

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19390005

研究課題名（和文） 触媒的多成分連結型連続環化反応の開発とその応用

研究課題名（英文） Development and application of catalytic multi-component coupling and ring-forming reactions

研究代表者

竹本 佳司（TAKEMOTO YOSHIJI）

京都大学・薬学研究科・教授

研究者番号：20227060

研究成果の概要（和文）：抗がん作用など興味深い生物活性を有する天然物や医薬品の基本構造として重要なテトラヒドロイソキノリンおよびオキシインドール類の大量合成に耐えうる実用的な合成法の開発を目指し、多環式複素環化合物のワンポット合成法に応用可能な金属触媒反応を In, Au, Pd, Ni 触媒を用いて探索した。また、それらの新反応を利用して Aspidosperma 型インドールアルカロイド epieburnamonine やスピロオキシインドール isoelacomine の形式全合成を達成するとともに、抗がん剤 ecteinascidin 743 や二連続四置換炭素を有するアルカロイド vincorine の基本骨格構築へと展開した。

研究成果の概要（英文）： To develop practical synthetic method of polycyclic heterocycles such as tetrahydroisoquinolines and oxindoles, which are very important as biologically active drug-templates, several metal-catalyzed reactions of 2-alkynylbenzylamines and carbamoyl chlorides bearing an alkene or diene moiety were investigated with In(OTf)₃, AuCl•PPh₃/AgNTf₂, and Pd(dba)₂. Consequently, we have succeeded in the formal synthesis of epieburnamonine and isoelacomine as well as the construction of the core structures of ecteinascidin 743 and vincorine.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2008年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究代表者の専門分野：有機合成化学

科研費の分科・細目：薬学・化学系薬学

キーワード：複素環化学、全合成、不斉合成

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の全合成研究は、標的化合物をできる限り短行程で合成することを目標としてはいたが、極微量であっても最終化合物に何とかたどり着くことを最優先課題としていた。そのため、収率や立体選択性を確保する

ために、保護基を多用し、多少高価で危険で取扱い難い試薬を使用することには、無頓着でいた感がある。しかし時代は徐々に変わり、グリーンケミストリーの概念が提唱され始めてからは、保護基や危険な試薬の使用は避け、可能な限り反応は連続的に行

うことで、短工程かつ効率よい全合成戦略の創出が大命題となってきた。

(2)「触媒的」「連続化」「汎用性」「不斉化」の4つの課題が今日の有機合成化学の重要なキーワードになっている。

(3)我々は、これまでの研究成果として、すでに遷移金属反応剤[Rh₄(CO)₁₂, Pd(0)]やラジカル活性種[In(0)/I₂ or Br₂, Et₃B, ZnEt₂]の特性を利用して種々の新しい炭素-炭素結合形成反応を開発し、3-アルキリデンオキシインドールやα-アルキリデンラクタム類の立体選択的な合成法を開発し報告してきた。

2. 研究の目的

(1)現在の有機合成化学の最大の目標の1つは、「原子効率」の高い反応を見つけ出し、その反応を用いて単純な原料より複雑な機能分子を、保護基を用いず、反応を連続的に行うことにより短工程で効率よく合成することである。

(2)「触媒化」と「連続化」そして「不斉化」が現在の有機合成化学の重要なキーワードになっている。しかし、「触媒的」「連続化」「汎用性」「不斉化」の4つの課題をすべて満足させる真に効率的な全合成を達成するためには、更なる検討を要する。

(3)これまでの研究成果の中から、「原子効率」が高いと期待できる3種の反応、すなわちソフトな金属ルイス酸[In(OTf)₃, AuNTf₂·PPh₃]を用いたジヒドロイソキノリン合成、0 価および2 価のパラジウムを用いた不飽和炭素-炭素結合への二官能基導入反応、そしてチオ尿素触媒を用いたマイケル付加反応の3反応に着目し、まず「触媒的」「汎用性」「多様性」の3つすべてを兼ね備えた反応への最適化を行い、その後「連続化」反応への応用を検討し、最後に生物活性化化合物の全合成あるいは誘導体合成研究を目指すことを計画した。

(4)本申請では、これら3つのキーワードを全て満足する完全有機合成反応の開拓を目指す。

3. 研究の方法

(1)「触媒化」に関しては、これまでの申請者らの「金属触媒」と「有機触媒」の研究実績から、様々な反応に利用できる幾つかの優れた触媒系を既に開発しており、必要に応じてそれらの中から最適な触媒を活用できる。

