

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26288014

研究課題名(和文) 非共有結合性相互作用を利用する炭素-水素結合変換反応の開発

研究課題名(英文) Development of C-H Transformations Using Noncovalent Interactions

研究代表者

國信 洋一郎 (Kuninobu, Yoichiro)

九州大学・先導物質化学研究所・教授

研究者番号：40372685

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：Lewis酸-塩基相互作用や水素結合のような非共有結合性相互作用を利用する、高位置選択的な炭素-水素(C-H)結合変換反応を開発することを目的として研究を遂行した。その結果、水素結合を利用するメタ位選択的なC(sp<sup>2</sup>)-H結合変換反応やLewis酸-塩基相互作用を利用するオルト位選択的なC(sp<sup>2</sup>)-H結合変換反応を開発することができた。これらの反応は、触媒配位子と基質間での水素結合やLewis酸塩基相互作用によりC-H結合変換反応の位置選択性を制御した初めての例である。また、C-H結合変換反応における新たな位置選択性制御法を提示することができた。

研究成果の概要(英文)：I conducted researches aimed at developing high regioselective carbon-hydrogen (C-H) bond transformations using noncovalent interactions, such as a Lewis acid-base interaction or a hydrogen bonding. As a result, I developed meta-selective C(sp<sup>2</sup>)-H bond transformation utilizing the hydrogen bonding and ortho-selective C(sp<sup>2</sup>)-H bond transformation using the Lewis acid-base interaction. These reactions are the first examples that control the regioselectivity of C-H bond transformations by hydrogen bonding or Lewis acid-base interaction between a ligand of the catalyst and a substrate. In addition, I could achieve to create a new regiocontrol method in C-H bond transformations.

研究分野：有機合成化学、有機金属化学、有機材料化学

キーワード：C-H結合変換 非共有結合性相互作用 水素結合 Lewis酸-塩基相互作用 ポリル化 シリル化 メタ位 オルト位

## 1. 研究開始当初の背景

C-H 結合活性化を経る変換反応では、従来の有機合成反応に比べ、反応工程数の短略化や副生成物の低減などができる。さらに、従来の有機合成反応の代替やこれまでに合成できなかった化合物の合成が可能になることが期待されるため、世界中の多くの研究者がC-H結合変換反応の開発研究に参入している。これまでに私も含め、多くの研究者が配向基（ヘテロ原子の非共有電子対の触媒金属への配位）を利用するC-H結合の変換反応を重点的に研究してきた。しかし、配向基を利用する反応では多くの場合、基質にあらかじめ配向基を導入する必要があり反応後に配向基を基質から除去することが困難であることや、ほとんどの場合にはオルト位（もしくは $\alpha$ 位）で反応が進行するため、適用できる基質や得られる生成物が制限されることが問題点の一つと認識されてきた。

## 2. 研究の目的

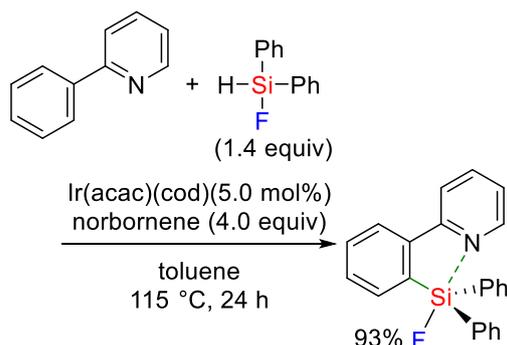
本研究では、Lewis酸-塩基相互作用や水素結合のような非共有結合性相互作用を利用する、高位置選択的な炭素-水素 (C-H) 結合変換反応を開発することを目的として研究を遂行した。C-H結合活性化を経る変換反応では、従来の有機合成反応に比べ、反応工程数の短略化や副生成物の低減などが期待できる。さらに、従来の有機合成反応の代替やこれまでに合成できなかった化合物の合成が可能になることが期待される。配向基の利用によるC-H結合変換反応の開発は世界中で盛んに行われているものの、基質や生成物に大きな制限がある。そのような問題を解決するため、非共有結合性相互作用を利用するC-H変換反応の開発を行なった。

