

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24350079

研究課題名(和文) 二酸化炭素-ルイス塩基複合体による非縮合型カルボキシル化反応

研究課題名(英文) Non-condensation type carboxylation mediated by CO<sub>2</sub>-Lewis base adducts

研究代表者

榎木 啓人 (Kayaki, Yoshihito)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号：20572704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、二酸化炭素と塩基性分子が形成する付加体を活用する高効率な二酸化炭素付加型分子触媒系を設計した。その結果、N-ヘテロ環カルベン(NHC)由来のイミダゾリウム-2-カルボキシレートが、第三級アジリジンからの環状ウレタン合成に有効な有機触媒として作用することを見いだした。また、NHCが配位した金触媒によるプロパルギルアミンの環化カルボキシル化反応を開発するとともに、アレンルメチルアミンの環化カルボキシル化反応では、類似の銀触媒が有効であることを明らかにした。さらにその中間体モデルとしてアルケニル金錯体の合成に成功し、触媒反応機構を解明した。

研究成果の概要(英文)：We designed efficient molecular catalyst systems of CO<sub>2</sub>-addition reactions by utilization of CO<sub>2</sub> adducts formed from molecular bases. For example, imidazolium-2-carboxylates derived from N-heterocyclic carbenes and CO<sub>2</sub> can serve as effective organocatalysts for synthesis of five-membered cyclic urethanes from tertiary aziridines. We also developed the carboxylative cyclization of propargylamines catalyzed by NHC-gold complexes to yield a series of cyclic urethanes. For the cyclization of allenylmethylamines, the related NHC-silver complexes were found to be advantageous. These catalytic cycles were also supported by synthetic studies on alkenylgold complexes as the model intermediates.

研究分野：分子触媒化学 有機金属化学

キーワード：グリーンケミストリー 二酸化炭素固定 カルバミン酸 N-ヘテロ環カルベン ウレタン 金触媒 協  
奏機能触媒 付加反応



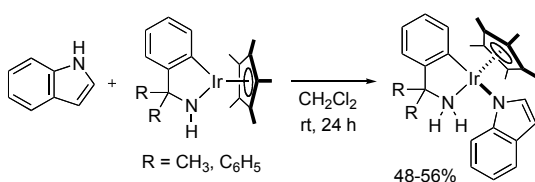
本触媒は、ハロゲンやオレフィン、エーテル、エステル、アセタール、ニトロ基などの官能基に対する許容性があり、二酸化炭素圧力 5.0 MPa、90 °C の条件下でアジリジン化合物から効率よく環状ウレタン化合物が得られた。使用した有機触媒 NHC-CO<sub>2</sub> はジエチルエーテルにより反応混合物から再沈殿により回収後、リサイクル使用が可能であり、環境調和性の高い合成プロセスを構築できることを明らかにした。また、触媒分子の構造—活性相関を考察し、本研究の重要な反応設計戦略である「二酸化炭素の求核的導入を鍵とする反応メカニズム」を裏付ける実験的結果が得られた。

広範囲なアジリジン基質に対して適用性を有すること、簡便な合成操作により触媒の使用量を抑えられる点が、本触媒系の特長であり、カルバミン酸類を生じない非プロトン性の三級アミンに対して、二酸化炭素ユニットの求核的導入により選択的なウレタン合成を達成した。

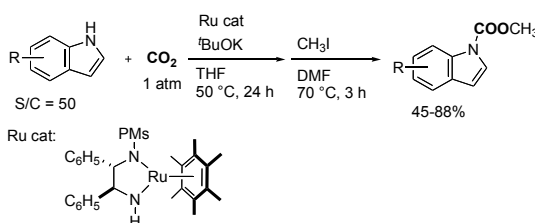
### プロトン応答性アミン/アミド型協奏機能触媒による二酸化炭素固定化反応

二酸化炭素—塩基複合体の形成を促進する手法の一つとして、金属と配位子が協働的にプロトン授受に参与する金属錯体触媒を活用し、低求核性アミンに対する二酸化炭素付加を検討した。特にプロ求核剤の活性化と触媒的求核付加反応で実績のあるアミン/アミド型協奏機能触媒に着目し、プロテックな芳香族アミンの活性化を図った。

