

平成23年 4月 1日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18065007

研究課題名（和文）多機能分子触媒の創成と実用触媒反応の開発

研究課題名（英文）Development of Concerto Molecular Catalysts for Practical Catalysis

研究代表者

碓屋 隆雄 (IKARIYA TAKAO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：30107552

研究成果の概要（和文）：

金属-配位子の協奏効果に基づき開発した協奏機能分子触媒による不飽和化合物の不斉水素化反応および不斉炭素-窒素、炭素-炭素結合形成反応の開発に成功した。さらに、協奏機能触媒分子の構造修飾により実用的水素化触媒の開発に成功し、これまで水素化されにくかった極性官能基の水素化が立体および化学選択的に進行することを見いだした。また、単核の協奏機能触媒の概念を二核協奏機能分子触媒に展開できることを実証し、酵素類似機能への展開の可能性を提示できた。加えて協奏機能触媒の概念を活用して、二酸化炭素の有用化合物への固定化反応の開発にも成功した。

研究成果の概要（英文）：

Thanks to conceptually new bifunctional molecular catalysts based on Metal-ligand cooperating effect, we could successfully develop highly efficient asymmetric hydrogenation of polar functionalities which cannot easily hydrogenated by conventional homogeneous catalysts, aerobic oxidation of alcohols in which O<sub>2</sub> serves as an excellent hydrogen acceptor, asymmetric C-N and C-C bond forming reactions. The concept of bifunctionality established in the mononuclear complex systems could be applied to bifunctional binuclear metal systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	31,200,000	0	31,200,000
2007年度	42,900,000	0	42,900,000
2008年度	31,200,000	0	31,200,000
2009年度	27,300,000	0	27,300,000
年度			
総計	132,600,000	0	132,600,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎科学、有機化学

キーワード：均一・不均一触媒、触媒・化学プロセス、有機工業化学、合成化学

## 1. 研究開始当初の背景

高度文明を維持しつつ地球環境負荷を極力低減するための「ものづくり」、すなわち、

必要なものだけを省資源省エネルギーで合成することは、社会の強い要請でもあり、これに応えるために、真に力量ある実用性に優

れた触媒開発が強く求められていた。本研究において、既存の触媒設計の概念にとらわれず、新たな概念に基づく分子触媒設計の指針の提示と実証することが必須であるとの認識に立ち研究を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究代表者らがこれまで開拓してきた金属-NH 結合に由来する酸塩基複合効果に基づいて作用する遷移金属錯体を基盤とする多機能触媒を用いる新たな触媒反応化学の確立をめざす。具体的に、(1) 酸塩基複合効果を基盤とする協奏機能分子触媒の機能拡張と一般性の検証と、これを用いた還元反応を含む実用的炭素-炭素、炭素-窒素、炭素-酸素結合形成反応を開発して、不斉多機能触媒反応の概念の確立、(2) 多機能触媒系による水やメタンなどの単純分子の活性化と不飽和化合物の触媒的水和反応や炭化水素と二酸化炭素との付加反応による触媒的カルボキシル化など新規固定化反応の開発、(3) 上記課題で開発した機能性触媒の効率化を実現するために、超臨界流体化学との融合を図り、革新的な協奏機能分子触媒化学の確立をめざす。

## 3. 研究の方法

以下の3つの課題を解決することで研究目的の実現を目指し、集中的に研究推進することとした。すなわち、

### (1) 酸/塩基複合効果を有する協奏機能分子触媒による革新的な炭素-炭素結合形成反応の開発

キレート型のキラルアミン配位子を有する不斉金属錯体を基本骨格とする協奏機能分子触媒を用いる炭素-炭素結合形成反応の範囲を合成化学的により有用な活性化オレフィン類等のマイケル受容体へと拡張して、一般性の高い触媒反応に仕上げる。さらに、イミン類とのマンニッヒ型反応やジアゾジカルボン酸エステルを受容体とする炭素-窒素結合形成反応を可能にして、アミノ酸の不斉合成反応を開拓する。

### (2) 協奏機能分子触媒系による水やメタンなどの単純分子の変換反応の開発

多機能アミド錯体の塩基性を利用して水やアルコールなどとの反応によって得られた知見をもとに、活性化されていないメタンなどの炭化水素の炭素-水素結合の活性化と二酸化炭素との反応の可能性を探索する。得られる有機金属化合物を触媒種とする触媒的水和反応や炭素-酸素結合形成反応を開発する。

