

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05135

研究課題名(和文) ホウ素アート錯体の性質に基づく再利用可能な有機基転移剤の開発

研究課題名(英文) Development of Reusable Organic Group Transfer Agent Based on Boron Art Complex

研究代表者

隅田 有人 (Sumida, Yuto)

金沢大学・薬学系・助教

研究者番号：40630976

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：今回、剛直かつ高い平面性を示す五環性ホウ素化合物ボラセンに対して強い求核剤を作用させることで、安定に取り扱えるホウ素アート錯体を見出した。このホウ素上に載せた有機基は選択的に反応に利用できる。特に可視光照射下、直接的に励起され、炭素-ホウ素結合が均等開裂することで、有機基由来のアルキルラジカルが生じることを明らかとした。これは光のみを契機とした炭素ラジカルの新たな発生法として有機合成に新たな手法を与える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ホウ素原子が環状分子骨格に埋め込まれた「ボラセン」から調製される有機ホウ素アート錯体を独自に設計・合成した。有機ホウ素アート錯体と可視光により発生させた炭素ラジカルは、化学反応の炭素源として活用でき、これまで到達困難とされていた複雑かつかさ高い有機化合物などをつくり出せる。本研究成果は、有機ホウ素化合物と光エネルギーを組み合わせることで可能となる新しい有機合成技術を提供したといえ、創薬研究などをより一層加速させるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have found a boron-ate complex that can be stably handled available from the corresponding a strong nucleophile, such as organolithium or organoagnesium to the robust and highly planar pentacyclic boron compound boracene. The organic groups on the boron can be selectively used for the synthetic methodology. In particular, under visible light irradiation, the direct excitation and homolytic or mesolytic cleavage of carbon-boron bond occurs to the formation of alkyl radical derived from the organic group. This is an attractive method for the generation of carbon-centered radical generation triggered only by visible light, which provides a new approach to organic synthesis.

研究分野：有機合成化学 有機金属化学

キーワード：ホウ素アート錯体 直接光励起 アルキルラジカル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

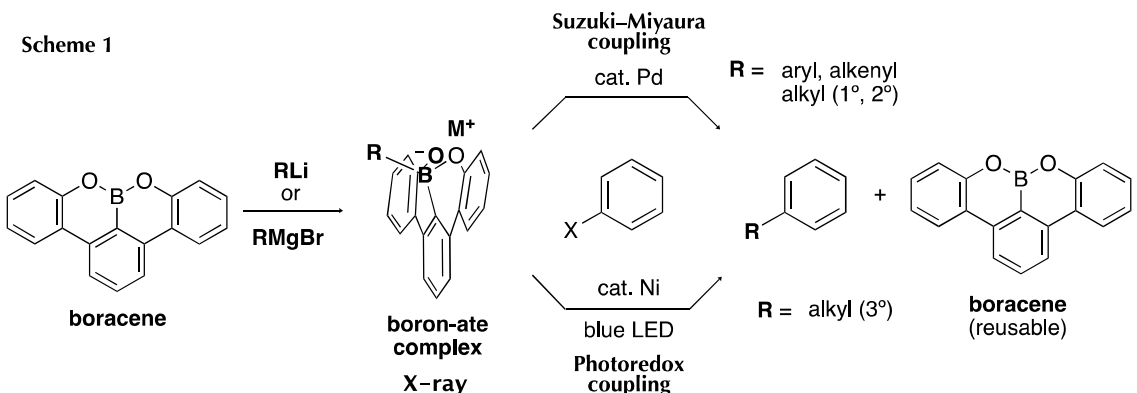
有機ホウ素化合物は、有機材料科学や創薬、分子イメージングなど多岐にわたる分野で重要な位置を占め、中でも合成化学においては、炭素-ホウ素結合の遷移金属に対する高い化学選択性を利用した多くの化学変換が開発されており、極めて有用な反応剤である。とくにパラジウム (Pd) などの遷移金属触媒による有機ホウ素化合物と有機ハロゲン化物を用いた鈴木-宮浦クロスカップリング反応は、現代有機化学において最も信頼性の高い炭素-炭素結合形成反応の一つであり、さまざまな分野で頻りに用いられる。しかし、有機ホウ素化合物が一般に高価であることが、しばしば工業レベルでの使用や、製薬企業の創薬開発でのボトルネックとなっている。一方、Pd 触媒による有機リチウム (Li) 試薬や有機マグネシウム (Mg) 試薬 (= Grignard 試薬) を用いた村橋クロスカップリング反応や、ニッケル (Ni) 触媒による熊田-玉尾-Corriu クロスカップリング反応は、安価で入手容易な反応剤を用いるため、実用性の面から汎用されている。しかし反応性が高いことから、ホモカップリングによる二量化体や繊細な官能基と反応して望まない副生成物を与えることが潜在的な問題点としてあげられる。近年、多くのホウ素化反応が開発され、これまで合成困難だった有機ホウ素化合物の取得が可能になっているものの、一般に用いる市販で入手容易な有機ホウ素試薬の多くが有機 Li 試薬や Grignard 試薬を経由して合成しているのが現状である。このため、有機ホウ素化合物が可能にする高価な化学変換を有機 Li、Grignard 試薬で実現できれば、安価な試薬による、かつ短段階な化学変換が可能となることから、大幅なリソース削減に繋がる。

