茨城地区若手の会交流会、2015年10月29日-30日つくばセミナーハウス(茨城県つくばみらい市)
- 2) 董九超、川畑公輔、王傲寒、後藤博正、液晶中電解重合によるポリマーの配向、日本化学会第5回CSJ科学フェスタ2015、2015年10月13日(火)~15日(木) タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 3) 江口直人、後藤博正、ディスコチック液晶を用いた電解重合における導電性高分子の配向制御、日本化学会第5回CSJ科学フェスタ2015、2015年10月13日(火)~15日(木) タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 4) 林宏紀、川畑公輔、林仁志、後藤博正、液晶をテンプレートとした配向性導電性高分子フィルムの電解合成およびその光学・導電特性、日本化学会第5回CSJ科学フェスタ2015、2015年10月13日(火)~15日(木) タワーホール船堀(東京都江戸川区)

- 5) (Oral Invited presentation) Aohan Wang, Kohsuke Kawabata, Hirotsugu Kawashima, Hiromasa Goto, Chiral Electrochemical Polymerization in Liquid Crystal and Finding of Chiral Charge Carrier "Chiralion", International Congress on Science & Nature (ISNaC) 2015, September 21-23, 2015 in Kuala Lumpur, Malaysia.
- 6) (Oral Invited presentation) Jiuchao Dong, Kohsuke Kawabata, Aohan Wang, Hiromasa Goto, Electrochemical Polymerization in Smectic A Liquid Crystal and Polymers Orientation, , International Congress on Science & Nature (ISNaC) 2015, September 21-23, 2015 in Kuala Lumpur, Malaysia
- 7) (ポスター賞)林 宏紀, 林仁志, 後藤 博正, 配向液晶中電解重合を用いた配向性共役系高分子薄膜の開発, 第 64 回高分子討論会, 東北大学川内キャンパス, 2015 年 9 月 15-17 日 (宮城県仙台市)
- 8) 江口直人, 後藤博正, ディスコティック液晶を用いた電解重合による導電性高分子の配向制御, 第 64 回高分子討論会, 2015 年 9 月 15-17 日, 東北大学川内キャンパス (宮城県仙台市)
- 9) Aohan Wang, Hiromasa Goto, Synthesis and properties of a liquid crystalline π -conjugated polymer, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 10) Naoto Eguchi, Hiromasa Goto, Synthesis of conductive polymer by electrical polymerization in discotic liquid crystal, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 11) (Award) Tomoaki Jo, Hiromasa Goto, Synthesis of blending polymer in liquid crystal, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 12) Haoyue Shen, Hiromasa Goto, Chiral side chain modified poly(phenylene-alt-fluorene), Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 13) Jiuchao Dong, Kohsuke Kawabata, Aohan Wang, Hiromasa Goto, Electrochemical polymerization in liquid crystal and correlation between macromolecular orientation and molecular structure, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 14) Hiroki Hayashi, Hitoshi Hayashi, Hiromasa Goto, Polymer Orientation Controlled by Liquid Crystalline Templates: Enhanced Electrical Conductivity, Interdisciplinary Workshop on Science and Patents 2015, 4 September 2015, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 15) 城智晃, 後藤博正, 液晶構造を転写したキラルポリマーブレンドの特性評価, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 16) 江口直人, 後藤博正, ライオトロピック液晶構造のポリピロールへの転写と評価, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 17) 董九超, 後藤博正, スメクチック A 液晶を電解液に用いた液晶構造をもつポリマーフィルムの表面構造, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12 タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 18) 林宏紀, 後藤博正, 林仁志, 水平配向処理した液晶中でのポリマーフィルム作製とその電気伝導度および円二色性に関する評価, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 19) 城智晃, 後藤博正, 液晶構造を転写したキラルポリマーブレンドの特性評価, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 20) 江口直人, 後藤博正, ライオトロピック液晶を用いた導電性高分子の合成, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年度繊維学会年次大会, 平成 27 年 (2015) 6.10-12, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)
- 21) 城 智晃・後藤博正, "液晶電解重合法を用いたキラルポリマーブレンド, 日本化学会 第 95 春季年会 2015 年 3 月 26 日~29 日, 日本大学 理工学部船橋キャンパス / 薬学部 (千葉県船橋市)
- 22) 董 九超・後藤博正, スメクチック A 液晶中の電解重合およびポリマーフィルムの表面構造に関する研究, 日本化学会 第 95 春季年会 2015 年 3 月 26 日(木)~29 日(日)日本大学 理工学部船橋キャンパス / 薬学部 (千葉県船橋市)
- 23) Hiroki Hayashi, Kohsuke Kawabata, Shigeki Nimori, Hiromasa Goto, Magnetic Electrochemical Synthesis of Uniaxial Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Films in Smectic Liquid Crystal, November 30-December 5, 2014, MRS 2014 Fall Meeting & Exhibit, Boston, Massachusetts, USA.
