

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月22日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23655078

研究課題名（和文） 光励起を基軸とする新立体化学の制御

研究課題名（英文） Novel Control of Stereochemistry Using Photo Irradiation

研究代表者

荒井 孝義 (ARAI TAKAYOSHI)

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80272483

研究成果の概要（和文）：

本研究では、研究代表者が開発に成功している触媒的不斉合成と光化学を融合することで、従来法では得られない新規な立体ならびに分子骨格を有する特徴ある化合物を創出することを目指した。例えば、インドールとニトロアルケンならびにアルデヒドを基質に用いる Friedel-Crafts/Henry 反応において *trans*-ニトロアルケンの *cis*-ニトロアルケンへの光異性化と組み合わせることで、従来の熱反応では得られない新規な立体を有する化合物を得ることに成功した。本手法は、ニトロアルケンとイミノエステルの[3+2]環化付加反応にも適用可能であり、その一般性を示すことができた。さらに、金属近傍にプロトンをもつ錯体触媒を用い、光励起によりその活性が影響されることを見出し、錯体触媒科学の光制御に有用な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：

In this project, the metal complex-catalyzed asymmetric reactions were combined with photo-irradiation for supplying novel chiral compounds. For an example, the Friedel-Crafts/Henry reaction of indoles, nitroalkenes, and aldehydes, gave the three components coupling compounds having new contiguous stereogenic centers by the combination use of photo-isomerization of *trans*-nitroalkenes to the *cis*-nitroalkenes. The method was also applicable to the [3+2]-cycloaddition of nitroalkenes with iminoesters. Moreover, the photo-irradiation was effective for controlling the activities of metal-proton cooperative catalyst.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・合成化学

キーワード：触媒・化学プロセス、光反応、不斉合成・反応、錯体化学、合成化学

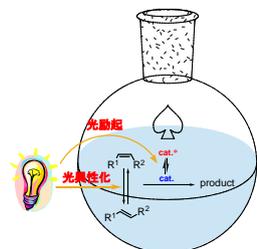
1. 研究開始当初の背景

医薬などの生理活性物質の創出のために、高度に官能基化された化合物を自在に合成することは、現代精密有機化学の目標である。一方で、21世紀の資源枯渇の問題に直面して、有機化学には今まで以上に効率的で環境調和型な反応プロセスの確立が求められている。エナンチオ選択的な反応の場合には、触媒のキラリティーを反転させることで、右

手・左手どちらの成績体も得ることができる。一方、ジアステロ選択的な反応の場合には、大きく異なったエネルギーの遷移状態を作り出す必要があり、触媒のみの構造変化で自在にジアステロ選択性を変えることは困難である。従来の手法では達成できない遷移状態を生み出し反応させることで、分子構造的にも新規な生成物を得る新しい合成手法の確立が求められている。

2. 研究の目的

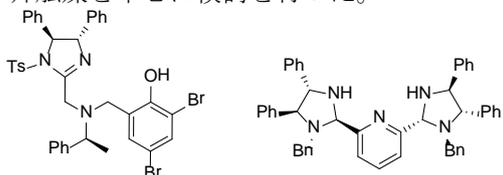
光エネルギーは、熱反応では得られない特異な励起状態を獲得するために極めて魅力的である。本研究では、申請者が専門とする触媒的不斉合成を中心とする反応開発と光化学を融合することで、従来法では得られない、新規な立体ならびに分子骨格を有する特徴ある化合物の創出し、学術的にも斬新な有機合成化学の新手法を開拓する。



3. 研究の方法

光エネルギーを駆動力とする新規触媒反応を達成するために、基質の光異性化(光平衡)を触媒反応に組み入れたワンポットで効率的な高度に官能基化された化合物の新規触媒的合成手法を開発する。また、遷移金属錯体を中心として、錯体の光励起を基軸とする触媒活性の創製と制御を行う。これらの研究を推進するためにフローリアクター技術を導入し、実用性に優れた触媒反応プロセスとして確立する。

具体的に、本研究では代表者が独自に開発を進めてきた図1に示す配位子を用いる金属不斉触媒を中心に検討を行った。



Imidazoline-aminophenol (IAP) (Bisimidazolidine)pyridine (PyBidine)