(2)「連続化」に関しては、それぞれの反応について独自の工夫が必要ではあるが、基本的な考え方として1段階目の反応で生じた不安定な中間体を、①単純に基質に工夫を凝らすことによりそのまま利用する従来からの方法(例えば、アニオンやラジカルをそのまま利用)と②何らかの試薬を共存させておき次の反応に最適な別の活性種へ変化させ

て利用する方法(ラジカルをアニオン、アニオンをカルベン、Pd(+2)をPd(+4)など)の2つの手法を検討することを計画した。

(3)特に後者の場合は、各ステップで別の活性種が反応に関与するので、反応しやすい基質あるいは官能基が異なるため、多官能基性の原料あるいは複数個の反応基質共存下で反応を行える利点がある。

(4)具体的には、金属触媒[In(OTf)₃, AuX, Pd(0), Pd(OAc)₂]の特性(官能基選択性、連続性等)に着目して、まず新規な素反応を幾つか開発する。その後、反応機構の考察から予想される中間体を反応中、再度活性種に変換する効率的な手法を開発することで、同種あるいは異種の反応を連続的にを行い、多環式複素環化合物の1工程あるいはワンポット合成法を確立する。

4. 研究成果

(1)触媒量の In(OTf)₃ を用いたアルキニルアリールイミンの付加環化反応を精査し、シリルエノールエーテル以外にも種々の活性メチレン化合物、アルキン、ヒドリドの導入を伴った1,2-ジヒドロイソキノリン誘導体の一挙構築が可能であることを明らかにした。また、求核剤の種類により、In(OTf)₃以外にもNiCl₂, AuClが有効であることやイミン体を事前に調製することなくアルデヒドとアミンの共存下でも同様のワンポット反応が進行することを突き止めた。

(2) AuCl(PPh₃)/AgNTf₂ が2-アルキニルベンジルアミン誘導体の6-endo 選択的分子内ヒドロアミノ化反応に有効であり、室温下で1,2-ジヒドロイソキノリン誘導体のみを収率よく与えること、また5当量のアルコールの添加により10倍以上反応が加速されることを明らかにした。また、6-endo/5-exo 環化選択性がアルキン末端の置換基に依存すること、6-endo 選択性が低い場合には嵩高いリン配位子を持つ触媒 AuCl[(*o*-biPh)(*t*Bu)₂P]/AgNTf₂ の使用により6-endo 選択性が向上することを見出した。

(3) AuCl(PPh₃)/AgNTf₂ 触媒のソフトとハードなルイス酸特性を利用し、アルキン末端側にアセタールやエノン有するベンジルアミン誘導体からニチジンをはじめとする4~5環式複素環を収率良く合成することに成功した。

(4) 金触媒を用いた分子内アルキンへのヒドロラクトン化、フェニルグリシン誘導体との無触媒カップリング反応、臭素化を引き金とする酸化的Friedel-Crafts 反応

などを駆使して、抗がん剤 Ecteinascidin 743 の基本骨格である 5 環性化合物の不斉合成を達成した。

(5) 三置換アルケンを有するカルバミン酸クロリドに対して Pd(PPh₃)₄/Ag₃PO₄/K₃PO₄ 触媒を用いて反応を行うと、Mizoroki-Heck 型の閉環反応が触媒的に進行することを明らかにした。本反応を利用して Aspidosperma 型 インドールアルカロイド、epieburnamonine の不斉合成を行った。

(6) Pd(0) 触媒シアノアミド化反応を、光学活性 BINOL と第二級キラルアミンを組み合わせたホスホロアミダイト配位子と Pd(dba)₂ 錯体を用いて、キシレン中 1 当量の DMPU を添加することにより、最高 86% ee で光学活性なオキシインドール体を簡便に不斉合成する新手法を開発した。

(7) 側鎖に NBoc を有するオキシインドールに対してアルキルリチウム試薬を反応させることにより、所望の二連続四置換炭素を有するヘキサヒドロピロロインドール体を収率良く合成することに成功した。

(8) アニリンの 2 位にジエンを有するカルバミン酸クロリドを Pd(0) 触媒下に種々の求核剤 (スルホン酸アミド、フェノール、有機ボロン酸) と作用させると、求核剤の違いにより 1, 2-あるいは 1, 4-付加体が位置選択的に得られることを見出した。