## 3. 研究の方法

二つの基質間、もしくは触媒の配位子と一方の基質間でのLewis酸-塩基相互作用や水素結合のような非共有結合性相互作用の利用をキーワードに、適切な触媒配位子を設計・合成することにより、位置選択的なC-H結合の変換反応を開発した。

## 4. 研究成果

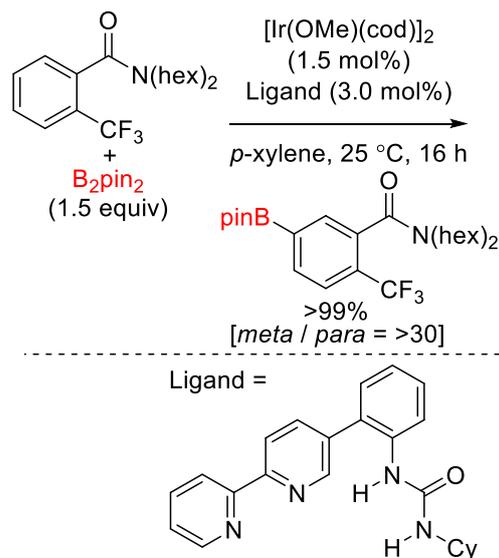
### (1) Lewis酸-塩基相互作用を利用するC(sp<sup>2</sup>)-H結合変換反応の開発



私は以前、2つの基質の官能基間でのLewis酸-塩基相互作用を用いることで、芳香族化合物のオルト位選択的なC-Hボリル化に成功した。この概念をヒドロフルオロシランに適用することにより、オルト位選択的なC-Hシリル化反応を達成した。

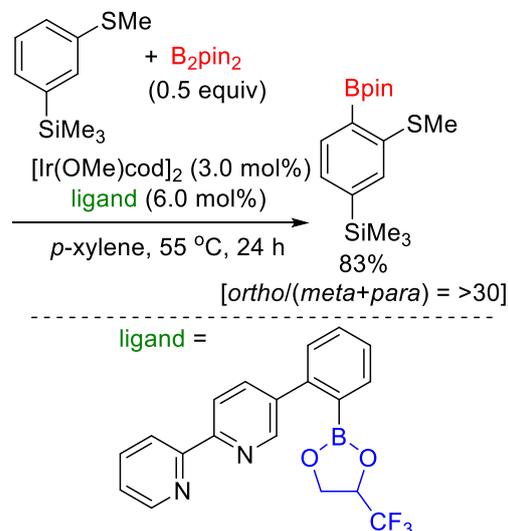
### (2) 水素結合を利用するメタ位選択的なC(sp<sup>2</sup>)-H結合変換反応の開発

触媒配位子と基質の官能基間での水素結合を利用することにより、メタ位選択的なC-Hボリル化反応を開発することにも成功した。本反応は、水素結合によりC-H結合変換反応の位置選択性を制御した初めての例である。



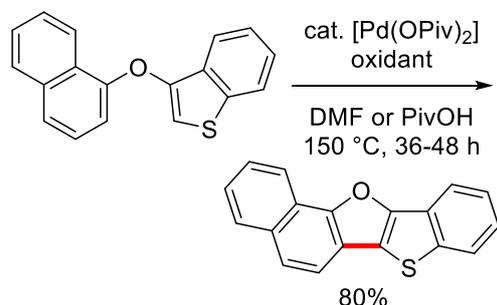
### (3) Lewis酸-塩基相互作用を利用するメタ位選択的なC(sp<sup>2</sup>)-H結合変換反応の開発

金属触媒配位子と基質の官能基との間でのLewis酸-塩基相互作用を用いることで、イリジウム触媒によるオルト位選択的なC-Hホウ素化反応を達成した。本触媒系では、触媒と基質の置換基間での立体反発のため、通常は進行しにくいオルト位でのC-Hホウ素化反応を、Lewis酸-塩基相互作用という比較的強い非共有結合性相互作用を利用することで達成できた。