2. 研究の目的

本研究課題では、有機 Li 試薬あるいは Grignard 試薬を利用した高効率な鈴木-宮浦クロスカップリングの実現を目的として、ホウ素アート錯体の性質に基づく再利用可能な有機基転移剤を開発した。この課題を実現するには、求核剤と三配位・平面構造の有機ホウ素化合物とが反応して一次的に形成する、四配位・正四面体構造のホウ素アート錯体において、望みのユニットのみが遷移金属へ選択的に転移する、あたかも有機ホウ素化合物が求核剤に対して「vehicle (乗り物)」のような働きをするように設計しなくてはならなかった。

3. 研究の方法

これまでに、平面五環化合物 8,9-dioxa-8a-borabenzofluorene (以後 boracene) を含む dibenzoxaborin 類の簡便合成を指向したホウ素選択的クロスカップリングを報告している^{1,2}。今回申請者は、三配位状態では剛直な骨格と高い平面性を有するこの「boracene」に、有機リチウム (Li) や Grignard (有機マグネシウム) 試薬を作用させると、大気下や水中でも取り扱い可能な四配位ホウ素アート錯体が得られることを見いだした。またホウ素アート錯体は、Li、Mg のいずれの場合においてもその構造を単結晶 X 線構造解析により確認できた。この boracene から調製したホウ素アート錯体とハロゲン化アリールを用いて (1) パラジウム (Pd) 触媒による鈴木-宮浦カップリング反応や (2) 青色 LED 照射下でのニッケル (Ni) 触媒によるアルキル化反応を行うと、求核剤由来の有機基のみが選択的に反応して、それぞれ対応するクロスカップリング生成物を与えた。本反応は多彩な官能基共存下でも問題なく反応は進行し、抗ウイルス薬である brivudine などの生理活性物質のアルキル化も可能であった。さらに、アルキル基のみならず PhLi や PhMgBr (Ph Grignard 試薬) でも、同様の変換が進行することも見いだしており、非常に官能基許容性と汎用性の高い反応と言える。また本手法は、単離したホウ素アート錯体を用いても、ワンポットで調製した場合においても反応が効率良く進行することが確認されるとともに、いずれのクロスカップリング反応においても反応後に単離された boracene は収率よく回収され、精製後に再利用できた (Scheme 1)。以下、(1) と (2) に関して、その詳細について報告する。



