

平成22年5月1日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19350049

研究課題名（和文） レニウム錯体の触媒機能の開拓とその応用

研究課題名（英文） Development of New Catalytic Activities of Rhenium Complexes and Their Applications

研究代表者

高井 和彦（TAKAI KAZUHIKO）

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：00144329

研究成果の概要（和文）：

レニウム錯体を用いる有機合成反応は少ない。本研究では、レニウム錯体の特徴を活かした独自の合成反応を、研究期間内にできるだけ多く見つけることを目的に研究を進めた。見いだした主な反応を示す。(1) レニウム錯体を用いる  $sp^2$ 炭素-水素結合の活性化を基盤とする新反応群 2) レニウム錯体による  $\beta$ -ケトエステルの C-C 結合切断反応を基盤とする新反応群、(3) レニウム錯体による立体選択的[3+2]付加環化反応、(4) レニウム錯体を用いるオレフィンによるフェノールの位置選択的アルキル化反応、(5) マンガン触媒を用いる新規[2+2+2]付加環化反応による *p*-テルフェニル化合物の選択的合成。

研究成果の概要（英文）：

Compared to other metal elements, only a few synthetic reaction have been reported. Therefore, we started to explore the possibility of the use of rhenium complexes in organic synthesis. During this project we have found the following reactions using specific features of rhenium complexes. (1) Novel reactions based on the C( $sp^2$ )-H bond activation with rhenium complexes. (2) Novel reactions based on the C-C bond cleavage of  $\beta$ -keto esters with rhenium complexes. (3) Rhenium catalyzed stereoselective [3+2]cycloaddition between  $\beta$ -keto esters and allenes. (4) Regioselective alkylation of phenols using olefins with a rhenium catalyst. (5) Manganese-catalyzed selective [2+2+2]cycloaddition leading to *p*-terphenyls

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：有機合成化学、有機金属化学

科研費の分科・細目：合成化学 4702

キーワード：レニウム、マンガン、C-H結合活性化、C-C結合切断、均一系錯体、触媒反応

## 1. 研究開始当初の背景

1993年に阪大の村井・茶谷らにより、ルテニウム触媒を用いるC-H結合活性化と炭素-炭素結合生成反応が報告された(村井、茶谷、垣内ら *Nature* **1993**, 336, 529)。この発見を契機として多くの研究室からC-H結合活性化に関する研究が報告された。しかし、C-H結合活性化に基づく変換反応のほとんどが、極性のない不飽和分子の挿入もしくはクロスカップリング反応の例に限られていた。

研究代表者の高井、國信らは、本研究のきっかけとなる、レニウム錯体触媒のもつ炭素-水素結合活性化の能力を2005年に見いだした(*J. Am. Chem. Soc.* **2005**, 127, 13498)。芳香族アルジミンにレニウム触媒を作用させると、イミンのオルト位のC-H結合が活性化され、さらにイミンへの分子内環化反応が進行し、インデン誘導体が生成するという反応である(後述)。レニウム錯体を用いると、C-H結合活性化触媒としてこれまで知られていたルテニウムやロジウム錯体で生じるRu-CやRh-C結合とは異なり、Re-C結合が分極しているため、極性をもつ不飽和結合である $\alpha,\beta$ -不飽和エステル (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, 45, 2766)やアルデヒド(*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 12376)とも反応することを見いだしていた(後述)。また、本研究者は、C-H結合活性化の研究過程で、レニウム錯体により歪のない環の炭素-炭素単結合が容易に切断され、再結合により、歪の大きい環が生じる異常な環拡大反応が進行することも発見していた(*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 11368) (後述)。

## 2. 研究の目的

「レニウム錯体は有機合成反応にどれだけ利用できるのか」を明らかにすることが大きな目標であり、これまで有機合成にはほとんど利用されてこなかったレニウム錯体の触媒機能を探り、高効率の環境調和型反応を開発することを目的として、2つの方向からの研究を平行して行なった。

