

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24350057

研究課題名(和文) 光刺激による重合からカップリングへの選択的変換を用いた高分子の新合成法

研究課題名(英文) A New Synthetic Method of Polymers by Photo-induced Selective Switching from Radical Polymerization to Coupling Reaction

研究代表者

山子 茂 (Yamago, Shigeru)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：30222368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：光刺激によるリビングラジカル重合から、重合末端ラジカルのカップリング反応への選択的変換による、分子量の制御された対称構造を持つ高分子の合成法の開発を行った。有機テルル化合物の光照射により、対応する炭素ラジカルが高効率で発生することを明らかにすると共に、有機テルル化合物を用いたリビングラジカル重合TERPを用いて合成した分子量の制御された重合体に、ジエン共存下で光を照射すると、ジエンの挿入を伴ってカップリング体が高収率で得られた。これらを利用して、官能基の数と位置とを制御して、分子量の制御されたテレケリック重合体、ブロック共重合体、鎖中央官能基化重合体が合成できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A new synthetic method of structurally well-controlled symmetric polymers has been developed by photo-induced selective switching from living radical polymerization to radical coupling reaction. Polymers with controlled molecular weight were prepared by organotellurium-mediated living radical polymerization (TERP), and photolysis of the resulting polymers in the presence of dienes giving the coupling products in good to excellent yields. The high coupling efficiency can be ascribed to the high quantum yield of radical generation from organotellurium compounds. Structurally well-controlled telechelic polymers, block copolymers, and mid-chain functionalized polymers were successfully synthesized by this method.

研究分野：合成化学

キーワード：リビングラジカル重合、ラジカルカップリング反応、光反応、高分子合成、テレケリックポリマー、テルル、TERP、グリーンケミストリー

1. 研究開始当初の背景

外部刺激により反応経路を選択的に変化させて異なる生成物を得る方法の開発は、限られた前駆体から多様性を持つ生成物を得る方法として、高分子合成や有機合成において重要である。これまで外部刺激として、試薬による化学的な刺激がほとんどの場合に用いられている。一方、周辺環状付加反応のように、光や熱のような物理的刺激を用いる方法は、“グリーンケミストリー”の観点からも興味深い、その例は極めて限られていた。

2. 研究の目的

本研究では申請者がこれまで開発を進めてきた、有機テルル化合物を用いたリビングラジカル重合 TERP を展開し、光刺激によるリビングラジカル重合 (LRP) からラジカルカップリング反応 (RC) への選択的な反応経路のスイッチによる、高分子の新しい合成法を確立することを目的とする。特に、TERP の特徴であるモノマーや官能基との高い汎用性を利用することで、従来法では合成できないモノマーからなる種々のテレケリックポリマー、ABA-トリブロック共重合体、鎖中央官能基化ポリマーの精密合成を行う。さらに、特に、高分子鎖中に選択的に官能基の数を制御して導入する方法や、多分岐 TERP 開始剤の開発とその利用による多分岐ポリマーの精密合成を行い、従来法では得られない高分子化合物の合成法の確立を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

TERP から RC への選択的な反応経路の光スイッチの一般性をまず精査する。まずは、ジエンをモノマーとして用いた TERP と光 RC をモデル反応として選び、カップリング条件を精査することで原理の証明を行った。続いて、その合成的応用について展開を図る。すなわち、モノマー種の拡張を行った。RC の反応性は、重合末端ラジカルの反応性により支配されていると考えられる。そこで、重合末端ラジカルが不均化反応を起こすポリマーにおいては、カップリング剤としてジエンやスチレンなどを添加した系での検討を行った。さらに、挿入されるカップリング剤の数の制御と、カップリング剤に官能基を導入することで、ポリマー鎖中に選択的に官能基を導入する可能性を検討した。

上記の検討は、従来用いられてきた単官能性の TERP 開始剤を用いているが、複数の開始点を持つ多官能性 TERP 開始剤を用いれば、高分子合成の自由度は大きく増す。そこで、反応性の官能基を持つ TERP 開始剤と多官能性リンカーとの反応による、選択的な多官能性 TERP 開始剤の合成法の開発と、それを用いた重合についても検討した。

4. 研究成果

i) 光重合条件の精査：有機テルル化合物を

用いた光ラジカル反応における光量と反応経路の関係を明確にした。代表的な TERP 開始剤の光活性化における量子収率が 0.8 程度と極めて高いことを明らかにすると共に、開始剤および休止種において、有機テルル化合物の吸光係数が分子量には依存しない一方、重合末端の構造の違いに敏感であることを明らかにした。