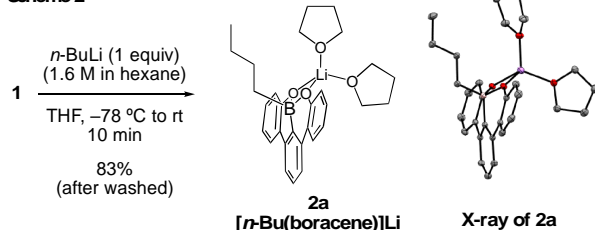
4. 研究成果

(1) Boracene から調製したホウ素アート錯体を用いた Pd 触媒による高効率な鈴木-宮浦クロス

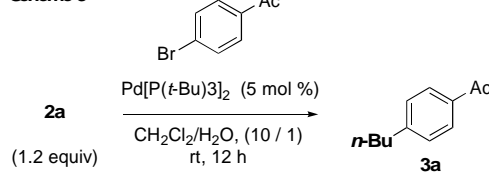
カップリング反応の開発 (論文未発表)

遷移金属触媒を用いた有機金属試薬と有機ハロゲン化物とのクロスカップリング反応は、炭素-炭素結合形成を実現するための最も信頼性の高い方法の一つである。³ 例えば、有機 Li や Grignard 試薬を用いた Murahashi カップリングあるいは Kumada-Tamao-Corriu カップリングは、安価で高反応性の有機金属試薬を用いるため、常温で迅速に完結する有用な反応である。しかし官能基耐性が低いことや、有機金属試薬を慎重に調製する必要があることから、適用できる基質範囲は限られている。また有機金属試薬として有機ホウ素化合物を用いる鈴木-宮浦カップリングは、クロスカップリング反応の中でも、化学選択性に優れ、いわゆる late-stage (合成後段階) での適用が可能なることから、極めて汎用性の高い方法論である。一方で、用いる有機ホウ素化合物については、古典的なヒドロホウ素化や近年発展している直接 C-H ホウ素化を含む多くの合成法があるものの、市販されている有機ホウ素のほとんどは、有機 Li や Grignard 試薬のホウ素化によって調製されているのが現状である。このことから、安価で容易に入手可能な有機 Li, Grignard 試薬を用いたクロスカップリングは、高い E-ファクター⁴を示すため、サステイナブルケミストリーの観点から期待されている。

Scheme 2



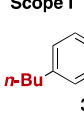
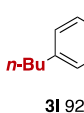
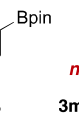
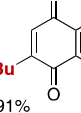
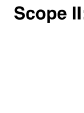
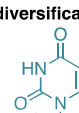
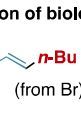

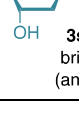
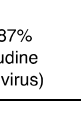

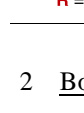
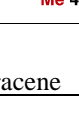
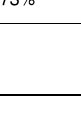
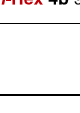
Scheme 3



今回申請者は、先述した boracene **1** から調製されたホウ素アート錯体が、鈴木-宮浦クロスカップリングにおける回収・再利用可能な選択的有機基転移試薬として機能することを見出した。有機ホウ素アート錯体は、boracene を有機 Li あるいは Grignard 試薬で処理することにより調製した (Scheme 2)。有機ホウ素アート錯体 **2a** は空気や水分に対してかなり安定であり、その詳細構造は X 線結晶構造解析により確認できた。この X 線結晶構造解析の結果、ホウ素アート錯体はもとの boracene 平面から四面体構造に変化していることがわかった。対カチオンである Li は、ホウ素アート錯体の 2 つの酸素原子と 2 分子のテトラヒドロフランが配位しており、これらの配位が錯体の安定性に寄与していると考えられる。最も重要な構造的特徴は、ブチル基が空間的に外側に伸びていることであり、遷移金属と選択的に反応することが予想された。まず、4-プロモアセトフェノンをカップリングパートナーとして鈴木-宮浦クロスカップリングに適用することで [n-Bu(boracene)]Li, **2a** を評価した。その結果、高いトリアルキルホスフィンが最も良い収率で生成物を与え、さらに本反応は塩基を必要とすることなく進行することが明らかとなった (Scheme 3, unpublished)。またトランスメタル化と呼ばれる遷移金属と有機ホウ素化合物の間で起こる有機基転移反応では、ホウ素上の sp^2 炭素が優先して反応することが知られているにも関わらず、 sp^3 炭素が選択的に反応したことは注目に値する。