その結果、ベンジリックアミンのシクロメタル化反応を経て誘導される 8 族および 9 族金属の C-N キレート協奏機能アミド錯体が NH インドール類の不均等開裂を促し、対応するインドリル錯体を与えることを見いだした。



さらに類縁のアミドルテニウム錯体を用いると、二酸化炭素を用いるインドールの N-カルボキシル化反応が触媒的に進行することを明らかにした。塩基としてカリウム t-ブトキシド存在下、1-インドールカルボン酸が選択的に得られた。

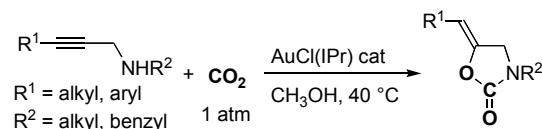


化学量論量のルイス酸等の添加を必要とする類似の反応系に比べ、温和な条件 (50 °C) でカルボキシル化生成物を与えた。二酸化炭

素下でのカルバミン酸生成が不利なアミン基質に対する二酸化炭素固定化に有効な触媒設計指針を示す結果である。

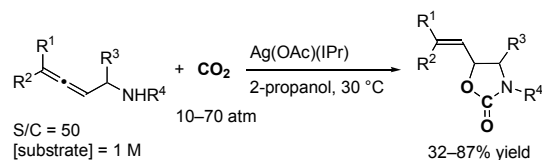
### NHC-金触媒によるプロパルギルアミンの環化カルボキシル化反応による触媒的環状ウレタン合成

NHC を配位子としてもつ金(I)錯体がプロパルギルアミンと二酸化炭素から生じるカルバミン酸の分子内付加 (環化カルボキシル化) 反応に有効な触媒であることを見いだした。本研究に先立って、超臨界二酸化炭素を反応媒体とすると無触媒で環状ウレタンが得られる場合があることを見いだしているが、この金触媒系では、(1) 常圧、室温付近の温和な条件で反応が進行すること、(2) 脂肪族内部アルキンや一級アミノ基をもつ基質も適用可能であり、広範なアミンから環状ウレタンを位置および立体選択的に得られること、(3) 一酸化炭素や水素などが混合しても触媒が失活せず、燃焼排ガスなどの混合ガス中の二酸化炭素を化学変換に利用できる可能性があることなどの優位性があることを明らかにした。



### NHC-銀触媒によるアミノメチルアレンの環化カルボキシル化反応による触媒的環状ウレタン合成

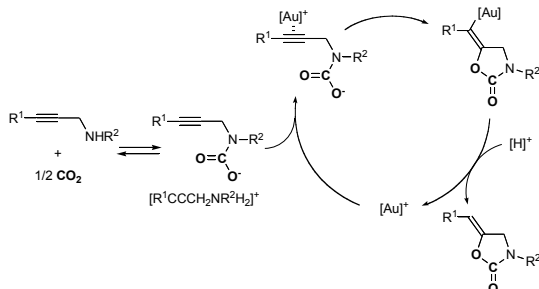
プロパルギルアミンの環化カルボキシル化反応の触媒研究をさらに展開し、炭素—炭素二重結合に対するカルバミン酸の付加反応の可能性を追究した。その結果、アミノメチルアレンを基質とする環状ウレタン合成に対して NHC 配位子をもつ銀錯体を用いると、二酸化炭素が反応に参与しない分子内ヒドロアミノ化反応が抑制され、カルボキシル化反応が高選択的に進行することを見いだした。一方、類似の金錯体は触媒不活性であり、銀錯体が特異的に触媒機能を示すことがわかった。



### 11族金属触媒による不飽和アミンの環化カルボキシル化反応の触媒反応機構の解明

プロパルギルアミンおよびアミノメチルアレンの環化カルボキシル化反応の触媒サイクルとして、下図に示す炭素—炭素不飽和結合の金属への配位に続くカルバミン酸イオンの付加を想定し、その触媒中間体モデル化合物としてアルケニル金錯体を合成しその構造を決定した。得られた錯体を用いた速

度論的研究をもとに、アルケニル炭素-金属結合のプロトン分解が反応の律速段階であることを明らかにした。また、アミノメチルアレン由来のアルケニル金錯体よりも銀錯体がプロトン分解を受けやすく、金錯体と銀錯体の触媒機能の違いを計算化学的に裏付ける結果を得た。