(9) アミノ基を有するジエンカルバミン酸クロリドに対して、Pd(0)-Bi(OTf)₃ 共触媒を加えることでダブル環化が進行することを見出し、続く接触還元と脱保護を経て Elacomine と Isoelacomine の形式全合成を行った。

(10) ジエンカルバミン酸クロリドを Pd 触媒存在下にジシランを作用させると極性転換が起こり、オキシインドール環化と同時に分子内の求電子部位との反応が可能になることを見出した。実際に、環化と櫻井反応を組み合わせることで、3 つの不斉炭素を全て制御可能なスピロオキシインドール構築法を新たに開発した。

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 21 件)

1. Girard, A.-L.; Enomoto, T.; Yokouchi, S.; Tsukano, C.; Takemoto, Y., Control of 6-Exo and 7-Endo Cyclization of Alkynylamides using Platinum and Bismuth Catalysts. *Chem. Asian J.* **2011**, in press. [査読有]
2. Hande, S. M.; Nakajima, M.; Kamisaki, H.; Tsukano, C.; Takemoto, Y., Flexible Strategy for

Syntheses of Spirooxindoles using Palladium-Catalyzed Carbosilylation and Sakurai-Type Cyclization. *Org. Lett.* **2011**, 13, 1828-1831. [査読有]

3. Kamisaki, H.; Kobayashi, Y.; Kimachi, T.; Yasui, Y.; Takemoto, Y., Synthetic studies of salinosporamide A through intramolecular hydroamidation of alkynes. *J. Organomet. Chem.* **2011**, 696, 42-45. [査読有]
4. Kamisaki, H.; Nanjo, T.; Tsukano, C.; Takemoto, Y., Domino Pd-Catalyzed Heck Cyclization and Bi-Catalyzed Hydroamination: Formal Synthesis of Elacomine and Isoelacomine. *Chem. Eur. J.* **2011**, 17, 626-633. [査読有]
5. Enomoto, T.; Yasui, Y.; Takemoto, Y., Synthetic Study toward Ecteinascidin 743: Concise Construction of the Diazabicyclo[3.3.1]nonane Skeleton and Assembly of the Pentacyclic Core. *J. Org. Chem.* **2010**, 75, 4876-4879. [査読有]
6. Yasui, Y.; Kamisaki, H.; Ishida, T.; Takemoto, Y., Synthesis of 3,3-disubstituted oxindoles through Pd-catalyzed intramolecular cyanoamidation. *Tetrahedron* **2010**, 66, 1980-1989. [査読有]
7. Enomoto, T.; Girard, A.-L.; Yasui, Y.; Takemoto, Y., Gold(I)-Catalyzed Tandem Reactions Initiated by Hydroamination of Alkynyl Carbamates: Application to the Synthesis of Nitidine. *J. Org. Chem.* **2009**, 74, 9158-9164. [査読有]
8. Kamisaki, H.; Yasui, Y.; Takemoto, Y., Pd-Catalyzed Intramolecular Amidation of 2-(Buta-1,3-dienyl)phenylcarbamoyl Chloride: A Concise Synthesis of Spiro[indoline-3,3'-pyrrolidine]. *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 2589-2592. [査読有]
9. Yanada, R.; Takemoto, Y., Development of Synthetic Methods with Indium. *J. Synth. Org. Chem., Jpn.* **2009**, 67, 239-247. [査読有]
10. Takeda, H.; Ishida, T.; Takemoto, Y., Concise Synthesis of 5-N- or 6-N-Alkylated Indolo[2,3-b]quinolines by Palladium-Catalyzed Annulation of Unsaturated Ureas or Isothioureas. *Chem. Lett.* **2009**, 38, 772-773. [査読有]
11. Yasui, Y.; Kakinokihara, I.; Takeda, H.; Takemoto, Y., Preparation of α, β -Unsaturated Lactams through Intramolecular Electrophilic Carbamoylation of Alkenes. *Synthesis* **2009**, 3989-3993. [査読有]
12. Yasui, Y.; Kinugawa, T.; Takemoto, Y., Synthetic studies on vincorine: access to 3a,8a-dialkyl-1,2,3,3a,8a,8a-hexahydropyrrolo-[2,3-b]indole skeleton. *Chem. Commun.* **2009**, 4275-4277. [査読有]
13. Yasui, Y.; Kamisaki, H.; Takemoto, Y., Enantioselective Synthesis of 3,3-Disubstituted Oxindoles through Pd-Catalyzed Cyanoamidation *Org. Lett.* **2008**, 10, 3303-3306. [査読有]
14. Enomoto, T.; Obika, S.; Yasui, Y.; Takemoto, Y., Gold(I)-catalyzed hydroamination as a general approach toward the synthesis of substituted hydroisoquinolines: Remarkable acceleration by ethanol. *Synlett* **2008**, 1647-1650. [査読有]
15. Obika, S.; Yasui, Y.; Yanada, R.; Takemoto, Y., Concise Synthesis of the CDE Ring System of Tetrahydroisoquinoline Alkaloids Using Carbophilic Lewis Acid-Catalyzed Hydroamidation and Oxidative Friedel-Crafts