図1 本研究で用いた配位子

4. 研究成果

基質の光異性化(光平衡)を触媒反応に組み入れたワンポットで効率的な新規触媒的合成手法の確立から研究を開始した。例えば、独自に開発したイミダゾリン-アミノフェノール-銅触媒を用いる世界初のFriedel-Crafts/Henry反応(図2、上図)では、インドールと *trans*-ニトロアルケンならびにアルデヒドとの三成分連結反応において、(*R,R,R*)の立体を有する化合物を得ることに成功している(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 4989-4992)。この反応に、*trans*-ニトロアルケンに *cis*-ニトロアルケンへ異性化させる光反応と組み合わせることで、(*S,R,R*)の立体を有する生成物を得ることに成功した(図2、下図)。この生成物は、従来の手法で得ることはできない特異な立体

を有する化合物である。

Friedel-Crafts/Henry (FCH)

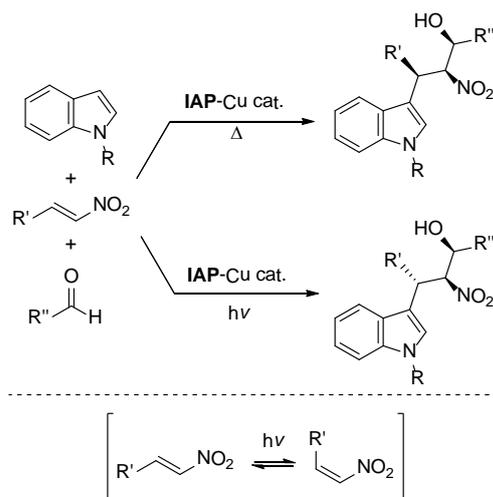


図2 Friedel-Crafts/Henry(FCH)反応による三連続不斉中心の自在制御

その他に、申請者が実績を有しているMichael/aldol反応やDiels-Alder反応等、共役π電子系の反応基質を中心に本手法の一般性を検証し、ビスイミダゾリジンピリジン(PyBidine)-金属不斉触媒を用いるニトロアルケンとイミノエステルの[3+2]-環化付加反応にも有用であることも見出した。

これら一連の研究によって、スピロキシンドールや非対称ビスインドール化合物など従来にない新規な化合物の触媒的不斉合成法の確立に成功した(図3)。

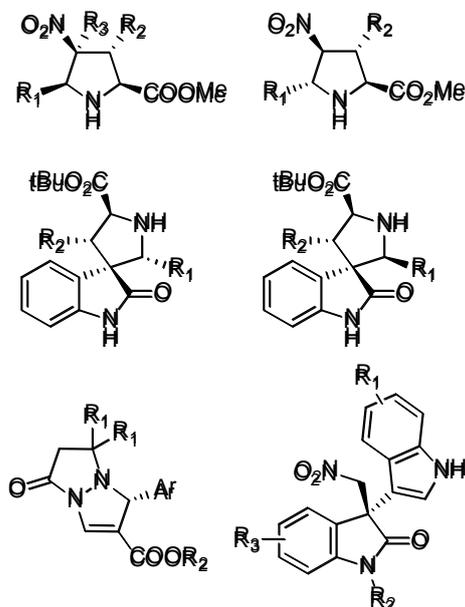


図3 新規含窒素ヘテロ環化合物の触媒的不斉合成

特に、今回の研究で創出した非対称ビスインドール化合物からは、Wntシグナリング阻害

活性を有するものが見いだされたことは、想定以上の成果である。さらに、ニッケル触媒による α 、 β -不飽和カルボニル化合物へのトリメチルシリルシアニドの付加反応の開発についても光励起による影響を検証した。この反応は、*cis*-エノンを用いると速やかに反応が進行し、高収率で目的化合物が得られるが、*trans*-エノンの場合には反応が進行しないことが分かっていた。反応基質のエノンとニッケル錯体を混合すると可視領域に強い吸収をもって赤色を呈することから、該当波長の光をもって励起することで *cis*-エノンに光異性化を行い、効率性の良い触媒反応として確立することができた。しかし、*cis*;*trans*-体間の異性化が存在しない環状エノンにおいても光照射によって触媒活性は影響を受け、基質の異性化に加え、錯体触媒の励起も示唆された。