さらに同様の手法により、他の不飽和アミン・アルコール類からアルケニル金錯体を合成できることを見だし、環状ウレタン・カーボネート合成の触媒コンセプトとして一般的な手法となり得ることを示唆する結果を得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計18件)

① Atsushi Ueno, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Cycloaddition of Tertiary Aziridines and Carbon Dioxide Using a Recyclable Organocatalyst, 1,3-Di-*tert*-butylimidazolium-2-carboxylate: A Straightforward Access to 3-Substituted 2-Oxazolidones, *Green Chemistry*, 査読有、Vol. 15, 2013, pp. 425-430.

DOI: 10.1039/c2gc36414j

② Shun Hase, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, NHC-Gold(I) Complexes as Effective Catalysts for Carboxylative Cyclization of Propargylamines with Carbon Dioxide, *Organometallics*, 査読有、Vol. 32, 2013, pp. 5285-5288.

DOI: 10.1021/om.400949m

③ Junki Moritani, Yasuharu Hasegawa, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Aerobic Oxidative Desymmetrization of *meso*-Diols with Bifunctional Amidoiridium Catalysts Bearing Chiral *N*-Sulfonyldiamine Ligands, *Tetrahedron Letters*, 査読有、Vol. 55, 2014, pp. 1188-1191.

④ Atsushi Ueno, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Heterolysis of NH-Indoles by Bifunctional Amido Complexes and Applications to Carboxylation with Carbon Dioxide, *Organometallics*, 査読有、Vol. 33, 2014, pp. 4479-4485.

DOI: 10.1021/om500695a

⑤ Takao Ikariya, [Yoshihito Kayaki](#), Hydrogenation of Carboxylic Acid Derivatives with Bifunctional Ruthenium Catalysts, *Pure and Applied Chemistry*, 査読有、Vol. 86, 2014, pp. 933-943.

DOI: 10.1515/pac-2014-0103

⑥ Junki Moritani, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya,

Advantageous Asymmetric Ketone Reduction with Competitive Hydrogenation/Transfer Hydrogenation System Using Chiral Bifunctional Iridium Catalysts, *RSC Advances*, 査読有、Vol. 4, 2014, pp. 61001-61004.

DOI: 10.1039/c4ra07854c

⑦ Yasuhiro Sato, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Azametallametalocene Formation via Double  $sp^3$  C-H Activation of 6-Substituted Toluidines by a Half-sandwich Acetatoiridium Complex, *Chemistry Letters*, 査読有、Vol. 44, 2015, pp. 188-190.

DOI: 10.1246/cl.140954

⑧ Ryo Watari, [Yoshihito Kayaki](#), Shin-ichi Hirano, Norio Matsumoto, Takao Ikariya, Hydrogenation of Carbon Dioxide to Formate Catalyzed by a Copper/1,8-Diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene System, *Advanced Synthesis and Catalysis*, 査読有、Vol. 357, 2015, pp. 1369-1373.

DOI: 10.1002/adsc.201500043

⑨ Kyohei Yamashita, Shun Hase, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Highly Selective Carboxylative Cyclization of Allenylmethylamines with Carbon Dioxide Using *N*-heterocyclic Carbene-Silver Catalysts, *Organic Letters*, 査読有、Vol. 17, 2015, pp. 2334-2337.

DOI: 10.1021/acs.orglett.5b00809

⑩ Shun Hase, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Mechanistic Aspects of the Carboxylative Cyclization of Propargylamines and Carbon Dioxide Catalyzed by Gold(I) Complexes Bearing an *N*-Heterocyclic Carbene Ligand, *ACS Catalysis*, 査読有、Vol. 5, 2015, pp. 5135-5140.

DOI: 10.1021/acscatal.5b01335

⑪ Asuka Matsunami, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Enhanced Hydrogen Generation from Formic Acid by Half-Sandwich Ir(III) Complexes with Metal/NH Bifunctionality: A Pronounced Switch from Transfer Hydrogenation, *Chemistry A European Journal*, 査読有、Vol. 21, 2015, pp. 13513-13517.