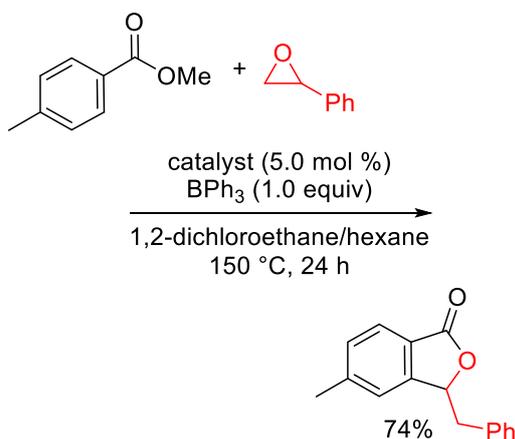
#### (4) C(sp<sup>2</sup>)-H/C(sp<sup>2</sup>)-Hカップリング反応による含ヘテロ原子π共役系化合物の合成

非共有結合性相互作用を利用する分子間でのC(sp<sup>2</sup>)-H/C(sp<sup>2</sup>)-Hカップリング反応の予備検討として、分子内でのC(sp<sup>2</sup>)-H/C(sp<sup>2</sup>)-Hカップリング反応による含ヘテロ原子π共役系化合物の合成を達成した。



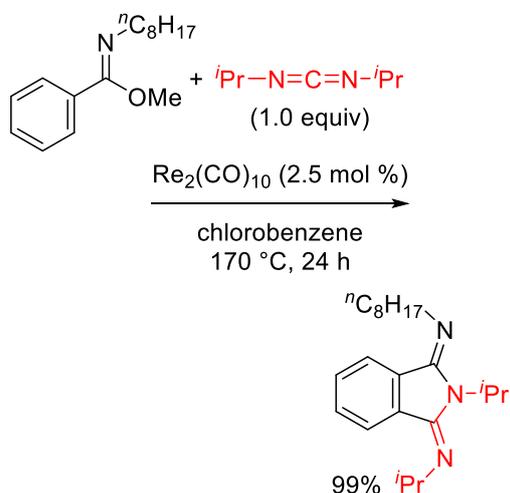
#### (5) マンガン/ボラン共同触媒によるオルト位選択的なC-H結合変換反応の開発

マンガン触媒とボランを共存させることにより、マンガン触媒としては初めての酸素配向基によるC-H結合変換反応を開発した。



#### (6) レニウム触媒によるオルト位選択的なC-H結合変換反応の開発

レニウム触媒による芳香族イミデートとカルボジイミドとの反応による1,3-ジイミドイソインドリン化合物の合成反応を開発した。



#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計16件)