### (3) 超臨界流体触媒反応化学の確立

二酸化炭素やメタンの固定化研究では、超臨界流体の特性を生かした多相系反応媒体中が有効であろう。とくに多機能分子触媒の特

徴である配位飽和錯体のルイス酸性機能を活用した二酸化炭素の活性化および金属-水素や金属-炭素だけでなく、金属-窒素結合への挿入反応などの基礎的な研究も合わせて行う。

## (4) 延長期間の研究

研究期間を延長して、新規不斉炭素-炭素結合形成反応の反応機構の全貌を明らかにするとともに、協奏機能触媒反応の概念の一般性を実証する。

## 4. 研究成果

金属/NH 結合の結合性に由来する酸塩基複合効果を基盤とする協奏機能分子触媒の概念の確立とともに、触媒構造修飾や中心金属の選択により触媒機能拡張と一般性の実証に成功した。具体的に、

### (1) 協奏機能分子触媒によるケトン類やイミン類の不斉還元反応

ケトン類やイミン類の実用性に優れた水素移動型不斉還元触媒である窒素上にトシル基をもつキラルジアミン (TsN-N) 錯体は、中性条件下では水素活性化能をもたないが、カチオン性錯体に修飾することで、ケトン、イミン類の水素化触媒として機能することがわかった。

### (2) 分子触媒構造と協奏機能の精密制御による実用的触媒反応の開発

ハーフサンドイッチ型キレートアミン N-N, P-N 型配位子を有する Cp\*ルテニウム錯体が、水素移動型還元と水素化の双方の触媒活性を有することが分かった。実際、環状酸イミドやアシルカーバメートに加えてエステルやアミド化合物などの難水素化化合物である極性不飽和化合物の触媒的水素化反応の開発に成功した。さらに、キラルアルコール類の高速ラセミ化や、ジオール類の位置選択的ラクトン化によるリグナン類の合成に応用展開した。また、アミンキレート配位子として C-N 配位子をもつヒドリド錯体が酸素を水素受容体とするアルコール類の酸素酸化触媒となることを見いだした。キラル触媒を用いると、ラセミアルコールの空気酸化による速度論分割が可能である。

### (3) 二核協奏機能分子触媒の機能開拓

金属/NH 結合部位に基づく協奏機能触媒の概念を、複数金属システムに展開した結果、スルホニルイミド架橋二核ロジウム錯体が水素分子およびアルコールの酸素酸化反応の触媒となることがわかった。ブレンステッド塩基性スルホニル酸素原子と、二核ロジウム中心の酸化還元と連動したヒドリド配位子の極性転換が鍵段階となっていることを明らかとした。

### (4) 二酸化炭素の有用化合物への固定化反応の開発

NHC カルベンの二酸化炭素活性化能を利用し

て二酸化炭素とプロパジアルアルコールやエポキシドとの反応による環状カーボネートの合成反応の開発に成功した。協奏機能触媒と超臨界二酸化炭素との融合による新たな反応開発の成功例である。

#### (5) 延長期間の研究結果

予算の繰り越しにより、23年度には、キラルジアミン (TsN-N) 錯体による不斉 Michael 反応の詳細な反応機構を詳細な NMR 研究と DFT 解析手法を駆使して解明に成功した。

#### 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 45 件)

(1) Mechanism of Enantioselective C-C Bond Formation with Bifunctional Chiral Ru Catalysts: NMR and DFT Study. Ilya D. Gridnev, Masahito Watanabe, Hui Wang, and Takao Ikariya, *J. Am. Chem. Soc.* 2010, 132, 16637-16650. 査読有

(2) Synthesis and Reactivity of 2-Aminoethanethiolato-Bridged Dinuclear Ru(hmb) Complexes (hmb =  $\eta^6$ -hexamethylbenzene): Mechanistic Consideration on Transfer Hydrogenation with Bifunctional [RuCl<sub>2</sub>(hmb)]<sub>2</sub>/2-Aminoethanethiol Catalyst System. Masato Ito, Akira Watanabe, Yuji Shibata, and Takao Ikariya, *Organometallics* 2010, 29, 4584-4592. 査読有