さらに、重合条件についても精査を行った。従来は、有機テルル化合物を用いたリビングラジカル重合 (TERP) を照射化で行う場合には、500W 水銀ランプと減光フィルターや波長選別フィルターを組み合わせて照射を行っていたが、どのぐらいの弱い光でも十分であるのか、という点は不明であった。種々検討した結果、市販の 6W の白色発光ダイオードを用いても十分に活性化が行われ、場合によってはさらに減光フィルターを組み合わせる方が制御の向上に有効であることを明らかにした。これにより、エネルギー効率のみならず、装置の導入の点でも優位な重合反応条件を明らかにした。さらに、ジテルリド化合物を重合系に添加した場合、室内照明に用いている蛍光灯でさえも光活性化に有効であり、重合速度が増大することを明らかにした。これまで重合速度にばらつきが生じる問題があったが、この原因を特定できたものと考えている。

ii) TERP から RC への光スイッチ法の開発：イソプレンをモノマーとして用いた場合、加熱条件では TERP が進行して構造の制御されたポリイソプレンが生成する一方、このポリイソプレンに対して照射を行うと、重合末端でのカップリング反応が選択的に進行し、対応する重合体が 90% 以上の高いカップリング効率で得られた。カップリング体の分子量は前駆体のポリイソプレンの約 2 倍であり、分子量分布も前駆体同様に狭かった。なお、光 RC ではラジカル濃度が高いことが必要である一方、光量が強すぎると生成したジテルリドが分解して不溶なテルル単体を析出することから、光量を 500W 水銀ランプと減光フィルターや波長選別フィルターで調節することが重要であった。

さらに、有機テルル開始剤に官能基を持たせることで、TERP と光カップリングにより、テレケリックポリイソプレン成功した。さらに、ポリスチレンやポリメタクリル酸メチル (PMMA) マクロテルル開始剤を出発原料として、イソプレンの熱重合とそれに引き続く光カップリングを行うことで、構造の制御された、対称な構造を持つ ABA トリブロック共重合体の合成にも成功した。

iii) RC 反応の合成的汎用性：上記の光カップリング条件を、例えば、ポリメタクリル酸メチル (PMMA) に応用したところ、主に不均化生成物が得られ、望みのカップリング体は 30% 程度しか得られなかった。これは、MMA

のラジカル重合の停止反応が、主に不均化反応である事実と良い一致を示している。このような場合、ジエンやスチレン類をカップリング剤として用いることで、選択的な二量化反応が行えることを明らかにした。ポリメタクリレートのみならず、ポリアクリレート、ポリアクリルアミド、ポリ(*N*-ビニルピロリドン)、ポリスチレンなど、様々なポリマーがジエンの挿入を伴って光カップリング反応を起こし、高カップリング効率で対応する生成物を与えることを明らかにした。

さらに、ポリメタクリル酸エステルやポリアクリル酸エステルなど電子求引性置換基を持つモノマーでは、イソプレンを過剰に用いているにもかかわらず、高選択的に二分子のイソプレンが挿入された生成物のみが得られることがわかった。このことから、官能基を持つジエンをカップリング剤として用いることで、高分子鎖中に選択的に二つの官能基を導入できることを明らかにした。さらに、導入した官能基を利用した合成的展開も行った。すなわち、水酸基を持つジエンを用いて PMMA をカップリングした後、導入した水酸基を開始基とするラクチドの開環重合を行なうことで、分子量と分子量分布の制御された、4 分岐構造を持つミクトアームポリマーの合成に成功した。

さらに、TERP 開始剤として、官能基を持つ有機テルル化合物を用いて重合を行った後、官能基を持つジエンを用いてカップリング反応を行うことで、ポリマーの両末端と中央部に選択的に官能基を持つ高分子の合成も行えることを明らかにした。さらに、小分子モデル化合物を用いて、カップリング時に生成するジエン由来部位の構造の推定も行った。

なお、カップリング剤を用いない反応系は、重合末端ラジカルの反応性を定量的に観測するのに適している。このことを利用して、ラジカル重合における 50 年来の問題である、重合停止反応を定量的に解明できる可能性を明らかにした。

iv) TERP の合成反応性の向上：TERP は極めて汎用性の高い重合法であるが、酢酸ビニルの重合の制御はこれまで困難であった。それは、重合で生じる頭 頭結合に由来する休止種の活性化が困難であるためである。一方、Co 触媒を用いた重合は、多くの共役モノマーの重合制御は困難である一方、酢酸ビニルの重合制御を高度に行える興味深い重合系である。そこで、重合末端での Co から Te への変換反応を行うことで、Co 触媒を用いて合成した構造の制御されたポリ酢酸ビニルをマクロ開始剤として用い、TERP を行う検討を行った。その結果、Co から Te への交換反応を行う条件を明らかにすると共に、それにより合成したマクロ開始剤から共役モノマーの重合を行うことで、従来法では合成できない新規ブロック共重合体の制御合成に成功