(1) 不活性結合の活性化を基盤とする反応の開拓：申請者がこのプロジェクトを立ち上げるまでの2年間に見つけていたレニウム触媒による炭素-水素結合(以下、C-H結合と記述)活性化と炭素-炭素結合(C-C結合)切断を基盤とする反応を発展させ、高効率反応を開発する。さらに新しい生理活性物質、機能性材料の創製につながる合成法を確立する。(2) 新規レニウム錯体の触媒機能の開拓と利用：どのような触媒機能がレニウム錯体にあるのかを探り、これまでC-C結合形成反応にほとんど用いられてこなかったレニウム錯体の特性を利用する新反応をできるだけ多く開発する。また、レニウム-アルキン錯体、レニウム-アルキリデン錯体などの新しい錯体の調製とその利用も検討する。

## 3. 研究の方法

(1) C-H結合活性化を基盤とする新しい反応の開発：レニウム錯体を用いるとオレフィン性炭素-水素結合が芳香族のC-H結合と同様に活性化でき、種々の不飽和結合が挿入することを予備的に見いだしていたこともあり、その反応の一般性と適用限界を検討することから研究を始めた。

(2) C-C結合切断反応を基盤とする新しい反応の開発：レニウム錯体[ReBr(CO)<sub>2</sub>(thf)]<sub>2</sub>にイソニトリルを加え、イソニトリルの配位した新しい錯体を調製すると、C-C結合切断反応が進行することを見いだしていた。この反応のメカニズムと適用範囲をさらに探ることから研究を進めた。

そのほか種々のレニウム錯体を合成し、新反応が進行しないか試みる形で研究を進めた。

## 4. 研究成果

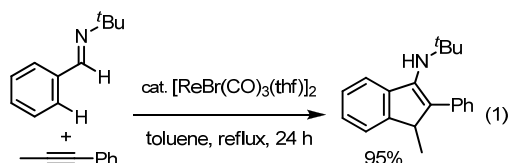
レニウム錯体を用いる合成反応の研究は国内外を問わず非常に少ない。本研究では、レニウムやマンガンの特徴を活かした独創的な合成反応を、研究期間内にいくつか見つけることができた。それらの成果は *J. Am. Chem. Soc.* や *Angew. Chem. Int. Ed.* などインパクトファクターの大きな学術誌に掲載された。

本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ：7族金属、とくにレニウムの錯体は、他の後周期あるいは前周期遷移金属と比べると、有機合成においてあまり使われてこなかった。酸化反応を除き、炭素-炭素結合形成反応でみると、HerrmannのMeReO<sub>3</sub>による触媒反応、村橋らのレニウムヒドリド錯体を用いるBraise反応、HartwigのCp\*Re(CO)<sub>3</sub>と光を用いるアルカンのホウ素化反応など非常に限られ、レニウム(錯体)の反応性に関する情報は少なかった。本研究者は2005年から2009年の5年間に、レニウム錯体による炭素-水素結合や炭素-炭素結合の切断を利用する研究を種々報告してきた。そのこともあり、7族金属錯体、とくにレニウム錯体の反応性が注目されるようになった。また7族のマンガン錯体については、Lewis酸として、あるいは酸化、ラジカル反応の触媒としての利用はあるが、本研究者は炭素-水素結合活性化の触媒作用をもつことを見いだした。このように、本研究者は7族のレニウムやマンガンの錯体には大きな可能性があることを示した。以下に、具体的に述べる。

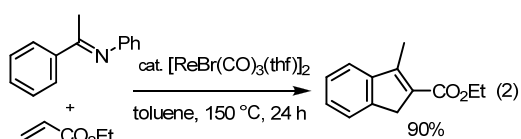
(1) C-H結合活性化を基盤とする新しい反応群の開拓

本研究者が2005年に見いだしていたレニウムの錯体触媒を用いる芳香族アルジミンとアルキンとの[3+2]付加環化反応(式1, *J. Am. Chem. Soc. (JACS)*, **2005**, 127, 13498)から、レニウムの特徴がいくつか明らかになった。

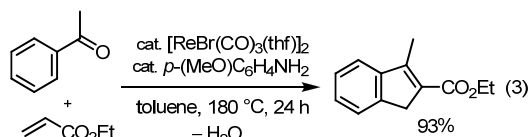
それは、レニウム錯体に C-H 活性化の触媒作用があるだけでなく、不飽和結合が炭素-水素結合活性化で生じた C-Re 結合に挿入すること、さらに挿入後に生じた C(sp<sup>2</sup>)-Re 結合の炭素に求核性があり、分子内環化反応が進行することであった。