- ① Hong-Liang Li, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Lewis Acid-Base Interaction-Controlled ortho-Selective C-H Borylation of Aryl Sulfides. *Angew. Chem. Int. Ed.* 査読有、Vol. 56, 2017, pp. 1495-1499  
DOI: 10.1002/anie.201610041
- ② Yoichiro Kuninobu, The Development of Novel C-H Bond Transformations and Their Application to the Synthesis of Organic Functional Molecules. *J. Synth. Org. Chem. Jpn.* 査読有、Vol. 74, 2016, pp. 1058-1068
- ③ Zijia Wang, Shunsuke Sueki, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, Rhenium-Catalyzed Synthesis of 1,3-Diiminoisindolines via Insertion of Carbodiimides into a C-H Bond of Aromatic and Heteroaromatic Imidates. *Org. Lett.* 査読有、Vol. 18, 2016, pp. 2459-2462  
DOI: 10.1021/acs.orglett.6b01012
- ④ Shunsuke Sueki, Zijia Wang, Yoichiro Kuninobu, Manganese- and Borane-Mediated Synthesis of Isobenzofuranones from Aromatic Esters and Oxiranes via C-H Bond Activation. *Org. Lett.* 査読有、Vol. 18, 2016, pp. 304-307  
DOI: 10.1021/acs.orglett.5b03474
- ⑤ Yoichiro Kuninobu, Shunsuke Sueki, C-H Bond Transformations Leading to the Synthesis of Organic Functional Materials. *Synthesis* 査読有、Vol. 47, 2015, pp. 3823-3845  
DOI: 10.1055/s-0035-1560346
- ⑥ Yoichiro Kuninobu, Haruka Ida, Mitsumi Nishi, Motomu Kanai, A meta-selective C-H borylation directed by a secondary interaction between ligand and substrate. *Nature Chem.* 査読有、Vol. 7, 2015, pp. 712-717  
DOI: 10.1038/nchem.2322
- ⑦ Zhen Wang, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Palladium-Catalyzed Oxirane-Opening Reaction with Arenes via C-H Bond Activation. *J. Am. Chem. Soc.* 査読有、Vol. 137, 2015, pp. 6140-6143  
DOI: 10.1021/jacs.5b02435
- ⑧ Kenta Saito, Prasanna Kumara Chikkade, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, Palladium-Catalyzed Construction of Heteroatom-Containing π-Conjugated Systems by Intramolecular Oxidative C-H/C-H Coupling Reaction. *Chem. Eur. J.* 査読有、Vol. 21, 2015, pp. 8365-8368  
DOI: 10.1002/chem.201501116