- Cyclization. *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 5206-5209. [査読有]
16. Yanada, R.; Hashimoto, K.; Tokizane, R.; Miwa, Y.; Minami, H.; Yanada, K.; Ishikura, M.; Takemoto, Y., Indium(III)-Catalyzed Tandem Reaction with Alkynylbenzaldehydes and Alkynylanilines to Heteroaromatic Compounds *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 5135-5138. [査読有]
 17. Yasui, Y.; Takeda, H.; Takemoto, Y., Toward General Access to the Aspidosperma-Type Terpenoid Indole Alkaloids: Synthesis of the Key 3,3-Disubstituted Piperidones through Enantioselective Intramolecular Heck-Type Reaction of Chloroformamides. *Chem. Pharm. Bull.* **2008**, *56*, 1567-1574. [査読有]
 18. Yasui, Y.; Takemoto, Y., Intra- and Intermolecular Amidation of C-C Unsaturated Bonds Through Palladium-Catalyzed Reactions of Carbamoyl Derivatives. *Chemical Record* **2008**, *8*, 386-394. [査読有]
 19. Yasui, Y.; Tsuchida, S.; Miyabe, H.; Takemoto, Y., One-Pot Amidation of Olefins through Pd-Catalyzed Coupling of Alkylboranes and Carbamoyl Chlorides. *J. Org. Chem.* **2007**, *72*, 5898-5900. [査読有]
 20. Obika, S.; Kono, H.; Yasui, Y.; Yanada, R.; Takemoto, Y., Concise Synthesis of 1,2-Dihydroisoquinolines and 1*H*-Isochromenes by Carbophilic Lewis Acid-Catalyzed Tandem Nucleophilic Addition and Cyclization of 2-(1-Alkynyl)aryaldimines and 2-(1-Alkynyl)arylaldehydes. *J. Org. Chem.* **2007**, *72*, 4462-4468. [査読有]
 21. Kobayashi, Y.; Kamisaki, H.; Takeda, H.; Yasui, Y.; Yanada, R.; Takemoto, Y., Intramolecular cyanoamidation of unsaturated cyanoformamides catalyzed by palladium: an efficient synthesis of multi-functionalized lactams. *Tetrahedron* **2007**, *63*, 2978-2989. [査読有]
- Enamides via a Lewis Acid -Promoted Hydroamidation of Alkynylamides, ○Anne-Lise Girard, Taro Enomoto, Chihiro Tsukano, Yoshiji Takemoto.
6. 日本薬学会第 130 年会(岡山)平成 22 年 3 月 28-30 日、ジエンのアミド化を経由するエラコミン類の全合成研究、○南條毅、上崎春陽、塚野千尋、竹本佳司.
 7. 日本薬学会第 130 年会(岡山)平成 22 年 3 月 28-30 日、Pd 触媒によるシリルアミド化反応を鍵反応としたスピロオキシインドール骨格合成法の開発、Sudhir M. HANDE, 上崎春陽, ○塚野千尋, 竹本佳司.
 8. 日本薬学会第 130 年会(岡山)平成 22 年 3 月 28-30 日、白金およびビスマス触媒を用いたアルキンの分子内ヒドロアミド化:6 および 7 員環エナミドの選択的合成、○Anne-Lise GIRARD, 榎本太郎, 塚野千尋, 竹本佳司.
 9. The 11th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOG-11) (Kyoto)、平成 21 年 11 月 9-13 日、Regioselective Synthesis of six- and seven-membered Lactams via Intramolecular Hydroamidation of Alkyne Using Lewis Acid Catalysis, ○Anne-Lise Girard Taro Enomoto, Chihiro Tsukano, Yoshiji Takemoto
 10. 第 59 回日本薬学会近畿支部大会(大阪)、平成 21 年 10 月 24 日、スピロオキシインドールの合成法の開発と vincorine 合成への応用、高須清誠、○横内新介、竹本佳司
 11. 第 59 回日本薬学会近畿支部大会(大阪)、平成 21 年 10 月 24 日、塚野千尋、○石田貴之、竹本佳司
 12. OMCOS 15 (Glasgow, UK), July 26 -30, 2009, Pd-Catalyzed Intramolecular Amidation of Unsaturated Isothioureas: A Concise Synthesis of Indolo[2,3-*b*]quinolines, Hiroshi Takeda, Yoshizumi Yasui, ○Yoshiji Takemoto
 13. 日本薬学会第 129 年会(京都)平成 21 年 3 月 26-28 日、オレフィンの求電子的アミド化反応による不飽和ラクタムの合成、○安井義純、柿木原一成、竹田寛、竹本佳司
 14. 日本薬学会第 129 年会(京都)平成 21 年 3 月 26-28 日、パラジウム触媒を用いた不飽和結合のアミジン化反応の開発、○竹田寛、安井義純、竹本佳司
 15. 日本薬学会第 129 年会(京都)平成 21 年 3 月 26-28 日、パラジウム触媒によるジエンの連続的アミド化-アリル位置換反応、○上崎春陽、安井義純、竹本佳司
 16. 第 27 回メディシナルケミストリーシンポジウム(大阪)平成 20 年 11 月 26-27 日、金属触媒による C-C、C-X 結合活性化を利用した含窒素複素環化合物の合成、○上崎春陽、小林祐輔、竹田寛、安井義純、竹本佳司