さて、イミダゾリンアミノフェノール(IAP)-金属触媒はこれまで不明であったが、今回の研究の推進により、X線結晶構造解析により解明することに成功し、ニッケル-フェノキシド錯体であることを明らかにした。本研究で検討したいくつかの反応では、IAP-金属不斉錯体が塩基触媒として機能していることが判明している。ニッケル-フェノキシドが塩基性を担う場合、基質からプロトンを引き抜くことで反応活性種を与える一方、ニッケル-フェノール錯体となる。光励起は、このフェノール性プロトンの酸性度に影響を与えていると考えられる。このことは、ビスイミダゾリンピリジン(PyBidine)-金属不斉触媒においても同様である。イミダゾリン-金属錯体では、イミダゾリンの2級アミンが、窒素上のプロトンを維持して金属に配位している事が明らかになり、金属中心による反応活性種の発生に加え、金属近傍に位置するプロトンが基質の活性化や配向性を制御している機構を見いだすことができた。本イミダゾリン-金属錯体においては、光励起は金属元素の励起による酸化-還元電位の変化に加え、プロトンの酸性度にも複合的に影響を及ぼしているものと考えられる。

今回の挑戦的萌芽研究の推進により、金属不斉触媒反応と光科学を融合することにより、新規な生物活性が期待できる含窒素ヘテロ環化合物の新立体化学制御に成功した。また、金属錯体の光励起によって触媒活性を制御できる可能性を見出した。これらは、触媒化学の進展に有用な知見となるものである。

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 10 件)

(1) Arai, T.; Y. Yamamoto; Awata, A.; Kamiya,

- K.; Ishibashi, M.; Arai, M. A. Catalytic Asymmetric Synthesis of Mixed 3,3'-Bisindoles and Their Evaluation as Wnt Signaling Inhibitors. *Angew. Chem. Int. Ed.* 査読有, **2013**, *52*, 2486-2490. [DOI: 10.1002/anie.201208918]
- (2) Arai, T.; Oka, I.; Morihata, T.; Awata, A.; H. Masu. A Neutral, Chiral, Bis(imidazolidine)-derived NCN-type Palladium Pincer Complex Demonstrating Catalyst Activity. *Chem. Eur. J.* 査読有, **2013**, *19*, 1554-1557.[DOI: 10.1002/chem.201204017]
- (3) Awata, A.; Arai, T. Catalytic Asymmetric Cyclopropanation with Diazooxindole. *Synlett* 査読有, **2013**, *24*, 29-32.[DOI: 10.1055/s-0032-1317746]
- (4) Arai, T.; Mishiro, A.; Matsumura, E.; Awata, A.; Shirasugi, M. *syn*-Selective Asymmetric Mannich Reaction of Sulfonyl Imines with Iminoesters Catalyzed by the *N,N,N*-Tridentate PyBidine-Cu(OTf)₂ Complex. *Chem. Eur. J.* 査読有, **2012**, *18*, 11219-11222.[DOI:10.1002/chem.201201537]
- (5) Awata, A.; Arai, T. Catalytic Asymmetric Exo'-selective [3+2] Cycloaddition for Constructing Stereochemically Diversified Spiro[pyrrolidin-3,3'-oxindoles. *Chem. Eur. J.* 査読有, **2012**, *18*, 8278-8282.[DOI: 10.1002/chem.201201249]
- (6) Arai, T.; Ogino, Y. Chiral Bis(Imidazolidine)Pyridine-Cu Complex-Catalyzed Enantioselective [3+2]-Cycloaddition of Azomethine Imines with Propiolates. *Molecules*, 査読有, **2012**, *17*, 6170-6178.[DOI: 10.3390/molecules17056170]
- (7) Arai, T.; Kawasaki, N.; Kanoh, H. Magnetically Separable Cu-carboxylate MOF Catalyst for Henry Reaction. *Synlett*. 査読有, **2012**, 1549-1553.[DOI: 10.1055/s-0031-1290935]
- (8) Arai, T.; Sakagami, K. Asymmetric Banzoylation of *meso*-Hydrobenzoin Using a Reusable Tripodal Imidazoline-Pyridine-Cu Catalyst. *Eur. J. Org. Chem.* 査読有, **2012**, 1097-1100.[DOI: 10.1002/ejoc.201101722]
- (9) Arai, T.; Awata, A.; Wasai, M.; Yokoyama, N.; Masu, H. Catalytic Asymmetric Friedel-Crafts/Protonation of Nitroalkenes and *N*-Heteroaromatics. *J. Org. Chem.* 査読有, **2011**, *76*, 5450-5456. [DOI: 10.1021/jo200546a]
- (10) Arai, T.; Wasai, M.; Yokoyama, N. Easy Access to Fully Functionalized Chiral