- ⑨ Shunsuke Sueki, Yoichiro Kuninobu, Rhodium-Catalyzed Synthesis of Multi-Substituted Silylindenes from Aryl Alkynes and Hydrosilanes via C-H Bond Activation. *Chem. Commun.* 査読有、Vol. 51, 2015, pp. 7685-7688  
DOI: 10.1039/c5cc01569c
- ⑩ Prasanna Kumara Chikkade, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Copper-Catalyzed Intermolecular C(sp<sup>3</sup>)-H Bond Functionalization Towards Synthesis of Tertiary Carbamates. *Chem. Sci.* 査読有、Vol. 6, 2015, pp. 3195-3200  
DOI: 10.1039/C5SC00238A
- ⑪ Takayuki Wakaki, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, Iridium-Catalyzed ortho-Selective C-H Silylation of Aromatic Compounds Directed toward the Synthesis of  $\pi$ -Conjugated Molecules with Lewis Acid-Base Interaction. *Org. Lett.* 査読有、Vol. 17, 2015, pp. 1758-1761  
DOI: 10.1021/acs.orglett.5b00529
- ⑫ Zhen Wang, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Copper-Mediated Direct C(sp<sup>3</sup>)-H and C(sp<sup>2</sup>)-H Acetoxylation. *Org. Lett.* 査読有、Vol. 16, 2014, pp. 4790-4793  
DOI: 10.1021/o15022542
- ⑬ Zhen Wang, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Molybdenum-Mediated Desulfurization of Thiols and Disulfides. *Synlett* 査読有、Vol. 25, 2014, pp. 1869-1872  
DOI: 10.1055/s-0034-1378315
- ⑭ Kyalo Stephen Kanyiva, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Palladium-Catalyzed C-H Silylation and Germanylation of Benzamides and Carboxyamides. *Org. Lett.* 査読有、Vol. 16, 2014, pp. 1968-1971  
DOI: 10.1021/o1500519y
- ⑮ Noriaki Takemura, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, Copper-Catalyzed Benzylic C(sp<sup>3</sup>)-H Alkoxylation of Heterocyclic Compounds. *Org. Biomol. Chem.* 査読有、Vol. 12, 2014, pp. 2528-2532  
DOI: 10.1039/C4OB00215F
- ⑯ Tomoaki Nishida, Aiko Fukazawa, Eriko Yamaguchi, Hiroya Oshima, Shigehiro Yamaguchi, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, Synthesis of Pyridine N-Oxide-BF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> Complexes and Their Fluorescence Properties. *Chem. Asian J.* 査読有、Vol. 9, 2014, pp. 1026-1030  
DOI: 10.1002/asia.201301688
- ① Yoichiro Kuninobu, Tomoaki Nishida, Haruka Ida, Motomu Kanai, 20th International Conference on Organic Synthesis (ICOS-20)、Regioselective Trifluoromethylation of N-Heteroaromatic Compounds using BF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> Activator、2014年6月29日～2014年7月4日、Budapest, Hungary
- ② Shunsuke Sueki, Yuanfang Guo, Motomu Kanai and Yoichiro Kuninobu、XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2014)、Rhenium-Catalyzed Synthesis of 3-Imino-1-isoindolinones via C-H Functionalization and Application to Synthesis of Polyimide Derivatives、2014年7月13日～2014年7月18日、Royton Sapporo (Sapporo, Japan)
- ③ 末木 俊輔、王 子嘉、郭 遠芳、金井 求、國信 洋一郎、第61回有機金属化学討論会、レニウム触媒を用いた3-イミノおよび1,3-ジイミノイソインドリノンの合成法の開発およびその応用、2014年9月23日～2014年9月25日、九州大学病院キャンパス (福岡県福岡市東区)
- ④ 井田 悠、西田 友明、國信 洋一郎、金井 求、第61回有機金属化学討論会、OBF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>基による活性化を用いる含窒素ヘテロ芳香族化合物の位置選択的トリフルオロメチル化反応、2014年9月23日～2014年9月25日、九州大学病院キャンパス (福岡県福岡市東区)
- ⑤ Yoichiro Kuninobu、8th Singapore International Chemical Conference (SICC-8)、Development of Novel C-H Bond Transformations Directed Towards Organic Functional Materials、2014年12月14日～2014年12月17日、National University of Singapore (Singapore)
- ⑥ 若木 貴行、金井 求、國信 洋一郎、日本化学会第95春季年会、イリジウム触媒によるLewis酸-塩基相互作用を利用した位置選択的なC-Hシリル化反応、2015年3月26日～2015年3月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県船橋市)
- ⑦ 西 光海、井田 悠、國信 洋一郎、金井 求、日本化学会第95春季年会、水素結合を利用した芳香族化合物のメタ位選択的なC-Hボリル化反応、2015年03月26日～2015年03月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県船橋市)
- ⑧ Zhen Wang, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, 日本化学会第95春季年会、Palladium-Catalyzed C(sp<sup>2</sup>)-C(sp<sup>3</sup>) Coupling Reaction between Arenes and Oxiranes via C-H Bond Activation、2015年3月26日～2015年3月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県船橋市)
- ⑨ 末木 俊輔、國信 洋一郎、日本化学会第95春季年会、C-H結合活性化を鍵反応と