した。

v) 多官能性 TERP 開始剤の合成とその応用：複数の開始基を持つ多官能性 TERP 開始剤を合成し、上記で開発した反応条件に賦することができれば、高分子エンジニアリングの可能性が大きく広がる。しかし従来法では、TERP 開始剤の不安定さから多官能性開始剤の分離・精製が困難であることから、望みの化合物を選択的に得ることはできなかった。そこで、カルボン酸官能基を持つ TERP 開始剤を合成し、そのカルボン酸とアミンとの縮合を用いる新しい TERP 開始剤の合成について検討した。その結果、トリエチルシリル基をカルボン酸の保護基として用いることで、対応するテルル化合物の合成とトリエチルシリル基の脱保護、それに続くアミンとの縮合により、アミド構造を持つ TERP 開始剤の合成に成功した。さらに、ジアミンやトリアミンを用いることで、対応するジ、およびトリ官能基化 TERP 開始剤の合成にも成功した。さらに、それらの開始剤が重合制御剤として十分に機能することも明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

「有機テルル化合物を用いた制御ラジカル重合 (TERP) による生体適合性ポリ (2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン) (PMPC) の合成」, 中川ひなり, 山子茂, 石原一彦, 遊佐真一, *高分子論文集*, **2015**, 72, 335-340. DOI: 10.1295 / koron.2014-0084

「光リビング・制御ラジカル重合」, 山子茂, 中村泰之, *高分子*, **2015**, 64, 103-106. <http://main.spsj.or.jp/c5/kobunshi/kobu2015/1502.html#103>

新規リビングラジカル重合 TERP の開発」, 山子茂, *現代化学*, **2014**, 521, 50-54. <http://www.tkd-pbl.com/book/b181630.html>

“Controlled Polymerization of a Protic Ionic Liquid Monomer by ARGET ATRP and TERP”, Nakamura, Y.; Nakanishi, K.; Yamago, S.; Tsujii, Y.; Takahashi, K.; Morinaga, T.; Sato, T. *Macromol. Rapid Commun.* **2014**, 35, 642-648. DOI: 10.1002/marc.201300855

“Modular Synthesis of Mid-Chain Functionalized Polymers by Photoinduced Diene- and Styrene-Assisted Radical Coupling Reaction of Polymer-End Radicals”, Nakamura, Y.; Arima, T.; Yamago, S. *Macromolecules* **2014**, 47, 582-588. DOI: 10.1021/ma402354m

“Expanding the scope of controlled radical polymerization via cobalt-tellurium radical exchange reaction”, Kermagoret, A.; Nakamura, Y.; Bourguignon, M.; Detrembleur, C.; Jerome, C.; Yamago, S.; Debuigne, A. *ACS Macro Lett.* **2014**, 3, 114-118. DOI: 10.1021/mz400635h

「有機テルル化合物を用いるリビングラジカル重合法 TERP の最近の進歩」, 山子茂, *触媒*, **2013**, 55, 65-70.

<http://www.shokubai.org/jnl/cgi-bin/ccotw.cgi>

「有機テルル化合物を用いるリビングラジカル重合法 TERP の開発と応用」, 山子茂, 未来材料, 2013, 13, 15-21. <https://pub.maruzen.co.jp/ntsshop/search/NTS469015.html>

“Recent Progress in the Use of Photoirradiation in Living Radical Polymerization”, Yamago, S.; Nakamura, Y. *Polymer*, 2013, 54, 981-994. DOI:10.1016/j.polymer.2012.11.046

“Synthesis of Concentrated Polymer Brushes via Surface-Initiated Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (SI-TERP)”, Yamago, S.; Yahata, Y.; Nakanishi, K.; Konishi, S.; Kayahara, E.; Nomura, A.; Goto, A.; Tsujii, Y. *Macromolecules* 2013, 46, 6777-6785. DOI: 10.1021/ma401385a