Tetrahydro- β -Carboline Alkaloids. *J. Org. Chem.* 査読有, **2011**, 76, 2909-2912. [DOI: 10.1021/jo1025833]

[学会発表] (計 32 件)

- (1) 日本化学会第93春季年会 (平成25年3月22-25日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス) 新規光学活性PyBodine-金属不斉触媒の開発と不斉反応への応用、佐藤透、荻野雄大、荒井孝義
- (2) 日本化学会第93春季年会 (平成25年3月22-25日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス) 光学活性ビスオキサゾリジンピリジン(PyBodine)-銅錯体を用いるアゾメチンイミンとアルキンのエナンチオ選択的[3+2]環化付加反応、荻野雄大、佐藤透、荒井孝義
- (3) 日本化学会第93春季年会 (平成25年3月22-25日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス) ビナフチル骨格とキラルなジアミンからなる新規光学活性亜鉛触媒を用いる不斉ヨードラクトン化反応、杉山典幸、荒井孝義
- (4) 日本化学会第93春季年会 (平成25年3月22-25日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス) 光学活性イミダゾリン-アミノフェノール-金属触媒を用いる3-インドリルオキシインドールの1,4-付加反応の開発、阿波田篤子、山本悠史、荒井孝義
- (5) 日本化学会第93春季年会 (平成25年3月22-25日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス) 光学活性イミダゾリン-アミノフェノール(IAP)-ニッケル錯体を用いるタンデム触媒的不斉マイケル-ヘンリー反応、山本悠史、荒井孝義
- (6) 第1回千葉大学キラリティーネットワーク研究会講演会 (平成25年3月5日、千葉大学) 不斉触媒の探索から設計: 多連続不斉中心の自在制御による新規3次元ケミカルスペースの構築、荒井孝義
- (7) The 4th Symposium on Chiral Science & Technology (平成25年3月1日、早稲田大学)、新規ケミカルスペースの構築を指向する不斉触媒の探索と設計、荒井孝義 (招待講演)
- (8) The 7th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-7)/The 3rd New Phase International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (NICCEOCA-3) (平成24年12月11-14日、Singapore) Catalytic Asymmetric Construction of Stereochemically Diversified Pyrrolidines, Takayoshi Arai, Atsuko Awata
- (9) 第64回有機合成協会関東支部シンポジウム-新潟(長岡) シンポジウム-平成24年12月1-2日、長岡技術科学大学) 光学活性三座窒素配位子-銅錯体を用いるアゾメチンイミンとアルキンの触媒的不斉[3+2]環化付加反応、荻野雄大、佐藤透、荒井孝義
- (10) The Twelfth International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (平成24年11月12-16日、Rihga Royal Hotel Kyoto, Kyoto) Catalytic Asymmetric [3+2] Cycloaddition of Mrthyleneindolinones with Iminoesters for Stereochemically Diversified Spiro[pyrrolidin-3,3'-oxindole]s, Takayoshi Arai, Atsuko Awata
- (11) 第102回有機合成シンポジウム (平成24年11月8-9日、早稲田大学) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン-金属触媒を用いる不斉求核付加反応、白杉繭、松村恵理、三代亜沙美、荒井孝義
- (12) Cambodian Malaysian Chemical Conference(CMCC)(平成24年10月19-21日、Siem Reap, Cambodia) Design and Synthesis of Chiral Pyridyl Bis(imidazolidine) Ligand (PyBidine) for Asymmetric Catalysis, Takayoshi Arai (Invited)
- (13) 17th Malaysian Chemical Congress (17MCC) (平成24年10月15-17日、KualaLumpur, Malaysia) Discovery of Chiral Imidazoline-aminophenol-metal Catalyst for Constructing Multiple Stereogenic Centers, Takayoshi Arai (Invited)
- (14) 第15回ヨウ素学会シンポジウム (平成24年9月11日、千葉大学) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン-金属錯体を触媒として用いた不斉ヨードラクトン化、梶川智史、荒井孝義
- (15) XXV International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC XXV) (平成24年9月2-7日、Lisbon, Portugal) Catalytic Asymmetric Exo'-Selective [3+2] Cycloaddition of Iminoesters Using Imidazoline-Aminophenol-Ni(II) Complex, Takayoshi Arai, Atsuko Awata, Naota Yokoyama
- (16) 第101回有機合成シンポジウム (平成24年6月6-7日、慶応義塾大学薬学部) 光学活性イミダゾリン-アミノフェノール-ニッケル触媒を用いたピロリジニル-スピロオキシインドールの触媒的不斉合成、阿波田篤子、荒井孝義
- (17) 第63回有機合成化学協会関東支部シンポジウム (平成24年5月19日、東京理科大学野田キャンパス) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン配位子(PyBidine)