- 24) Hiroki Hayashi, Tomokazu Iseki, Hiromasa Goto, Electrochemical Synthesis of Polythiophene Films in Cholesteric and Smectic Liquid Crystals, November 30-December 5, 2014, MRS 2014 Fall Meeting & Exhibit, Boston, Massachusetts, USA.

- 25) (口頭発表 研究奨励賞) 林宏紀、二森茂樹、後藤博正、液晶磁場電解重合による配向性導電性高分子の開発、2014.11.13-14、日本磁気科学会第9回年会、高山市民文化会館(岐阜県高山市)
- 26) (ポスター賞) 林宏紀、川畑公輔、二森茂樹、後藤博正、スメクチック液晶溶媒を用いた磁場配向下液晶中電解重合による高異方性ポリマーフィルムの作製、第4回CSJ化学フェスタ2014年10月14日(火)~16日(木)、タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 27) 松村 篤、楊帆、後藤博正、ボルネオールを用いた液晶不斉電解重合法による光学活性ポリエチレンジオキシチオフェンの合成、第4回CSJ化学フェスタ2014年10月14日(火)~16日(木)、タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 28) 城 智晃、董九超、王 傲寒、後藤博正、イソロイシン骨格を有するインデューサーの合成と液晶電解重合法によるらせんポリマーの作製、第4回CSJ化学フェスタ2014年10月14日(火)~16日(木)、タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 29) (依頼講演) 林 宏紀、川畑 公輔、二森茂樹、後藤 博正、スメクチック液晶磁場電解重合による一軸配向性ポリマーフィルムの作製、第63回高分子討論会、長崎大学2014年9月25日(長崎県長崎市)
- 30) Jiuchao Dong, Kohsuke Kawabata, Hiomasa Goto, Electrochemical polymerization in cholesteric liquid crystal by using a novel chiral dopant, The 8th International Conference on Molecular Imprinting (MIP2014) 18-21 Sept 2014, Jiangsu University, Zhenjiang, China.
- 31) Yuki Kudo, Hiomasa Goto, A new method for preparing P-N junction by using Electropolymerization, International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 32) (Poster award) Hiroki Hayashi, Kosuke Kawabata, Shigeki Nimori, Hiomasa Goto, Electrochemical Synthesis of High Anisotropic Polymer Films in Magnetically Aligned Smectic Liquid Crystal, International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 33) Atsushi Matsumura, Fan Yang and Hiomasa Goto, Synthesis of borneol-containing Chiral Inducers and Optically Active Poly(3,4-ethylenedioxythio-phenylene), International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 34) Jiuchao Dong, Kohsuke Kawabata, Hiomasa Goto, Electrochemical polymerization in cholesteric liquid crystal by using a novel chiral dopant, International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 35) Tomoaki Jo, Jiuchao Dong, Aohan Wang, Hiomasa Goto, Synthesis and Properties of Chiral Inducer of Liquid Crystal Using Isoleucine, International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 36) Naoto Eguchi, Hiomasa Goto, Synthesis of Conjugated Polymer Film by Electrolytic Polymerization in Lyotropic Liquid Crystal, International Workshop on Science and Patents 2014, 5 September 2014, University hall, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 37) 城智晃、董九超、王傲寒、後藤博正、イソロイシンを用いた液晶電解重合法および得られたらせん構造を有するポリマーの表面観察、平成26年度繊維学会年次大会(2014)平成26年6月11日~13日、タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 38) 董九超、川畑公輔、後藤博正、チエノ[3,2-b]チオフェンをベースとした新規キララルインデューサーと電解重合への応用、平成26年度繊維学会年次大会(2014)平成26年6月11日~13日、タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 39) 松村篤、楊帆、後藤博正、ボルネオールを用いたキララルインデューサーの合成と液晶不斉電解重合平成26年度繊維学会年次大会(2014)平成26年6月11日(水)~13日(金)タワーホール船堀(東京都江戸川区)