(3) Enantioselective and Z/E Selective Conjugate Addition of  $\alpha$ -Substituted Cyanoacetates to Acetylenic Esters Catalyzed by Bifunctional Ru and Ir Complexes. Yasuharu Hasegawa, Ilya D. Gridnev, Takao Ikariya, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010, 49, 8157-8160. 査読有

(4) Highly Enantioselective Hydrogenative Desymmetrization of Bicyclic Imides Leading to Multiply Functionalized Chiral Cyclic Compounds. Masato Ito, Chika Kobayashi, Akio Himizu, Takao Ikariya, *J. Am. Chem. Soc.* 2010, 132, 11414-11415. 査読有

(5) Synthesis, Structure, and Reversible Deprotonation of a Half-Sandwich Iridium Complex Bearing a Chelating Oxime Ligand. Megumi Watanabe, Yohei Kashiwame, Shigeki Kuwata, Takao Ikariya, *Chem. Lett.* 2010, 39, 758-759. 査読有

(6) Aerobic Oxidation with Bifunctional Molecular Catalysts. Takao Ikariya, Shigeki Kuwata, and Yoshihito Kayaki, *Pure Appl. Chem.* 2010, 82, 1471-1483. 査読有

(7) Asymmetric Hydrogenation of Ketones with Triflylamide-Tethered Cp\*Rh and Cp\*Ir Complexes. Yoshinori Endo, Noriko Tejima, Masato Ito, Takao Ikariya, *Organometallics* 2010, 29, 2397-2399. 査読有

(8) Asymmetric nitrile-hydration with bifunctional ruthenium catalysts bearing chiral *N*-sulfonyldiamine ligands. Shoko Kamezaki, Satoshi Akiyama, Yoshihito Kayaki, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Tetrahedron: Asymmetry* 2010, 21, 1169-1172. 査読有

(9) Synthesis and Structure of Protic Amine Tethered Rhodium(III) Peralkyl-cyclopentadienyl Complexes. Masato Ito, Noriko Tejima, Masahiro Yamamura, Yoshinori Endo, Takao Ikariya, *Organometallics* 2010, 29, 1886-1889. 査読有

(10) Amorphous nano-structured silicas for high-performance carbon dioxide confinement. Shinichiro Ichikawa, Tsunetake Seki, Mizuki Tada, Yasuhiro Iwasawa, and Takao Ikariya, *J. Mater. Chem.* 2010, 20, 3163-3165. 査読有

(11) Bifunctional Transition Metal-Based Molecular Catalysts for Asymmetric C-C and C-N Bond Formation. Takao Ikariya and Iriya D. Gridnev, *Topics in Catalysis*, 2010, 53, 894-901. 査読有

(12) Quest for Metal/NH Bifunctional Bioinspired Catalysis in Dinuclear Platform. Shigeki Kuwata and Takao Ikariya, *Dalton Trans.* 2010, 39 2984-2992. 査読有

(13) Metal-Pyrazole Bifunction in Half-Sandwich C-N Chelate Iridium Complexes: Pyrazole-Pyrazolato Inter-conversion and Application to Catalytic Intramolecular Hydroamination of Aminoalkene. Youhei Kashiwame, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Chem. Eur. J.* 2010, 16, 766-770. 査読有

(14) In Situ Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy of MCM-41 Mesoporous Silica: Mechanistic Consideration on the Chemical Fixation of CO<sub>2</sub> with *N,N'*-Dimethylethylenediamine to 1,3-Dimethyl-2-imidazolidinone.