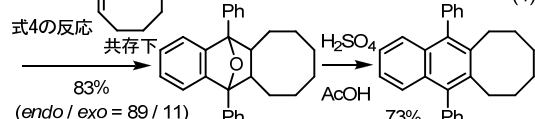
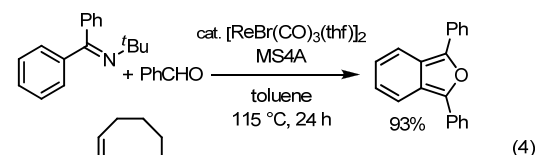
この反応の一般性を探るため、アルキンに代えてアクリル酸エステルを用い検討した結果、同様に[3+2]型付加環化反応が進行した化合物であるエステルの置換したインデンが得られた (式 2)。



さらに触媒量のアニリンを用いると、芳香族ケトンを出発原料にして反応がおこなえ、結果的に、ケトンとアクリル酸エステルとの脱水を伴う[3+2]型付加環化反応へと大きくブラッシュアップすることができた (式 3, *Angew. Chem. Int. Ed. (ACIE)*, **2006**, *45*, 2766)。本研究では、この反応の反応メカニズムを重水素化実験などをおこない詳細に検討し、明らかにした (*Bull. Chem. Soc. Jpn. (BCSJ)*, **2008**, *81*, 1393)。この論文は日本化学会の BCSJ 賞 (2008 年 11 月) を受賞した。

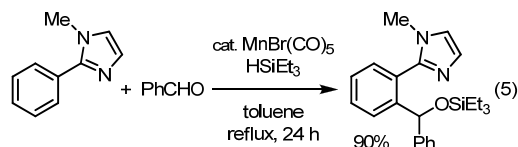


C(sp<sup>2</sup>)-Re 結合の炭素に求核性があるということは、レニウム錯体による C-H 結合活性化で生じた C(sp<sup>2</sup>)-Re 結合の炭素でも求核反応に使えるのではないか。実際に調べると、アルデヒドとも反応することが明らかになった (*JACS*, **2006**, *128*, 12376)。本研究では、生成したイソベンゾフランを利用して、種々の多置換芳香族化合物を合成する手法を開発した (式 4, *Tetrahedron* **2007**, *63*, 8463)。

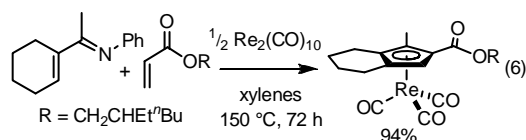


マンガン触媒による Grignard 型付加反応

(式 5, *Angew. Chem. Int. Ed. (ACIE)*, **2007**, 6518)、この論文は注目される成果として ACIE の Hot Paper に選ばれた。この反応の特徴は、C-H 結合の切断を利用することにより、従来は化学量論量の金属塩が副生が避けられなかった量論反応を触媒反応にできたことである。



レニウム錯体による C-H 結合活性化がベンゼン環に結合している水素だけでなく、オレフィン水素でも進行することを明らかにした。この研究の過程で、Cp レニウム錯体の one-pot 合成 (式 6, *JACS*, **2008**, *130*, 14062) を見いだした。

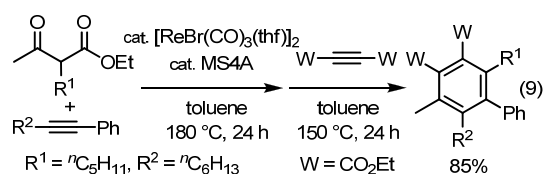
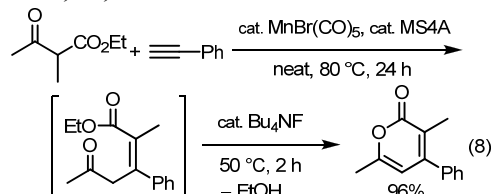


(2) C-C 結合切断を基盤とする新しい反応の群の開拓

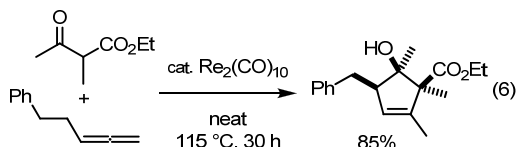
求核反応剤として使われる 1,3-ジカルボニル化合物のアルキンへの反応が、中村栄一らのインジウム触媒 (*JACS*, **2003**, *125*, 13002) と同様にレニウムでも進行することを見いだしていた (*Org. Lett. (OL)*, **2005**, *7*, 4823)。この反応でのレニウムの配位子を検討していたところ、1,3-ジカルボニル化合物の C-C 結合が切断され、そこにアルキン三重結合が挿入するという予想外の反応を見つけた (式 7, *JACS*, **2006**, *128*, 11368)。