最適化された条件で、ハロゲン化アリールおよびアルケンの基質範囲を検討した。本反応は調製した有機ホウ素アート錯体に対して、塩基を添加することなく、室温で速やかに進行するため、非常に基質適用範囲が広く、Table 1 に示す様にさまざまなハロゲン化アリのアルキル化が可能であった。さらに、ハロゲンまたは擬ハロゲンを有する生理活性化合物の多様化を試みたところ、抗ウイルス活性を有するプリブジン、クロロ基を有する生理活性化合物であるニューキノロン前駆体やインドメタシンは、それぞれ対応する誘導体 **3t** および **3u** にスムーズに変換された。さらにフェノール性水酸基を有する SN-38 の場合も、擬ハロゲンである OTf へと変換したのちアルキル化できた。以上の結果から、本系は生物活性化合物のさらなる多様化にも有用なことが示された。次に、有機 Li 試薬の範囲を確認した (Table 2)。MeLi, *n*-HexLi から調製したホウ素アート錯体とのクロスカップリングにより、**4a** および **4b** を与え、PhLi と 2-チエニルリチウムを用いると、対応するホウ素アート錯体を介してアリール化が可能であった。また第 *s*-BuLi から生成したホウ素アート錯体を用いて、 β -ヒドリド脱離による異性化やプロトン化を行わずに、高収率でクロスカップリング生成物 **4e** が得られた。

引き続き、Grignard 試薬を用いてホウ素アート錯体の調製を試みた。有機 Li と同様に、**1** を *n*-BuMgBr で処理したところ、得られた白色固体を ¹H NMR で分析したところ、対応するホウ素アート錯体が形成しており、X 線回折分析の結果、2 分子のホウ素アート錯体が Mg に配位をしていた。この二量体 [n-Bu(boracene)]₂Mg を、4-プロモアセトフェノンと反応させたところ、生成物が得られ、boracene **1** を定量的に回収できた。

Table 1		Pd[P(<i>t</i> -Bu) ₃] ₂ (3 mol %)		3a-r + 1	
2a [<i>n</i> -Bu(boracene)]Li		aryl / alkenyl-X (1 equiv)		CH ₂ Cl ₂ /H ₂ O (10/1) rt, 18 h	
Scope I from Br : 99% Cl : 96% I : 99% OTf : 91% ^a					
 3a		R = CO ₂ Et (3b) 91% CHO (3c) 95% CN (3d) 97% NO ₂ (3e) 98%		CO ₂ H (3f) 95% OH (3g) quant NH ₂ (3h) 91%	
 3i 90%		 3j 47%		 3k 85%	
 3l 92%		 3m 91%		 3n 86%	
 3o 91%		 3p 79%		 3q 71%	
 3r 69%					
Scope II: diversification of biologically active compounds					
 3s 87% brivudine (anti-virus)		 3t 82% new quinolone (anti-bacterial)		 3u 88% indometacin (anti-inflammatory)	
				 3v 93% SN-38 (anti-cancer)	
Table 2					
[R(boracene)]Li		Pd[P(<i>t</i> -Bu) ₃] ₂ (3 mol %)		R + 1	
		CH ₂ Cl ₂ /H ₂ O (10/1) rt, 18 h		4a-f	
R =		Me 4a 73%		<i>n</i> -Hex 4b 91%	
		Ph 4c 96%		2-thienyl 4d 98%	
		<i>s</i> -Bu 4e 97%		<i>t</i> -Bu 4f 0%	