- を用いた不斉 *aza*-Henry 反応、松村恵理、白杉繭、荒井孝義
- (18) 第 63 回有機合成化学協会関東支部シンポジウム (平成 24 年 5 月 19 日、東京理科大学野田キャンパス) 第 2 級アミノ基を有する新規光学活性ジアミン銅触媒を用いる不斉 Henry 反応、常光研徳、荒井孝義
- (19) 第 63 回有機合成化学協会関東支部シンポジウム (平成 24 年 5 月 19 日、東京理科大学野田キャンパス) ビナフチル骨格を有する光学活性イミダゾリジン配位子の開発と触媒的不斉反応への応用、杉山典幸、荒井孝義
- (20) 日本化学会第 92 春季年会 (平成 24 年 3 月 25-28 日、慶應義塾大学) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン(PyBidine)-コバルト錯体を用いるマロネートのニトロアルケンへのジアステレオ選択的不斉マイケル付加反応、白杉繭、三代亜沙美、荒井孝義
- (21) 日本化学会第 92 春季年会 (平成 24 年 3 月 25-28 日、慶應義塾大学) C2 対称光学活性ビスイミダゾリジンピリジン(PyBidine)-ニッケル錯体を用いる不斉ヨードラクトン化反応、梶川智史、荒井孝義
- (22) 日本化学会第 92 春季年会 (平成 24 年 3 月 25-28 日、慶應義塾大学) イサチン由来のニトロアルケンを用いるインドールの不斉 Friedel-Crafts 反応、山本悠史、阿波田篤子、荒井孝義
- (23) 日本化学会第 92 春季年会 (平成 24 年 3 月 25-28 日、慶應義塾大学) *exo'*-選択的触媒的不斉[3+2]環化付加反応によるピロリジニルスピロキシインドールの合成、阿波田篤子、山本悠史、荒井孝義
- (24) 日本化学会第 92 春季年会 (平成 24 年 3 月 25-28 日、慶應義塾大学) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン(PyBidine)-銅錯体を用いるアゾメチンイミンとアルキンのエナンチオ選択的[3+2]環化付加反応、荻野雄大、三代亜沙美、荒井孝義
- (25) 有機金属部会平成 23 年度第 4 回例会 (平成 24 年 1 月 30 日、大阪科学技術センター) コンビナトリアルケミストリーを用いる不斉触媒の開発、荒井孝義 (依頼講演)
- (26) The 6th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-6)/The 2nd New Phase International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (NICCEOCA-2), (11-15 Dec. 2011, Hong Kong), Construction of Multiple Stereogenic Centers on Indoles and Pyrroles, Takayoshi Arai, Atsuko Awata, Makiko Wasai, Naota Yokoyama, Satomi Oyama, and Hiromichi Fujino
- (27) 8th AFMC International Medicinal Chemistry Symposium "Frontier of Medicinal Science" (AIMECS 11)(29 Nov.-2 Dec. 2011, KeioPlaza Hotel, Tokyo) Chiral Artificial Indole and Pyrrole Alkaloids: Catalytic Synthesis and Biological Activity, Atsuko Awata, Makiko Wasai, Satomi Oyama, Hiromichi Fujino, and Takayoshi Arai
- (28) 第 14 回 ヨウ素学会シンポジウム-ヨウ素発見 200 年記念- (平成 23 年 11 月 18 日、千葉大学けやき会館) α , β -不飽和イノンのヨウ素化: ヨードエノン化合物の構造と機能、渡邊陽太、星野勝義、荒井孝義
- (29) 第 100 回 有機合成シンポジウム (平成 23 年 11 月 10-11 日、早稲田大学国際会議場) 光学活性ビスイミダゾリジンピリジン-金属触媒の開発、岡以気代、白杉繭、三代亜沙美、荒井孝義
- (30) 14th Asian Chemical Congress 2011(5-8 September 2011, Bangkok, Thailand) From Exploration to Design: Chiral Imidazoline- or Imidazolidine-consisting Ligands for Asymmetric Catalysis, Takayoshi Arai (Invited Lecture)
- (31) The 16th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS 16) (24-28 July 2011, Shanghai) Catalytic Asymmetric endo- and *exo'*-Selective [3+2] Cycloaddition of Iminoesters with Nitroalkenes, Takayoshi Arai, Asami Michiro, Naota Yokoyama, Atsuko Awata, and Mayu Shirasugi
- (32) 第 61 回 有機合成化学協会関東支部シンポジウム (千葉大シンポジウム) (平成 23 年 6 月 22 日、千葉大学西千葉キャンパス) ニトロアルケンと含窒素ヘテロ環との触媒的不斉 Friedel-Crafts/Protonation の開発、阿波田篤子、和才真希子、横山直太、荒井孝義