この反応を鎖状のβ-ケトエステルを用いておこなうと、2-ピラノンが合成できることがわかった (式 8, *Chem. Commun. (CC)*, **2008**, 6360)。そこで、2-ピラノンを経る多置換芳香族化合物の合成法へと応用した (式 9, *OL*, **2008**, *10*, 3133)。

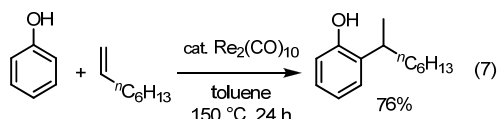


(3) アレンを用いる[3+2]付加環化反応の開発  
β-ケトエステルとアレンをレニウム触媒存在下に加熱したところ、全く新しい[3+2]付加環化反応が進行することを見いだした(式10, *AICE*, **2008**, 47, 9318)。この反応では5員環上の置換基の立体配置が決まることが明らかになった。



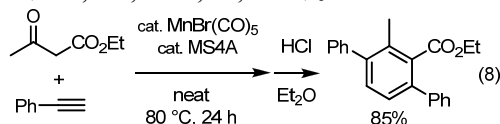
(4) フェノールの位置選択的モノアルキル化反応の開発

Friedel-Crafts 反応によるアルキル化でフェノールのアルキル化をおこなうと、モノアルキル化で止めることは難しい。レニウム錯体触媒を用いることで、オルト位に選択的にモノアルキル化がおこなえることがわかった(式7, *JACS*, **2009**, 131, 9914)。



(5) ,3-ジカルボニル化合物とアルキンの[2+2+2]付加環化反応の開発

芳香環を構築する方法としてアルキンの[2+2+2]付加環化反応は有用であるが、異なるアルキンを選択的に導入することは難しい。レニウム錯体を用いる研究から、マンガン錯体によるβ-ケトエステルと末端アルキンの1対2付加環化反応による手法を見いだした。(式8, *OL*, **2008**, 10, 3009)。



## 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 29 件)

1. Y. Kuninobu, A. Kawata, S. S. Yudha, H. Takata, M. Nishi, K. Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Carbon-Carbon Bond Formation Using 1,3-Dicarbonyl Compounds and Alkynes. *Pure Appl. Chem.* **2010**, in press. 査読有
2. Y. Kuninobu, A. Kawata, T. Noborio, S.-i. Yamamoto, T. Matsuki, K. Takata, K. Takai, Indium-Catalyzed Synthesis of Keto Esters from Cyclic 1,3-Diketones and Alcohols and Application to the Synthesis of Seratrodist. *Chem. Asian J.* Vol. 5, **2010**, in press. 査読有
3. K. Takai, Generation of Novel Nucleophilic Organometallic Species and Their Applications to Organic Synthesis. *J. Synth. Org. Chem., Jpn.* **2010**, Vol. 68, No. 1, pp.