[学会発表] (計 32 件)

1. 日本薬学会第 131 年会(静岡)平成 23 年 3 月 28-31 日、ヨウ化サマリウム(II)を用いた還元的環化反応による 2-イミノインドリン骨格構築法の研究、塚野千尋、○石田貴之、竹本佳司.
2. 日本薬学会第 131 年会(静岡)平成 23 年 3 月 28-31 日、パラジウム触媒を用いたドミノ型環化反応によるジヒドロインドール骨格の新規合成法、塚野千尋、○南條毅、竹本佳司.
3. 日本薬学会第 131 年会(静岡)平成 23 年 3 月 28-31 日、Pd 触媒によるシリルアミド化反応を鍵反応としたスピロオキシインドール骨格合成法、塚野千尋、○中島基之、Sudhir M. Hande、竹本佳司.
4. 第 40 回複素環化学討論会(仙台)平成 22 年 10 月 14-16 日、パラジウム触媒によるシリルアミド化を鍵反応としたスピロオキシインドール骨格合成法の開発、○塚野千尋・Sudhir M. Hande・上崎春陽・中島基之・竹本佳司
5. The 11th French-Japanese Symposium on Medicinal and Fine Chemistry, (Kyoto), May 9-12, 2010, Regioselective Access to 6- and 7-Membered Cyclic