DOI: 10.1002/chem.201502412

⑫ [Yoshihito Kayaki](#), Synthetic Chemistry of Alkenylgold Complexes Associated with Catalytic Intermediates, *Bulletin of Japan Society of Coordination Chemistry*, 査読有、Vol. 66, 2015, pp. 3-11.

DOI: 10.4019/bjscc.66.3

⑬ Yasuhiro Sato, [Yoshihito Kayaki](#), Takao Ikariya, Cationic Iridium and Rhodium Complexes with C-N Chelating Primary Benzylic Amine Ligands as Potent Catalysts for Hydrogenation of Unsaturated Carbon-Nitrogen Bonds, *Organometallics*, 査読有、Vol. 35, 2016, pp. 1257-1264.

DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00133

⑭ Asuka Matsunami, Shigeki Kuwata, [Yoshihito Kayaki](#), Hydrodefluorination of Fluoroarenes Using Hydrogen Transfer Catalysts with a Bifunctional Iridium/NH Moiety, *ACS Catalysis*, 査読有、Vol. 6, 2016, pp. 5181-5185.

DOI: 10.1021/acscatal.6b01590

⑮ Osamu Ogata, Yuji Nakayama, Hideki Nara, Mitsuhiko Fujiwhara, Yoshihito Kayaki, Atmospheric Hydrogenation of Esters Catalyzed by PNP-Ruthenium Complexes with an *N*-Heterocyclic Carbene Ligand, *Organic Letters*, 査読有、Vol. 18, 2016, pp. 3894-3897.

DOI: 10.1021/acs.orglett.6b01900

⑯ Taichiro Touge, Hideki Nara, Mitsuhiko Fujiwhara, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Efficient Access to Chiral Benzhydrols via Asymmetric Transfer Hydrogenation of Unsymmetrical Benzophenones with Bifunctional Oxo-tethered Ruthenium Catalysts, *Journal of the American Chemical Society*, 査読有、Vol. 138, 2016, pp. 10084-10087.

DOI: 10.1021/jacs.6b05738

⑰ Yasuhiro Sato, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Comparative Study of Bifunctional Mononuclear and Dinuclear Amidoiridium Complexes with Chiral C-N Chelating Ligands for the Asymmetric Transfer Hydrogenation of Ketones, *Chemistry An Asian Journal*, 査読有、Vol. 11, 2016, pp. 2924-2931.

DOI: 10.1002/asia.201600955

⑱ Asuka Matsunami, Shigeki Kuwata, Yoshihito Kayaki, Bifunctional Iridium Catalyst Modified for Persistent Hydrogen Generation from Formic Acid: Understanding Deactivation via Cyclometalation of a 1,2-Diphenylethylenediamine Motif, *ACS Catalysis*, 査読有、Vol. 7, 2017, pp. 4479-4484.

DOI: 10.1021/acscatal.7b01068

〔学会発表〕(計29件)

① 上野篤史, 榎木啓人, 碓屋隆雄, 二酸化炭素を用いる第三級アジリジン類の触媒的カルボキシル化反応の開発, 第1回 JACI/GSC シンポジウム, 2012/6/13, ベルサール神田.

② Ayumi Mori, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Efficient Synthesis of 1-Indolecarboxamides by Catalytic Ureation Using bis(Sulfonylamido)Rhodium Complexes, XXV International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2012), 2012/9/4, Lisbon, Portugal.

③ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, Carboxylative Cyclization of Propargylamines with CO<sub>2</sub> Catalyzed by NHC-Au(I) Complexes, 第59回有機金属化学討論会, 2012/9/15, 大阪大学吹田キャンパス.

④ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-金触媒による二酸化炭素とプロパルギルアミンとの環化カルボキシル化反応, 第2回 CSJ 化学フェスタ, 2012/10/15, 東京工業大学大岡山キャンパスくらまえホール.

⑤ Yoshihito Kayaki, Shun Hase, Takao Ikariya, Carboxylative Cyclization of Propargylamines with CO<sub>2</sub> Catalyzed by NHC-Au(I) Complexes, 5th Gratama Workshop, 2013/5/31, 東京工業大学大岡山キャンパスくらまえホール.