“Organotellurium-mediated Living Radical Polymerization under Photoirradiation by a Low-Intensity Light-Emitting Diode”, Nakamura, Y.; Yamago, S. *Beilstein J. Org. Chem.* 2013, 9, 1607-1612. DOI:10.3762/bjoc.9.183

“Controlled Copolymerization of 1-Octene and (Meth)acrylates via Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Mishima, E.; Tamura, T.; Yamago, S. *Macromolecules* 2012, 45, 8998-9003. DOI: 10.1021/ma301570r

“Controlled Copolymerization of Acrylate and 6-Methyleneundecane by Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Mishima, E.; Tamura, T.; Yamago, S. *Macromolecules* 2012, 45, 2989-2994. DOI: 10.1021/ma300325r

“Photoinduced Switching from Living Radical Polymerization to a Radical Coupling Reaction Mediated by Organotellurium Compounds”, Nakamura, Y.; Arima, T.; Tomita, S.; Yamago, S. *J. Am. Chem. Soc.* 2012, 134, 5536-5539. DOI: 10.1021/ja300869x

〔学会発表〕(計 48 件)

“多官能性 TERP 開始剤の合成とそれを用いたポリマーの制御合成”, 范唯桂, 中村泰之, 山子茂, 第 64 回高分子討論会, 2015/9/17, 仙台

“有機テルル化合物を用いたラジカル重合 (TERP) を用いた高分子の精密合成”, 山子茂, 高分子学会関東支部第 45 回湘南地区講演会, 2015/8/5, 横浜 (招待講演)

“後修飾法による多官能性 TERP 開始剤の合成”, 范唯桂, 中村泰之, 山子茂, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015/5/29, 札幌

“ラジカル停止反応における溶媒ケージ効果”, 荻原祐, 中村泰之, 山子茂, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015/5/29, 札幌

“銅を用いた末端臭素化ポリマーの還元的鎖末端反応の反応機構”, 中村泰之, 荻原祐, 山子茂, 第 64 回高分子学会年次大会,

2015/5/29, 札幌

“アクリル酸エステルのラジカル重合反応停止機構”, 中村泰之, 山子茂, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015/5/29, 札幌

“結晶性部位を末端に持つ ABA 型トリブロックポリマーの合成と高次構造解析”, 大須賀京子, 登阪雅聡, 中村泰之, 山子茂, 第 64 回高分子学会年次大会, 2015/5/27, 札幌

“ラジカル-ラジカル反応の選択性における溶媒ケージ効果”, 荻原祐, 中村泰之, 山子茂, 日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/28, 船橋

“(メタ)アクリル酸エステルのラジカル重合にケル停止反応機構の解明”, 中村泰之, 山子茂, 日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/28, 船橋

“Photo-induced Organotellurium-mediated Living Radical Polymerization (TERP) and Radical Coupling Reaction”, Yamago, S., *MACRO2015, International Symposium on Polymer Science and Technology*, 2015/1/25, Kolkata, India. (招待講演)

“Termination Mechanism of Radical Polymerization”, Yamago, S., 18th International Research Training Group (IRTG) Joint Symposium, 2014/11/29, Münster, Germany. (招待講演)

“有機テルル化合物の光活性化を用いたラジカル重合停止機構の解明”, 中村泰之, 山子茂, 第 41 回有機典型元素化学討論会, 2014/11/28, 宇部

“ポリマー末端ラジカルの反応性”, 山子茂, 中村泰之, 荻原祐, 財団法人日本化学繊維研究所講演会(第 72 回), 2014/11/11, 京都. (招待講演)

“構造制御されたテレケリックポリマーと多分岐架橋剤のチオール・エン反応によるゲルの合成”, 范唯佳, 中村泰之; 登阪雅聡; 山子茂, 第 63 回高分子討論会, 2014/9/25, 長崎

“メタクリロニトリルのラジカル重合停止反応機構の解明”, 荻原祐, 中村泰之, 山子茂, 第 63 回高分子討論会, 2014/9/25, 長崎

“Application of Organotellurium Mediated Living Radical Polymerization (TERP) to Pigment Dispersant for Inkjet Ink”, Umemoto, H., Kawano, K., Yamago, S., *The 7th Symposium on Controlled Radical Polymerization, 248th ACS National Meeting and Exposition*, 2014/8/12, San Francisco, USA.

“Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP) under Photo Irradiation”, Yamago, S., *The 7th Symposium on Controlled Radical Polymerization, 248th ACS National Meeting and Exposition*, 2014/8/12, San Francisco, USA. (招待講演)

“Recent Developments in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Yamago, S., *EUChem Conference on Organic Free Radicals*, 2014/7/2,

Prague, Czech Republic. (招待講演)

“有機テルル化合物を用いた生体適合共役及び非共役モノマーからなるジブロック共重合体の合成”, 中川ひなり, 遊佐真一, 山子茂, 石原一彦, 第 63 回高分子年次大会, 2014/5/28, 名古屋.

“ビニルモノマーのラジカル重合停止反応機構の解明”, 中村泰之, 山子茂, 第 63 回高分子年次大会, 2014/5/28, 名古屋.

⑲ “Recent Advances in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization”, Yamago, S., *National Taiwan University & Kyoto University Symposium 2013*, 2013/12/20, Taipei, Taiwan. (招待講演)

⑳ “ラジカル重合停止反応の機構解析”, 山子茂, 中村泰之, 野口直樹, 財団法人日本化学繊維研究所講演会(第 71 回), 2013/11/12, 京都. (招待講演)

㉑ “Termination Mechanism of Radical Polymerization”, Yamago, S., Nakamura, Y., *Tateshina Conference on Organic Chemistry*, 2013/11/9, 蓼科.

㉒ “Recent Developments in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Yamago, S., *IUPAC International Symposium on Ionic Polymerization 2013*, 2013/9/26, Awaji island, Japan. (招待講演)

㉓ “高度に構造制御されたプロトン性 アンモニウム塩型イオン液体ポリマーのリビングラジカル重合を用いた合成”, 中村泰之, 仲西幸二, 山子茂, 辻井敬巨, 森永隆志, 佐藤貴哉, 第 62 回高分子討論会, 2013/9/13, 金沢.

㉔ “Stereospecific Living Radical Polymerization of Acrylimides Bearing Chiral Oxazolidinones”, Fujita, T., Yamago, S., 第 62 回高分子討論会, 2013/9/12, 金沢.

㉕ “Determination of the Termination Mechanism in Radical Polymerization of Conjugated Monomers”, Nakamura, Y., Noguchi, N., Yamago, S., 第 62 回高分子討論会, 2013/9/11, 金沢.

㉖ “Synthesis of Structurally Well Controlled Mid-chain Functionalized Polymers by Successive TERP and Radical Coupling Reaction”, Yamago, S., Arima, T., Nakamura, Y., *ACS 246th National Meeting*, 2013/9/9, Indianapolis, USA. (招待講演)

㉗ “TERP により合成したテレケリックポリマーを用いた、ゲルの構造制御”, 榊原正也, 登阪雅聡, 中村泰之, 山子茂, 繊維学会 2013 年秋期研究発表会, 2013/9/6, 名古屋.

㉘ “Recent Advances in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Yamago, S., *12th International Conference on the Chemistry of Selenium and Tellurium*, 2013/7/23, Cardiff, UK. (招待講演)

㉙ “有機テルル化合物の光活性化に基づくポリマーの精密ラジカルカップリング反応

の開発”, 中村泰之, 有馬隆弘, 山子茂, 高分子研究発表会 2013, 2013/7/12, 神戸.

㉚ “Synthesis of Structurally Controlled Macromolecules Based on Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization”, Yamago, S., *6th Pacific Symposium on Radical Chemistry*, 2013/6/18, Vancouver, Canada. (招待講演)

㉛ “光学活性オキサゾリジノンを持つアクリルイミドのルイス酸存在下における立体特異的ラジカル重合”, 藤田健弘, 山子茂, 第 62 回高分子学会年次大会, 2013/5/30, 京都.

㉜ “TERP により合成したテレケリックポリマーと四分岐架橋剤との反応による構造制御されたゲルの作製”, 榊原正也, 登阪雅聡, 中村泰之, 山子茂, 第 62 回高分子学会年次大会, 2013/5/29, 京都.

㉝ “ヘテロ元素化合物のラジカル反応性の違いを利用した分岐ポリマーの短段階合成”, 八幡芳和, 山子茂, 日本化学会第 93 春季年会, 2013/3/25, 草津.

㉞ “有機テルル化合物を用いた光ラジカルカップリング反応による中央および末端官能基化ポリマーの合成”, 有馬隆弘, 中村泰之, 山子茂, 日本化学会第 93 春季年会, 2013/3/25, 草津.