〔図書〕 (計 6 件)

- (1) 荒井孝義 「第 1 節 不斉触媒の多連続不斉中心の立体制御、反応の最適化」 第 1 章 不斉合成に向けた新しい触媒設計 事例触媒の設計・反応制御 事例集 【ISBN978-4-86104-478-6】 , 技術情報協会, 2013, 675-688.
- (2) 荒井孝義 「コンビナトリアルケミストリ

- 一を用いる金属不斉触媒の探索と設計」
Organometallic News, **2012**, 82-88.
- (3) 荒井孝義「固相反応の円偏光二色性検出を用いる不斉触媒の迅速探索システム」
Jasco Report, **2012**, 54(2), 1-11.
- (4) 荒井孝義「新規不斉触媒の探索と設計：イミダゾリンアミノフェノール(IAP)とビスイミダゾリジンピリジン(PyBidine)の開発」*TCIメール*, **2012**, 7(154), 2-17.
- (5) 荒井孝義「医薬などの機能性材料の開発を指向する光学活性含窒素ヘテロ環化合物の合成」*化学工業*, **2012**, 63(5), 382-389.
- (6) 荒井孝義「17章 ヨウ素化合物の触媒的合成法」ヨウ素の化学と最新応用技術(横山正孝 監修)シーエムシー出版, 2011, 162-172【ISBN978-4-7813-0435-9】

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 8 件)

名称：光学活性チオクロマン誘導体とその製造方法
発明者：荒井孝義、山本悠史
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2013-044110 号
出願年月日：平成 25 年 3 月 6 日
国内外の別：国内

名称：光学活性スピロシクロプロピルオキシインドール誘導体及びその製造方法
発明者：荒井孝義、阿波田篤子
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2013-034204 号
出願年月日：平成 25 年 2 月 25 日
国内外の別：国内

名称：非対象光学活性ビスインドール化合物及びその塩のすくなくともいずれかを用いて Wnt シグナル伝達を阻害する方法及びそれを有効成分として含む Wnt シグナル伝達阻害剤
発明者：荒井孝義、荒井緑、石橋正己、山本悠史、神谷健太郎、阿波田篤子
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2013-032667 号
出願年月日：平成 25 年 2 月 21 日
国内外の別：国内

名称：ビスオキサゾリジン配位子およびそれを用いた触媒
発明者：荒井孝義、住友透、荻野雄大
権利者：千葉大学
種類：特許

番号：特願 2012-263878 号
出願年月日：平成 24 年 11 月 30 日
国内外の別：国内

名称：光学活性 γ -ジシアノニトロ化合物とその製造方法
発明者：荒井孝義、岡以気代
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2012-009298 号
出願年月日：平成 24 年 1 月 19 日
国内外の別：国内

名称：インドール誘導体とその製造方法
発明者：荒井孝義、山本悠史、阿波田篤子
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2012-003905 号
出願年月日：平成 24 年 1 月 12 日
国内外の別：国内

名称：ピロリジニルースピロオキシインドール誘導体及びその製造方法
発明者：荒井孝義、阿波田篤子
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2012-002906 号
出願年月日：平成 24 年 1 月 11 日
国内外の別：国内

名称：ビスイミダゾリジンピンサー型錯体、及び、ビスイミダゾリジンピンサー型錯体並びにそれらの製造方法
発明者：荒井孝義、岡以気代
権利者：千葉大学
種類：特許
番号：特願 2011-290447 号
出願年月日：平成 23 年 12 月 29 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等
<http://synthesis.chem.chiba-u.jp/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒井 孝義 (ARAI TAKAYOSHI)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：80272483