3-18. 査読有

4. Y. Kuninobu, M. Nishi, A. Kawata, H. Takata, Y. Hanatani, S. S. Yudha, A. Iwai, K. Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Synthesis of Aromatic Compounds from 1,3-Dicarbonyl Compounds and Alkynes. *J. Org. Chem.* **2010**, Vol. 75, No. 2, pp. 334-341. 査読有
5. Y. Kuninobu, A. Yamashita, S.-i. Yamamoto, S. S. Yudha, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Addition of β-Enamino Esters to Allenes. *Synlett* **2009**, Vol. 20, No. 18, pp. 3027-3031. 査読有
6. Y. Kuninobu, A. Kawata, M. Nishi, S. S. Yudha, J.-i. Chen, K. Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Insertion of Alkynes into a Carbon-Carbon Single Bond of Cyclic and Acyclic 1,3-Dicarbonyl Compounds. *Chem. Asia J.* **2009**, Vol. 4, No. 9, pp. 1424-1433. 査読有
7. A. Kawata, Y. Kuninobu, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Regio- and Stereoselective Dimerization and Cyclootrimerization of Terminal Alkynes. *Chem. Lett.* **2009**, Vol. 38, No. 8, pp. 836-837. 査読有
8. Y. Kuninobu, T. Matsuki, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Regioselective Alkylation of Phenols. *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, Vol. 131, No. 29, pp. 9914-9915. 査読有
9. Y. Kuninobu, Y. Fujii, T. Matsuki, Y. Nishina, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Insertion of Nonpolar and Polar Unsaturated Molecules into an Olefinic C-H Bond. *Org. Lett.* **2009**, Vol. 11, No. 12, pp. 2711-2714. 査読有
10. Y. Kuninobu, J. Morita, M. Nishi, A. Kawata, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Formation of Bicyclo[3.3.1]nonene Frameworks by a Reaction of Cyclic β-Keto Esters with Terminal Alkynes. *Org. Lett.* **2009**, Vol. 11, No. 12, pp. 2535-2537.
11. Y. Kuninobu, A. Kawata, M. Nishi, H. Takata, K. Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Insertion of Acetylenes into β-Keto Esters: Synthesis of 2-Pyranones. *Chem. Commun.* **2008**, No. 47, pp.6360-6362. 査読有
12. S. S. Yudha, Y. Kuninobu, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Synthesis of Stereodefined Cyclopentenes from β-Keto Esters and Aliphatic Allenes. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, Vol. 47, No. 48, pp.9318-9321. 査読有
13. Y. Kuninobu, Y. Nishina, K. Okaguchi, M. Shouho, K. Takai, Reactions and Mechanistic Studies of Rhenium-Catalyzed Insertion of α,β-Unsaturated Carbonyl Compounds into a C-H Bond. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2008**, Vol. 81, No. 11, pp. 1393-1401. 査読有
14. Y. Kuninobu, Y. Nishina, T. Matsuki, K. Takai, Synthesis of Cp-Re Complexes via Olefinic C-H Activation and Successive