Tsunetake Seki and Takao Ikariya, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2009, 11, 10073-10079. 査読有

(15) Palladium-catalyzed Carboxylative Cyclization of  $\alpha$ -Allenyl Amines in Dense Carbon Dioxide. Yoshihito Kayaki, Naoko Mori, and Takao Ikariya, *Tetrahedron Lett.* 2009, 50, 6491-6493. 査読有

- (16) N-Heterocyclic Carbenes As Efficient Organocatalysts for CO<sub>2</sub> Fixation Reactions. Yoshihito Kayaki, Masashi Yamamoto, Takao Ikariya, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009, 48, 4194-4197. 査読有
- (17) ( $\eta^6$ -arene)Ru<sup>II</sup>/Chiral SN Ligand: A Novel Bifunctional Catalyst System for Asymmetric Transfer Hydrogenation of Aromatic Ketones. Masato Ito, Yuji Shibata, A. Watanabe, Takao Ikariya, *Synlett.* 2009, 10, 1621-1626. 査読有
- (18) Synthesis of Parent Amido (NH<sub>2</sub>)-Bridged Dinuclear Complexes of Ruthenium and Iridium by Stepwise transfer Hydrogenation of m-Azido Complexes. Takashi Kimura, Hiroko Arita, K. Ishiwata, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Dalton Trans.* 2009, 2912-2914. 査読有
- (19) Hydrogen- and Oxygen-Driven Interconversion between Imido-Bridged Dirhodium(III) and Amido-Bridged Dirhodium(II) Complexes. Koji Ishiwata, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *J. Am. Chem. Soc.* 2009, 131, 5001-5009. 査読有
- (20) Bifunctional Transition Metal-Based Molecular Catalysts for Asymmetric C-C and C-N Bonds Formation. Takao Ikariya and Ilya. D. Gridnev, *Chemical Record*, 2009, 9, 106-123. 査読有
- (21) Hydrogenation of N-Acylcarbamates and -Sulfonamides Catalyzed by Bifunctional Cp\*Ru(PN) Complex. Masato Ito, Lee W. Koo, Akio Himizu, Chika Kobayashi, Ayaka Sakaguchi, and Takao Ikariya, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009, 48, 1324-1327. 査読有
- (22) Remarkable Positive Effect of Silver Salts on Asymmetric Hydrogenation of Acyclic Imines with Cp\*Ir Complexes Bearing Chiral N-Sulfonylated Diamine Ligands. Sinyou Shirai, H. Nara, Yoshihito Kayaki, and Takao Ikariya, *Organometallics* 2009, 28, 802-809. 査読有
- (23) A Convenient Method for the Synthesis of Protic 2-*tert*-Phosphino-1-Amines and Their Cp\*RuCl Complexes. Masato Ito, Akihide Osaku, Chika Kobayashi, Akira Shiibashi, and Takao Ikariya, *Organometallics* 2009, 28, 390-393. 査読有
- (24) Mesoporous silica-catalysed continuous chemical fixation of CO<sub>2</sub> with N,N'-dimethylethylenediamine in supercritical CO<sub>2</sub>: Efficient synthesis of 1,3-dimethyl-2-imidazolidinone. Tsunetake Seki, Yoshiaki Kokubo, Shinichiro Ichikawa, Tomoyuki Suzuki, Yoshihito Kayaki and Takao Ikariya, *Chem. Commun.* 2009, 349-351. 査読有
- (25) Synthesis and Structure of Novel ( $\eta^1:\eta^6$ -aminoalkylarene)Ru<sup>II</sup> Complexes. Masato Ito, H. Komatsu, Yoshinori Endo, and Takao Ikariya, *Chem. Lett.* 2009, 38, 98-99. 査読有
- (26) Well-Defined Triflylamide-Tethered Arene-Ru(Tsdpen) Complexes for Catalytic Asymmetric Hydrogenation of Ketones. Masato Ito, Yoshinori Endo, and Takao Ikariya, *Organometallics* 2008, 27, 6053-6055. 査読有
- (27) Utilization of N,N-Dialkylcarbamic Acid Derived from Secondary Amine and Supercritical Carbon Dioxide: Stereoselective Synthesis of Z Alkenyl Carbamates with a CO<sub>2</sub>-Soluble Ruthenium-P(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> Catalyst. Yoshihito Kayaki, T. Suzuki, and Takao Ikariya, *Chem. Asian J.* 2008, 3, 1865-1870. 査読有
- (28) Aerobic Oxidation of Alcohols with Bifunctional Transition-Metal Catalysts Bearing C-N Chelate Ligands. Sachiko Arita, Takashi Koike, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, *Chem. Asian J.* 2008, 3, 1479-1485. 査読有
- (29) Synthesis and Reactivities of Cp\*Ir Amide and Hydride Complexes Bearing C-N Chelate Ligands. S. Arita, T. Koike, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, *Organometallics* 2008, 27, 2795-2802. 査読有
- (30) Isolation and Interconversion of Protic N-Heterocyclic Carbene and Imidazolyl Complexes: Application to Catalytic Dehydrative Condensation of N-(2-Pyridyl)benzimidazole and Allyl Alcohol. Kenjiro Araki, Shigeki Kuwata, Takao Ikariya *Organometallics* 2008, 27, 2176-2178. 査読有
- (31) Acid-Base Bifunction and Umpolung of Bridging Hydride in Coordinatively Unsaturated Meslimido- and Hydrido-Bridged Diiridium Complex. H. Arita, Kouji Ishiwata, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Organometallics* 2008, 27, 493-496. 査読有
- (32) Enantioselective Direct Amination of  $\alpha$ -Cyanoacetates Catalyzed by Bifunctional Chiral Ru and Ir Amido Complexes. Y. Hasegawa, M. Watanabe, I. D. Gridnev, and Takao Ikariya, *J. Am. Chem. Soc.* 2008, 130, 2158-2159. 査読有
- (33) Aerobic Oxidative Kinetic Resolution of Racemic Secondary Alcohols with Chiral