[学会発表] (計40件) 以下は抜粋

- するロジウム触媒を用いた多置換シリルインデンの合成とその蛍光特性、2015年03月26日～2015年03月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス（千葉県船橋市）
- ⑩ Jijia Wang, Shunsuke Sueki, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, 日本化学会第95春季年会、Rhenium-Catalyzed Synthesis of 1,3-Diiminoisoindolinones via C-H Bond Activation, 2015年03月26日～2015年03月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス（千葉県船橋市）
- ⑪ 永瀬 政弘、國信 洋一郎、金井 求、日本化学会第95春季年会、BF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>をLewis酸およびトリフルオロメチル化剤として用いた6員環へテロ芳香族化合物のベンジル位C(sp<sup>3</sup>)-Hトリフルオロメチル化反応、2015年3月26日～2015年3月29日、日本大学理工学部船橋キャンパス（千葉県船橋市）
- ⑫ 井田 悠、西 光海、國信 洋一郎、金井 求、日本薬学会第135年会、水素結合を利用した芳香族化合物のメタ位選択的なC-Hホウ素化反応、2015年3月25日～2015年3月28日、兵庫医療大学（兵庫県神戸市）
- ⑬ Yoichiro Kuninobu, Haruka Ida, Mitsumi Nishi, Motomu Kanai, OMCOS18, Hydrogen Bond-Controlled meta-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds, 2015年06月28日～2015年07月02日, Sitges, Barcelona, Spain
- ⑭ Shunsuke Sueki, Zijia Wang, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, OMCOS18, Rhenium-Catalyzed Synthesis of 1,3-Diiminoisoindolines via Insertion of Carbodiimides into a C-H Bond, 2015年06月28日～2015年07月02日, Sitges, Barcelona, Spain
- ⑮ Prasanna Kumara Chikkade, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, OMCOS18, Copper-Catalyzed Intermolecular C(sp<sup>3</sup>)-H Bond Functionalization Towards the Synthesis of Tertiary Carbamates, 2015年06月28日～2015年07月02日, Sitges, Barcelona, Spain
- ⑯ Zhen Wang, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, OMCOS18, Palladium-Catalyzed C(sp<sup>2</sup>)-C(sp<sup>3</sup>) Coupling Reaction between Arenes and Oxiranes via C-H Bond Activation, 2015年6月28日～2015年7月02日, Sitges, Barcelona, Spain
- ⑰ Takayuki Wakaki, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, OMCOS18, Iridium-Catalyzed Regioselective C-H Silylation Controlled by Lewis Acid-Base Interaction, 2015年6月28日～2015年7月2日, Sitges, Barcelona, Spain
- ⑱ 井田 悠、西 光海、國信 洋一郎、金井 求、第62回有機金属化学討論会、水素結合による基質認識を利用した芳香族化合物のメタ位選択的C-Hボリル化反応、2015年9月7日～2015年9月9日、関西大学千里山キャンパス
- ⑲ 若木 貴行、金井 求、國信 洋一郎、第62回有機金属化学討論会、イリジウム触媒によるLewis酸-塩基相互作用を利用したオルト位選択的なC-Hシリル化反応、2015年9月7日～2015年9月9日、関西大学千里山キャンパス
- ⑳ 末木 俊輔、國信 洋一郎、第62回有機金属化学討論会、ロジウム触媒を用いたC-H結合活性化を伴う多置換シリルインデン類の合成、2015年9月7日～2015年9月9日、関西大学千里山キャンパス
- ㉑ Yoichiro Kuninobu, Haruka Ida, Mitsumi Nishi, Motomu Kanai, IKCOK-13, Hydrogen Bond-Controlled meta-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds, 2015年11月9日～2015年11月13日、京都、リーガロイヤルホテル京都
- ㉒ Yoichiro Kuninobu, Tomoaki Nishida, Masahiro Magase, Haruka Ida, Motomu Kanai, PACIFICHEM 2015, Regioselective Trifluoromethylation of 6-Membered Heteroaromatic Compounds, 2015年12月15日～2015年12月20日, Honolulu, Hawaii, USA
- ㉓ Yoichiro Kuninobu, Haruka Ida, Mitsumi Nishi, Motomu Kanai, PACIFICHEM 2015, Hydrogen Bond-Controlled meta-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds, 2015年12月15日～2015年12月20日, Honolulu, Hawaii, USA
- ㉔ Hong Liang Li, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, 日本化学会第96春季年会, ortho-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds Controlled by Lewis Acid-Base Interaction, 2016年3月24日～2016年3月27日, 同志社大学京田辺キャンパス
- ㉕ 若木 貴行、國信 洋一郎、金井 求、日本化学会第96春季年会、パラジウム触媒によるアルデヒドとハロゲン化アリールからのケトン合成、2016年3月24日～2016年3月27日、同志社大学京田辺キャンパス
- ㉖ 末木 俊輔、王 子嘉、國信 洋一郎、日本化学会第96春季年会、マンガン-ボラン触媒を用いるC-H結合活性化を鍵反応とするイソベンゾフラノン合成法の開発、2016年3月24日～2016年3月27日、同志社大学京田辺キャンパス
- ㉗ Mitsumi Nishi, Haruka Ida, Yoichiro Kuninobu, and Motomu Kanai, Symposium on Frontiers of Molecular Science and Technology, A meta-Selective C-H Borylation Directed by Hydrogen Bonds