⑥ Shun Hase, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Carboxylative Cyclization of Propargylamines with CO<sub>2</sub> Catalyzed by NHC-Au(I) Complexes, The 17th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed towards Organic Synthesis

(OMCOS17), 2013/7/29, Colorado State University, Ft. Collins, USA.

⑦ Junki Moritani, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Asymmetric Aerobic Oxidation of Cs-Symmetric Diols with Cp\*Ir Catalysts Bearing Chiral Diamine Ligands, The 17th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed towards Organic Synthesis (OMCOS17), 2013/7/29, Colorado State University, Ft. Collins, USA.

⑧ 佐藤康博, 安井隼吾, 鈴木康平, 榎木啓人, 碓屋隆雄, Synthesis of New Dinuclear C-N Chelate Iridium Complexes by Cyclometallation of Chiral Benzylic Diamines, 第60回有機金属化学討論会, 2013/9/12, 学習院大学.

⑨ 河野晃丈, 亘理龍, 榎木啓人, 碓屋隆雄, Synthesis of a New Cp\*Ru Complex Bearing a Primary Amine-NHC Chelate Ligand and Its Application to Catalytic Hydrogenation of Carboxamides, 第60回有機金属化学討論会, 2013/9/12, 学習院大学.

⑩ 亘理龍, 河野晃丈, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-アミンキレート配位子を有する協奏機能 Cp\*Ru 錯体を用いたカルボン酸アミドの触媒的水素化反応, 第66回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, 2013/11/30, 東京工業大学.

⑪ 上野篤史, 榎木啓人, 碓屋隆雄, 8族および9族金属協奏機能アミド錯体によるインドールの N-H 結合開裂, 日本化学会第94春季年会, 2014/3/28, 名古屋大学.

⑫ 亘理龍, 榎木啓人, 平野伸一, 松本伯夫, 碓屋隆雄, 有機塩基および銅触媒を用いた二酸化炭素の水素化によるギ酸塩合成, 日本化学会第94春季年会, 2014/3/29, 名古屋大学.

⑬ 山下恭平, 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-銀錯体による二酸化炭素を用いたアミノメチルアレンの触媒的環化カルボキシル化反応, 日本化学会第94春季年会, 2014/3/30, 名古屋大学.

⑭ 長谷俊, 山下恭平, 榎木啓人, 碓屋隆雄, 触媒的環化カルボキシル化反応中間体モデルとしてのアルケニル金(I)錯体の合成と反応性, 日本化学会第94春季年会, 2014/3/30, 名古屋大学.

⑮ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, 二酸化炭素混合ガスを用いる触媒的環状ウレタン合成, 第3回 JACI/GSC シンポジウム, 2014/6/23, 東京国際フォーラム.

⑯ Kyohei Yamashita, Shun Hase, Yoshihito Kayaki, Takao Ikariya, Carboxylative Cyclization of Allenylmethylamines Using Carbon Dioxide Catalyzed by NHC-Silver(I) Complexes, XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2014), 2014/7/14, ロイトン札幌.

⑰ Yoshihito Kayaki, Teruhiro Kawano, Ryo Watari, Takao Ikariya, Catalytic Hydrogenation of Carboxamides with a New Bifunctional Cp\*Ru Complex Bearing a Primary Amine-NHC Chelate Ligand, XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2014), 2014/7/15, ロイトン札幌.

⑱ Yoshihito Kayaki, Shun Hase, Takao Ikariya, Synthesis and Properties of Alkenylgold(I) Complexes

as Key Intermediates in Catalytic Carboxylative Cyclization of Propargylamines, 41st International Conference on Coordination Chemistry (ICCC-41), 2014/7/24, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore.

⑲ 山下恭平, 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-銀錯体による二酸化炭素、アレニルメチルアミンからの環状ウレタン合成, 第 106 回有機合成シンポジウム, 2014/11/7, 早稲田大学 18 号館国際会議場.

⑳ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-金(I)触媒を用いるプロパルギルアミンの環化カルボキシル化反応: 選択的六員環ウレタン生成, 日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/28, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

㉑ Yoshihito Kayaki, Shun Hase, Kyohei Yamashita, Takao Ikariya, Carboxylative Cyclization of Propargylamines and Allenylmethylamines Catalyzed by Group 11 Metal Complexes, The 18th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed towards Organic Synthesis (OMCOS18), 2015/7/1, Meria Sitges, Spain.