Bifunctional Amido Complexes. Sachiko Arita, Takashi Koike, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2008, 47, 2447-2449 (VIP). 査読有

(34) Asymmetric transfer hydrogenation of ketones with bifunctional transition metal-based molecular catalysts. Takao Ikariya and A. John Blacker, *Acc. Chem. Res.* 2007, 40, 1300-1308. 査読有

(35) Silylenediamido  $[(CH_3)_2Si(NTs)_2]^{2-}$ ; Ts = *p*-CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>] Complexes of Iridium: Synthesis, Structures and Facile Si-N Bond Cleavage. Kouji Ishiwata, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Dalton Trans.* 2007, 3606-3608. 査読有

(36) Synthesis of Ruthenium(II) Complexes Containing Hydroxymethylphosphines and Their Catalytic Activities for Hydrogenation of Supercritical Carbon Dioxide. Yoshihito Kayaki, Y. Shimokawatoko, and Takao Ikariya, *Inorg. Chem.* 2007, 46, 5791-5797. 査読有

(37) Synthesis and Properties of Alkylruthenium Complexes Bearing Primary and Secondary Amine Ligands. Takashi Koike and Takao Ikariya, *J. Organometal. Chem.* 2007, 692, 408-419. 査読有

(38) An Efficient Oxidative Lactonization of 1,4-Diols Catalyzed by Cp\*Ru(PN) Complexes. Masato Ito, A. Osaku, A. Shiibashi, and Takao Ikariya, *Org. Lett.* 2007, 9, 1821-1824. 査読有

(39) Catalytic hydrogenation of polar organic functionalities based on Ru-mediated heterolytic dihydrogen cleavage. Masato Ito and Takao Ikariya, *Chem Commun.* 2007, 5134-5142. 査読有

(40) Chemoselective Hydrogenation of Imides Catalyzed by Cp\*Ru(PN) Complexes and Its Application to Asymmetric Synthesis of Paroxetine. Masato Ito, Ayaka Sakaguchi, Cika Kobayashi, and Takao Ikariya, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 290-291. 査読有

(41) Stereoselective Formation of  $\alpha$ -Alkylidene Cyclic Carbonates via Carboxylative Cyclization of Propargyl Alcohols in Supercritical Carbon Dioxide. Yoshihito Kayaki, Masashi Yamamoto, and Takao Ikariya, *J. Org. Chem.* 2007, 72, 647-649. 査読有

(42) A Sulfonylimido-Bridged Coordinatively Unsaturated Diiridium Complex: Intramolecular C-H Bond Activation Promoted by a Weak Acid. Koji Ishiwata, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Organometallics*, 2006, 25, 5847-5849. 査読有

(43) Synthesis and Reactivity of tris(7-azaindolyl)boratoruthenium Complex. Comparison with Poly(methimazolyl)borate Analogue. Tomoyuki Saito, Shigeki Kuwata, and Takao Ikariya, *Chem Lett.*, 2006, 35, 1224-1225. 査読有