17. 第38回複素環化学討論会(福山)平成20年11月21-23日、アルキンへの触媒的分子内ヒドロアミノ化反応を基盤とした天然物合成、○榎本太郎、小比賀真吾、安井義純、竹本佳司
18. 第28回有機合成若手セミナー(大阪)平成20年11月12日、複素環合成における金属触媒の利用、竹本佳司(招待講演)
19. 第58回日本薬学会近畿支部大会(神戸)平成20年10月25日、クロロギ酸アミドの分子内Heck型反応を鍵とするAspidosperma型インドールアルカロイド類のエナンチオ選択的合成法の開発、安井義純、○竹田寛、竹本佳司
20. 第58回日本薬学会近畿支部大会(神戸)平成20年10月25日、Friedel-Crafts反応による α 、 β -不飽和ラクタムの合成 安井義純、○柿木原一成、竹田寛、竹本佳司
21. 第93回有機合成シンポジウム(東京)平成20年6月12-13日、パラジウム触媒を用いたオレフィンの分子内シアノアミド化反応による α 、 α -二置換ラクタムの合成、安井義純、○上崎春陽、竹本佳司
22. 第6回次世代を担う有機化学シンポジウム(東京)平成20年5月30-31日、パラジウム触媒によるオレフィンの分子内シアノアミド化反応、○安井義純、上崎春陽、竹田寛、竹本佳司
23. Third International Conference on Asymmetric Organocatalysis (Otsu) May 26-27, 2008, Synthesis of α , α -Disubstituted Lactams through Pd-Catalyzed Intramolecular Cyanoamidation, Yoshizumi Yasui, ○Haruhi Kamisaki, Yoshiji Takemoto
24. 日本薬学会第128年会(横浜)平成20年3月26-28日、ギ酸アミド誘導体のHeck型反応の開発と、これを鍵とするインドールアルカロイドの合成研究、○安井義純、竹田寛、竹本佳司
25. 日本薬学会第128年会(横浜)平成20年3月26-28日、エナンチオ選択的シアノアミド化反応による α 、 α -二置換ラクタムの合成、安井義純、○上崎春陽、竹本佳司
26. 日本薬学会第128年会(横浜)平成20年3月26-28日、アルキンへの分子内ヒドロアミノ化反応の開発とイソキノリン誘導体の合成、○榎本太郎、小比賀真吾、安井義純、竹本佳司
27. 第33回反応と合成の進歩シンポジウム(長崎)、平成19年11月5-6日、(-)-Renieramycin Gの合成研究、○小比賀真吾、榎本太郎、安井義純、竹本佳司
28. 第57回日本薬学会近畿支部大会(大阪)、平成19年10月27日、クロロギ酸アミドの分子内Heck型反応を鍵とするテルペノイドインドールアルカロイド類の合成研究、安井義純、○竹田寛、竹本佳司
29. 第57回日本薬学会近畿支部大会(大阪)、平成19年10月27日、パラジウム-キラルモノホスホラス触媒によるエナンチオ選択的分子内シアノアミド化反応の開発、安井義純、○上崎春陽、竹本佳司
30. 14th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis [OMCOS-14] (Nara), August 2-6, 2007, Palladium -Catalyzed Intramolecular Cyanoamidation, ○Yoshizumi Yasui, Yusuke Kobayashi, Haruhi Kamisaki, Hiroshi Takeda, Reiko Yanada, and Yoshiji Takemoto
31. 21st International Congress for Heterocyclic Chemistry [IHC-21] (Sydney, Australia) July 15-20, 2007, Efficient Synthesis of 1,3-Disubstituted 1,2-Dihydroisoquinolines by Carbophilic Lewis Acid -Catalyzed Tandem Nucleophilic Addition and Cyclization of *ortho*-Alkynylarylaldimines, ○Shingo Obika, Hideki Kono, Yoshizumi Yasui, Reiko Yanada, Yoshiji Takemoto
32. 日本ケミカルバイオロジー研究会第2回年会(京都)平成19年5月9-10日、Development of Transition-Metal-Catalyzed Lactam Forming Reaction, ○Yoshiji Takemoto, Yoshizumi Yasui, Yusuke Kobayashi, Haruhi Kamisaki, Reiko Yanada

〔図書〕(計3件)

1. Takemoto, Y.; Miyabe, H., John Wiley, Asymmetric Carbon-Heteroatom Bond-Forming Reactions; Catalytic Asymmetric Synthesis, 3rd ed., 2010, pp 227-267.
2. 竹本佳司, 化学同人, 「Esermethole」, 天然物の全合成, 2009, p 66.
3. 竹本佳司、猪熊翼、化学同人、チオ尿素型触媒の開発(第6章): 化学フロンティア 21「進化を続ける有機触媒」(丸岡啓二編集), 2009, pp 75-86.

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

(1)

名称: 複素環骨格を有する化合物および該

化合物を不斉触媒として用いる光

学活性化合物の製造方法

発明者: 竹本佳司, 村上和夫

権利者: 国立大学法人京都大学、

住友化学株式会社

種類: 特許

番号: PTC JP2010/056463

出願年月日: 2010年4月9日

国内外の別：国際

(2)

名称：複素環骨格を有する化合物および該化合物を不斉触媒として用いる光学活性化合物の製造方法

発明者：竹本佳司, 村上和夫

権利者：国立大学法人京都大学、
住友化学株式会社

種類：特許

番号：特願 2009-096449

出願年月日：2009 年 4 月 10 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.pharm.kyoto-u.ac.jp/orgchem/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹本 佳司 (TAKEMOTO YOSHIJI)
京都大学・薬学研究科・教授
研究者番号：20227060

(2) 研究分担者

安井 義純 (YASUI YOSHIZUMI)
神奈川県立保健福祉大学・
保健福祉学部・講師
研究者番号：10432410

(平成 19 年度～平成 20 年度：研究分担者)

(3) 連携研究者

研究者番号：