- between Ligand and Substrate, 2016年7月2日～2016年7月2日, The University of Tokyo, Japan
- ②⑧ 吉越 裕介、國信 洋一郎, 第63回有機金属化学討論会, 鉄触媒によるオルト位選択的なC-Hホウ素化反応の開発, 2016年9月14日～2016年9月16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- ②⑨ 若木 貴行、國信 洋一郎、金井 求, 第63回有機金属化学討論会, ピコリン酸アミド配位子をもつパラジウム触媒によるアルデヒドと有機ハロゲン化物からのケトン合成, 2016年9月14日～2016年9月16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- ③⑩ Hong-Liang Li, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, 第63回有機金属化学討論会, ortho-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds Controlled by Lewis Acid-Base Interaction, 2016年9月14日～2016年9月16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス
- ③⑪ Zijia Wang, Motomu Kanai, Yoichiro Kuninobu, 日本化学会第97春季年会, Iron-Catalyzed Oxyalkylation of Styrenes Using Hypervalent Iodine Reagents, 2017年3月16日～2017年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ③⑫ Yusuke Yoshigoe, Yoichiro Kuninobu, 日本化学会第97春季年会, Development of Iron-Catalyzed C-H Borylation of 2-Phenylpyridines and Their Analogues and Optical Properties of The Products, 2017年3月16日～2017年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ③⑬ 飯島千景・坂田健・末木俊輔・國信洋一郎, 日本化学会第97春季年会, マンガン触媒を用いたC-H 結合活性化反応に関するDFT 計算, 2017年3月16日～2017年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ③⑭ 山川健司、國信洋一郎、金井求, 日本化学会第97春季年会, イリジウム触媒を用いるピリジン類の4位選択的なC-Hホウ素化, 2017年3月16日～2017年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ③⑮ Hong-Liang Li, Yoichiro Kuninobu, Motomu Kanai, 日本化学会第97春季年会, ortho-Selective C-H Borylation of Aromatic Compounds Using Distal Functional Group, 2017年3月16日～2017年3月19日, 慶應義塾大学日吉キャンパス
- ③⑯ 若木 貴行, 藤後 貴也, 吉留 大輔, 國信 洋一郎, 金井 求, 日本薬学会第137年会, パラジウム触媒によるC-H結合活性化を伴うアルデヒドとハロゲン化物からのケトン合成, 2017年3月24日～2017年3月27日, 仙台国際会議場
- ③⑰ 藤後 貴也, 新谷 卓士, 相馬 洋平, 國

信 洋一郎, 金井 求, 日本薬学会第137年会, A $\beta$ 凝集阻害剤の創出を支援するC-Hカップリング反応の開発, 2017年3月24日～2017年3月27日, 仙台国際会議場

【図書】(計1件)

國信洋一郎 (分担), 有機合成実験法ハンドブック 第2版, 丸善出版, 2015, 総ページ数: 1194

【産業財産権】

○出願状況 (計2件)

名称: イミノ基を有する可溶性ポリイミド系重合体、及びその製造方法

発明者: 國信 洋一郎、末木 俊輔

権利者: 國信 洋一郎、末木 俊輔

種類: 特許

番号: PCT/JP2014/067762

出願年月日: 2014年7月3日

国内外の別: 外国

名称: ビピリジル化合物

発明者: 國信 洋一郎、金井 求、井田 悠、西 光海

権利者: 國信 洋一郎、金井 求、井田 悠、西 光海

種類: 特許

番号: PCT/JP2015/052450

出願年月日: 2015年1月29日

国内外の別: 外国

○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

kuninobu-lab.cm.kyushu-u.ac.jp/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

國信 洋一郎 (KUNINOBU, Yoichiro)

九州大学・先導物質化学研究所・教授

研究者番号: 40372685

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号:

(4) 研究協力者

( )