(44) Carboxylative cyclization of propargylamines with supercritical carbon dioxide Yoshihito Kayaki, Masashi Yamamoto, Tomoyuki Suzuki and Takao Ikariya, *Green Chem.* 2006, 8, 1019-1021. 査読有

(45) Bifunctional transition metal-based molecular catalysts for asymmetric syntheses, Takao Ikariya, Kunihiko Murata, and Ryoji Noyori, *Org. Biomol. Chem.* 2006, 4, 393-406. 査読有

[学会発表] (計 15 件)

(1) Takao Ikariya Carbon Dioxide as a Greener Solvent and Reactant for Catalytic Reactions, Green Solvents Conference, Berchtesgarden, Germany, October 10-13, 2010

(2) Takao Ikariya Oxidative Transformation with Bifunctional Molecular Catalysts, Pre-symposium of XXXIV International Conference on Organometallic Chemistry, Taipei, TAIWAN, July18-23, 2010

(3) Takao Ikariya Recent Progress in Concerto Molecular Catalysis, Aerobic Oxidation of Alcohols with Bifunctional Molecular Catalysts, 14th Japan-Korea Joint Symposium on Organometallic and Coordination Chemistry, Nagoya, October, 8-10, 2009

(4) Takao Ikariya Recent Progress in Concerto Molecular Catalysis, International Symposium on Homogeneous and Heterogeneous Catalysis XIV, Stockholm, Sweden, September13-18, 2009.

(5) Takao Ikariya Concerto Molecular Catalysts for Reductive and Oxidative Transformation, 15th IUPAC Symposium On Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, Glasgow, Scotland, July26-31, 2009.

(6) Takao Ikariya Oxidative Transformation of Alcohols with Concerto Molecular Catalysts, Japan-UK Joint Symposium, Kyoto, December8-9, 2008.

(7) Takao Ikariya Recent Progress in Chiral Bifunctional Molecular Catalysis,

XXIII International Conference on Organometallic Chemistry, Rennes, France, July13-18, 2008.

(8) Takao Ikariya Chiral Bifunctional Molecular Catalysts for Reductive and Oxidative Transformation, International Symposium on Homogeneous Catalysis XVI, Florence, Italy, July6-11, 2008.

(9) Takao Ikariya Chiral Bifunctional Molecular Catalysts for Reductive and Oxidative Transformation, 5th Asian-European Symposium, Obernai, France, May25-28, 2008.

(10) Takao Ikariya Chemistry of Concerto Molecular Catalysis, Global COE in Chemistry Nagoya University, Nagoya, March 17, 2008.

(11) Takao Ikariya Chiral Bifunctional Transition Metal-Based Molecular Catalysts for Practical Reductive and Oxidative Transformation, Takasago Symposium 2007, Tokyo, November 16, 2007.

(12) Takao Ikariya Supercritical Fluids in Organic Chemistry, IUPAC workshop, Busan, Korea, September2-6, 2007.

(13) Takao Ikariya Supercritical Fluids as Greener Catalytic Media, 3rd International Conference on Green and Sustainable Chemistry, Delft, Netherlands, July1-5, 2007.

(14) Takao Ikariya Chiral Bifunctional Transition Metal-Based Molecular Catalysts for Reductive and Oxidative Transformation, 5th International Forum on Chemistry of Functional Organic Chemicals, Tokyo, November19-20, 2006.

(15) Takao Ikariya Bifunctional Chiral Molecular Catalysts for Asymmetric C-C Bond Formation, Japan-UK Lecture Series, Warwick, UK, March 14-22, 2006.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

(1) 名称 : エステル類およびラクトン類の実用的な還元方法

発明者 : 碓屋隆雄、伊藤正人、椎橋 彬、大塚隆史

権利者 : 同上

種類 : 特願2009

番号 : 061682

出願年月日 : 2009, 6, 26

国内外の別 : 国内

(2) 名称 : アミド類およびラクタム類の実用的な還元方法

発明者 : 碓屋隆雄、伊藤正人、大塚隆史

権利者 : 同上

種類 : 特願2008

番号 : 326114

出願年月日 : 2008, 12, 22

国内外の別 : 国内

○取得状況 (計0件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

碓屋 隆雄

東京工業大学

大学院理工学研究科 教授

研究者番号 : 30107552