㉟ “先端機能性ポリマー リビングラジカル重合法を用いた機能性高分子精密合成”, 山子茂, 財産法人生産開発科学研究所 新材料・新技術利用研究会, 2012/11/13, 京都. (招待講演)

㊱ “有機テルル化合物を用いるリビングラジカル重合 TERP を用いた共役モノマーと非共役モノマーの制御共重合”, 山子茂, 財団法人日本化学繊維研究所講演会(第 70 回), 2012/11/8, 京都. (招待講演)

㊲ “TERP とラジカルカップリング反応を用いた末端および中央官能基化ポリマーの合成”, 有馬隆弘, 中村泰之, 山子茂, 第 61 回高分子討論会, 2012/9/20, 名古屋.

㊳ “有機合成に先導される新材料の創製”, 山子茂, 有機合成化学協会関西支部有機合成夏季セミナー「明日の有機合成化学」, 2012/8/30, 大阪. (招待講演)

㊴ “高周期元素を用いるリビングラジカル重合”, 山子茂, 第 140 回ポバル会, 2012/7/7, 京都. (招待講演)

㊵ “Recent Advances in Organotellurium-Mediated Living Radical Polymerization (TERP)”, Yamago, S., 2nd Annual Akron, Kyoto, and Peking Trilateral Conference, 2012/6/21, Akron, USA. (招待講演)

㊶ “高周期元素を用いるリビングラジカル重合”, 山子茂, 第 11 回高分子材料研究会, 2012/6/13, 京都. (招待講演)

㊷ “高性能リビングラジカル重合制御剤の開発”, 山子茂, 第 101 回有機合成シンポジウム, 2012/6/6, 東京. (招待講演)

㊸ “機械的刺激による両親媒性ブロック共重合体の可逆的な会合構造変化”, 中村泰之,

劉琳, 登阪雅聡, 山子茂, 遊佐真一, 第 61 回
高分子学会年次大会, 2012/5/31, 横浜.

④⑥“末端有機テルル化ポリマーの光ラジカ
ルカップリング反応”, 有馬隆広, 中村康之,
山子茂, 第 61 回高分子学会年次大会,
2012/5/31, 横浜.

④⑦“有機テルルリビングラジカル重合とラ
ジカルカップリング反応を用いたテレケリ
ックポリマーの合成と架橋体合成への応用”,
寺脇智紀, 登阪雅聡, 中村泰之, 山子茂, 第
61 回高分子学会年次大会, 2012/5/29, 横浜.

④⑧ “Development of Organotellurium-
Mediated Radical Coupling Reaction for Polymer
Synthesis”, Nakamura, Y., Arima, T., Yamago, S.,
*10th International Conference on Heteroatom
Chemistry*, 2012/5/21, Kyoto, Japan.

〔図書〕(計 5 件)

“Organotellurium-Mediated Radical
Polymerization under Photo Irradiation”,
Nakamura, Y.; Yu, M.; Ukai, Y.; Yamago, S.
Controlled Radical Polymerization, ACS
Symposium Series, American Chemical Society:
Washington, DC, **2015**, 1187, 295-309.

“Synthesis of ω-End Functionalized
Polymers through Tellurium-Metal
Transmetallation Reaction”, Kayahara, E.;
Yamago, S. *Progress in Controlled Radical
Polymerization Materials*, Matyjaszewski, K.;
Sumerlin, B. S.; Tsarevsky, N. V., Eds; American
Chemical Society: Washington, DC, **2012**, Chap.
7, pp99-114.

“Other Degenerative Transfer Systems”,
Yamago, S.; Nakamura, Y. *Polymer Science: A
Comprehensive Reference*, Vol. 3 (Chain Vinyl
Polymerization), Matyjaszewski, K.; Moeller,
M.; Eds, Elsevier BV, Amsterdam, **2012**, Vol 3,
pp227-247.

“Sb, Bi, Te, and I-Transfer Polymerization
and Applications”, Yamago, S.; Kayahara, E.
*Encyclopedia of Radicals in Chemistry, Biology
& Materials*, Chatgililoglu, C.; Studer, A. Eds,
John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, **2012**,
pp1931-1964.

“Organotellurium compounds as chain
transfer agents for living radical polymerization”,
Yamago, S.; Nakamura, Y. *Patai's Chemistry of
Functional Groups, Organic Selenium and
Tellurium Compounds, Vol. 3*. Rappoport, Z.,
Marek, I.; Liebman, J. F. Eds, John Wiley & Sons
Ltd, Chichester, UK, **2012**, pp585-622. (Wiley
Online Library, **2011**, DOI:
10.1002/9780470682531.pat0579)

〔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://os.kuicr.kyoto-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山子 茂 (YAMAGO, Shigeru)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号: 3 0 2 2 2 3 6 8