- Formation of Cyclopentadienes. *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, Vol. 130, No. 43, pp. 14062-14063. 査読有
15. Y. Kuninobu, H. Ueda, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Coupling of Propargyl Alcohols and Several Nucleophiles via Dehydration. *Chem. Lett.* **2008**, Vol. 37, No. 8, pp. 878-879. 査読有
  16. Y. Kuninobu, H. Takata, A. Kawata, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Synthesis of Multisubstituted Aromatic Compounds via C-C Single Bond Cleavage. *Org. Lett.* **2008**, Vol. 10, No. 14, pp. 3133-3135. 査読有
  17. Y. Kuninobu, M. Nishi, S. S. Yudha, K. Takai, Manganese-Catalyzed Construction of Tetrasubstituted Benzenes from 1,3-Dicarbonyl Compounds and Terminal Acetylenes. *Org. Lett.* **2008**, Vol. 10, No. 14, pp. 3009-3011. 査読有
  18. Y. Kuninobu, K. Kikuchi, K. Takai, Manganese-Catalyzed Synthesis of Hydantoin Derivatives from Terminal Alkynes and Isocyanates. *Chem. Lett.* **2008**, Vol. 37, No. 7, pp. 740-741. 査読有
  19. Y. Kuninobu, K. Kikuchi, Y. Tokunaga, Y. Nishina, K. Takai, Hydroarylation of Acetylenes, Acrylates and Isocyanates with Heteroaromatic Compounds under Rhenium Catalysis. *Tetrahedron* **2008**, Vol. 64, No. 26, pp. 5974-5981. 査読有
  20. Y. Kuninobu, Y. Nishina, A. Kawata, M. Shouho, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Synthesis of Indene Derivatives via C-H Bond Activation. *Pure Appl. Chem.* **2008**, Vol. 80, No. 5, pp. 1149-1154. 査読有
  21. S. S. Yudha, Y. Kuninobu, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Hydroamidation of Unactivated Terminal Alkynes: Synthesis of *E*-Enamides. *Org. Lett.* **2007**, Vol. 9, No. 26, pp. 5609-5611. 査読有
  22. Y. Kuninobu, Y. Inoue, K. Takai, Copper(I)- and Gold(I)-Catalyzed Synthesis of 2,4-Disubstituted Quinoline Derivatives from *N*-Aryl Propargyl Amines. *Chem. Lett.* **2007**, Vol. 36, No. 12, pp. 1422-1423. 査読有
  23. A. Kawata, K. Takata, Y. Kuninobu, K. Takai, Iridium-Catalyzed Retro-Claisen Condensation. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, Vol. 46, No. 41, pp. 7793-7795. 査読有
  24. Y. Kuninobu, P. Yu, K. Takai, Rhenium-Catalyzed [2+2] Cycloadditions of Norbornenes with Internal and Terminal Acetylenes. *Chem. Lett.* **2007**, Vol. 36, No. 9, pp. 1162-1163. 査読有
  25. Y. Kuninobu, Y. Nishina, T. Takeuchi, K. Takai, Manganese-Catalyzed Insertion of Aldehydes into a C-H Bond. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, Vol. 46, No. 34, pp. 6518-6520. 査読有
  26. Y. Kuninobu, H. Ueda, A. Kawata, K. Takai, Rearrangement of Indene Skeletons under Mild Conditions. *J. Org. Chem.* **2007**, Vol. 7, No. 18, pp. 6749-6752. 査読有
  27. Y. Kuninobu, Y. Nishina, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Synthesis of Naphthalene Derivatives via Insertion of Aldehydes into a C-H Bond. *Tetrahedron* **2007**, Vol. 63, No. 29, pp. 8463-8468. 査読有
  28. Y. Kuninobu, Y. Tokunaga, K. Takai, Rhenium-Catalyzed Amidation of Heteroaromatic Compounds via C-H Bond Activation. *Chem. Lett.* **2007**, Vol. 36, No. 7, pp. 872-873. 査読有
  29. Y. Kuninobu, E. Ishii, K. Takai, Rhenium- and Gold-Catalyzed Coupling of Aromatic Aldehydes with Trimethyl(2-phenylethynyl)silane: Synthesis of Diethynylmethanes. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, Vol. 46, No. 18, pp. 3296-3299. 査読有
- [学会発表] (計 74 件)
1. Kazuhiko Takai, Sequential Generation of Radical and Anionic Species Using Manganese Metal or Chromium(II). 4th Pacific Symposium on Radical Chemistry (PSRC4), Shanghai, 2009.11.19-22
  2. Takashi Matsuki, Yoichiro Kuninobu, Kazuhiko Takai, Rhenium-Catalyzed Regioselective Alkylation of Phenols. The 11th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOK-11), Kyoto, 2009.11.9-13
  3. Mitsumi Nishi, Atsushi Kawata, Hisatsugu Takata, Yoichiro Kuninobu, Kazuhiko Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Construction of 2-Pyranones from  $\beta$ -Keto Esters and Alkynes. The 11th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOK-11), Kyoto, 2009.11.9-13
  4. Yoichiro Kuninobu, Salprima Yudha S., Atsushi Yamashita, Kazuhiko Takai, Rhenium-Catalyzed Reactions of Active Methylene Compounds with Allenes. The 11th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOK-11), Kyoto, 2009.11.9-13
  5. 高井和彦, レニウム及びマンガン触媒による合成反応の開発. 有機合成ミニシンポジウム 2009 in 徳島, 徳島大学長井記念ホール, 2009.10.17
  6. Yoichiro Kuninobu, Takashi Matsuki, Yasuo Fujii, Yuta Nishina, Kazuhiko Takai, Rhenium-Catalyzed Insertion of Unsaturated Molecules into an Olefinic C-H Bond and its Application to the Synthesis of Cp-Re Complexes. 15th IUPAC Symposium on Organometallic Chemistry Directed toward Organic Synthesis (OMCOS15), Glasgow, 2009.7.26-30
  7. Kazuhiko Takai, Yoichiro Kuninobu, Atsushi Kawata, S. S. Yudha, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Carbon-Carbon Bond Formation Using  $\beta$ -Keto Esters. 15th IUPAC Symposium on Organometallic