㉒ Ryo Watari, Yoshihito Kayaki, Shin-ichi Hirano, Norio Matsumoto, Takao Ikariya, Hydrogenation of Carbon Dioxide to Formate Catalyzed by Copper Complexes, The 18th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed towards Organic Synthesis (OMCOS18), 2015/7/1, Meria Sitges, Spain.

㉓ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, Mechanistic Study on Selective Formation of Six-membered Urethanes in Carboxylative Cyclization of Propargylamines Using NHC-Au(I) Catalysts, 第 62 回有機金属化学討論会, 2014/9/8, 関西大学千里山キャンパス.

㉔ 平島遼, 佐藤康博, 桑田繁樹, 榎木啓人, プロテックなアミン配位子を持つハーフサンドイッチ型アリルイリジウム錯体の分子内プロトン移動反応, 錯体化学会第 65 回討論会, 2015/9/21, 奈良女子大学.

㉕ 吉村厚樹, 亘理龍, 桑田繁樹, 榎木啓人, ポリエチレンイミンを用いた二酸化炭素の触媒的水素化反応, 第 5 回 CSJ 化学フェスタ, 2015/10/14, タワーホール船堀.

㉖ Yoshihito Kayaki, Hydrogenation and Dehydrogenation Processes Based on Bifunctional Ru and Ir Complexes Bearing Protic Amine Chelate Ligands, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015 (Pacifichem2015), 2015/12/17, Hyatt Regency Waikiki, USA.

㉗ 吉村厚樹, 亘理龍, 桑田繁樹, 榎木啓人, アミン系ポリマーを用いた二酸化炭素からメタノールへの触媒的水素化反応, 日本化学会第 96 春季年会, 2016/3/24, 同志社大学京田辺キャンパス.

㉘ 長谷俊, 榎木啓人, 碓屋隆雄, NHC-金(I)触媒によるプロパルギルアミンの環化カルボキシル化反応: 二酸化炭素を用いる選択的六員環ウレタン合成, 第 5 回 JACI/GSC シンポジウム, 2016/6/3, ANA クラウンプラザホテル神戸.

㉙ 吉村厚樹, 桑田繁樹, 榎木啓人, ピラゾールアミン配位子をもつ新規 C-N キレートイリジウム

錯体の合成とその性質, 日本化学会第 97 春季年会, 2017/3/18, 慶応義塾大学日吉キャンパス.

〔図書〕(計 2 件)

① 榎木啓人, 碓屋隆雄, 新しい溶媒を用いた有機合成, 第 1 章・第 2 章第 1, 2, 5 節, S&T 出版, 2013 年, pp. 1-28, 48-55.

② 榎木啓人, 二酸化炭素を用いる不飽和アミンの環化カルボキシル化反応による環状ウレタン合成, 二酸化炭素を用いた化学品製造技術第 3 章第 4 節, 杉本裕監修, S&T 出版, 2016 年, pp. 201-214.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称: 触媒又はその前駆体並びにこれらを利用した二酸化炭素の水素化方法及びギ酸塩の製造方法

発明者: 亘理龍, 榎木啓人, 平野伸一, 松本伯夫, 碓屋隆雄

権利者: 一般財団法人電力中央研究所

種類: 特許

番号: 特願 2014-172384

出願年月日: 2014/8/27

国内外の別: 国内

名称: アルデヒド及びケトンの水素化還元用の触媒

発明者: 亘理龍, 榎木啓人, 桑田繁樹

権利者: 一般財団法人電力中央研究所

種類: 特許

番号: 特願 2016-045445

出願年月日: 2016/3/9

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称: 1,3-ジアルキル-2-イミダゾリジノン類の製造方法

発明者: 關祐威, 小久保慶陽, 鈴木智之, 榎木啓人, 碓屋隆雄, 市川真一郎

権利者: 国立大学法人東京工業大学, 三井化学株式会社

種類: 特許

番号: 特許 5380051

取得年月日: 2013/10/4

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

桑田研究室ホームページ

<http://www.apc.titech.ac.jp/~skuwata/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎木 啓人 (KAYAKI YOSHIHITO)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号: 20572704