- 40) 城 智晃、董九超、王 傲寒、後藤 博正、フッ素原子をもつダブルキララル型インデューサーを用いた液晶電解重合によるポリチオフェン誘導体の合成、第63回高分子年次大会、2014年5月28日~30日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)
- 41) Hiroki Hayashi・Tomokazu Iseki・Hiomasa Goto, Synthesis of Optically Active Conjugated Polymers by Electrochemical Polymerization in Menthol-Containing Liquid Crystal, 第63回高分子年次大会、2014年5月28日~30日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)
- 42) Jiuchao Dong, Kohsuke Kawabata, Hiomasa Goto, Synthesis and characterisation of novel thieno[3,2-b]thiophene-based chiral inducer and application in electrochemical polymerization. 第63回高分子年次大会、2014年5月28日~30日、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)
- 43) 董九超、川畑公輔、後藤博正、新規キララルインデューサーを用いたコレステリック

- ク液晶中の電解重合とポリマーの表面構造、分子・物質合成プラットフォーム 平成 25 年度シンポジウム, 2014 年 3 月 10 日～11 日, 主催: 分子・物質合成プラットフォーム, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)
- 44) 林 宏紀, 二森 茂樹, 後藤 博正, 磁場配向スメクチック液晶電解重合により作製された一軸配向性ポリマーフィルムの表面観察, 分子・物質合成プラットフォーム 平成 25 年度シンポジウム, 2014 年 3 月 10 日～11 日, 主催: 分子・物質合成プラットフォーム, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)
- 45) 城 智晃, 董九超, 王傲寒, 後藤博正, 液晶中電解重合法による導電性ポリマーの合成とその表面観察, 分子・物質合成プラットフォーム 平成25年度シンポジウム、2014年3月10日～11日, 主催: 分子・物質合成プラットフォーム, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)
- 46) Yuki Kudo, Hiromasa Goto, Conjugated polymers deposited on metal surface, International Workshop on Science and Patent 2013, 6 September, 2013, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 47) Atsushi Matsumura, Kohsuke Kawabata, and Hiromasa Goto, Polythiophenes Bearing Borneol as a Side-chain Prepared by Electrochemical Polymerization and Chemical Polymerization, International Workshop on Science and Patent 2013, 6 September, 2013, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 48) Tomoaki Jo, Aohan Wang, Hiromasa Goto, Synthesis and Properties of Pyrimidine-type Chiral Inducer Containing Fluorine Atom, International Workshop on Science and Patent 2013, 6 September, 2013, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 49) Aohan Wang, Kohsuke Kawabata and Hiromasa Goto, Synthesis and Properties of Chiral Low Bandgap Polymers, International Workshop on Science and Patent 2013, 6 September, 2013, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 50) (Invited) Hiromasa Goto, Chiral Electrochromism Phenomenon of Conducting Polymers Synthesised with Cholesteric Liquid Crystal Electrolyte, TICMS & IWP Joint Workshop on Conjugated Polymers 5 September 2013, U. Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki.
- 51) 深山大輔, 川畑公輔, 後藤博正, ポリジチエノピロールのピノール誘導体の電解合成と表面構造の観察, 平成 25 年度繊維学会年次大会, 2013, 6 月 12 日～14 日, タワーホール船堀 (東京都江戸川区)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

後藤博正 (GOTO, Hiromasa)
筑波大学数理物質系准教授
研究者番号: 40292528