- Chemistry Directed toward Organic Synthesis (OMCOS15), Glasgow, 2009.7.26-30
8. 高井和彦, 7族金属錯体触媒による合成反応の開発. Organic Syntheses Lectureship, 東京大学大学院薬学系研究科, 2009.7.3
  9. 高井和彦, 求核的な有機金属活性種の創製と合成への利用. 2009年度有機合成化学協会協会賞受賞記念講演, 東京, 2009.2.20
  10. 高井和彦, 國信洋一郎, レニウム触媒を用いる炭素-炭素結合形成. Organometallic Seminar XXXVI 「分子触媒化学の新パラダイム」, 九州大学箱崎キャンパス, 講演要旨集 13-16 頁, 2008.11.25
  11. Yoichiro Kuninobu, Atsushi Kawata, Mitsumi Nishi, Kazuhiko Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Insertion of Acetylenes into a Carbon-Carbon Single Bond. XXIII International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2008), OC12, Rennes, 2008.7.13-18
  12. Yoichiro Kuninobu, Yuta Nishina, Kazuhiko Takai, Annulation Reactions Based on C-H Bond Activation with a Rhenium Catalyst. IUPAC 16th International Symposium on Homogeneous Catalysis (ISHC XVI), P126, Florence, 2008.7.6-11
  13. Yoichiro Kuninobu, Yuta Nishina, Takahiro Takeuchi, Chie Nakagawa, Kazuhiko Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Reactions of Aromatic Compounds with Aldehydes via C-H Bond Activation. Third International Conference on Advanced Organic Synthesis Directed toward the Ultimate Efficiency and Practicability, PS-24, Otsu, 2008.5.26-27
  14. Kazuhiko Takai, Yoichiro Kuninobu, Yuta Nishina, Makoto Shouho, Rhenium- and Aniline-Catalyzed [3+2] Annulation of Aromatic Ketones and  $\alpha,\beta$ -Unsaturated Esters. International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2007, Singapore, Abstract A174, 2007.12.16-21
  15. Kazuhiko Takai, Metal Activation by Addition of Catalytic Amounts of Different Metals - Synergistic Effects. The 1st International Symposium on Synergy of Elements, Tokyo, L-10, Abstract p.19, 2007.11.12-13
  16. Yuta Nishina, Takahiro Takeuchi, Chie Nakagawa, Yoichiro Kuninobu, Kazuhiko Takai, Rhenium- and Manganese-Catalyzed Insertion of Aldehydes into a C-H Bond. 14th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, Nara, P-488, 2007.8.2-6
  17. Atsushi Kawata, Kazumi Takata, Yoichiro Kuninobu, Kazuhiko Takai, Indium-Catalyzed Synthesis of Esters from 1,3-Diketones and Alcohols via C-C Bond Cleavage. 14th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, Nara, P-460, 2007.8.2-6
  18. Yoichiro Kuninobu, Atsushi Kawata, Kazuhiko Takai, Rhenium-Catalyzed Insertion of Acetylenes into a Non-Strained Carbon-Carbon Single Bond. 14th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, Nara, P-459, 2007.8.2-6
  19. Kazuhiko Takai, Yoichiro Kuninobu, Yuta Nishina, Makoto Shouho, Kayo Okaguchi, Rhenium- and Aniline-Catalyzed One-Pot Annulation of Aromatic Ketones and  $\alpha,\beta$ -Unsaturated Esters. 14th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis, Nara, OPB5 (P-050), 2007.8.2-6
  20. 高井和彦, 國信洋一郎, レニウム触媒による炭素-水素活性化を基盤とする分子変換. 特定領域研究「高度分子変換」第3回公開シンポジウム (北大), 2007.6.18-19
- [図書] (計 1 件)
1. Kazuhiko Takai, "Reductive Coupling Reactions Promoted by Low-valent Early Transition Metals and Lanthanoids" Comprehensive Organometallic Chemistry III, Vol. 11, Chap.11.02, pp. 39-73, Elsevier, Amsterdam, 2007
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 2 件)
- 名称: アルキルフェノールの製造方法  
発明者: 國信洋一郎, 松木崇, 高井和彦  
権利者: 岡山大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2009-58224  
出願年月日: 2009.3.11  
国内外の別: 国内
- 名称: シラフルオレン誘導体の製造方法  
発明者: 國信洋一郎, 嬉野智也, 高井和彦  
権利者: 岡山大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-053857  
出願年月日: 2010.3.10  
国内外の別: 国内
- [その他]
- ホームページ等  
<http://achem.okayama-u.ac.jp/omc/index.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
高井 和彦 (TAKAI KAZUHIKO)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号: 00144329
  - (2) 研究分担者  
國信 洋一郎 (KUNINOBU YOICHIRO)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号: 40372685
  - (3) 連携研究者  
なし