(2) Boracene から調製したホウ素アート錯体の可視光直接励起に基づく Ni 触媒による第三級アルキル基導入反応の開発

近年、可視光を利用した温和な条件下での sp³ 炭素中心ラジカル生成は、化学反応の強力なツールとして注目されている。このラジカル生成段階は、励起状態の光レドックス触媒とカルボン酸、シュウ酸塩、有機ホウ素アート塩、有機ケイ素アート塩、Katritzky 塩、4-アルキル-1,4-ジヒドロピリジン（アルキル-DHP）などのラジカル前駆体との間の単一電子移動過程を介して進行する（figure 1A）。この光化学反応は、sp³ 炭素中心ラジカルの性質を利用しているため、第三級または第二級アルキル基のような立体的に高い sp³ 炭素フラグメントを有機分子に導入できる。この分野での顕著な進歩にもかかわらず、光レドックス触媒の酸化/還元ステップは、しばしば反応を複雑にする。その様な中、光触媒の酸化還元サイクルを回避してラジカル前駆体を直接励起することが、sp³ 炭素中心ラジカルの生成のための代替的なアプローチとして浮上している。しかし、直接可視光励起による第三級アルキルラジカル生成については、いまだ未達成であった。申請者は、今回独自に開発した有機ホウ素アート錯体 2f の直接可視光励起により、光レドックス触媒の添加を必要とせずに、第三級、第二級および第一級アルキルラジカルの生成が可能であることを見出した（figure 1B）。

Boracene は benzo[fg]tetracene 骨格という長い π 共役系を持ち、かつ非常に高い化学的安定性を有している。そこでまず、光化学反応によるアルキルラジカル生成の実現可能性を評価するために、有機ホウ素アート錯体 2f の光物性を調べた。Boracene の UV/Vis スペクトルは 335 nm に最大吸収波長を示したが、2f は長波長シフトを示し、そのスペクトルは約 370 nm で観察され、裾野が 400 nm 以上にまで達していた（figure 1C）。さらに対応する蛍光スペクトル（370 nm で励起）の測定結果に加えて、2f のサイクリックボルタンメトリー（CV）を測定したところ、酸化還元電位（+0.78 vs. SCE in MeCN）が得られた。これは近年広く用いられているアルキル BF₃K（*t*-BuBF₃K = +1.26 V vs. SCE in MeCN）に比べて高い値を示し、2f の UV/Vis、蛍光、および CV データに基づいて、励起状態の酸化還元電位[E(2f^{+/•}/2f^{*•})]は、Rehm-Weller 近似によると -2.2 V と推定できた。次に、ホウ素アート錯体からのアルキルラジカルの生成する過程を評価するためにいくつかの実験を行った。まず一般的なラジカル捕捉剤である TEMPO の存在下で *tert*-ブチルホウ素アート錯体 2f を反応させると、可視光照射下、64%の収率で *tert*-ブチルラジカル補足付加体が得られた（figure 1D）。さらに BnMgCl から調製したホウ素アート錯体 2b に対して、他に添加することなく光照射したところ、ラジカル-ラジカルカップリングを介して bibenzyl が定量的に得られた（figure 1E）。これらの結果から、SET を介することなく、光照射するだけでアルキルラジカルが発生する可能性があることが示唆された。

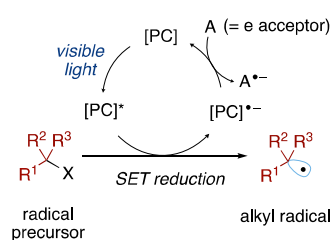
また、2f の酸化還元過程を調べるために、4-シアノピリジン(4)を用いた反応を試みた（figure 1F）。2f の推定還元電位（-2.2 V）は、4 (E_{1/2} = -1.75 V vs. SCE in MeCN) の一電子還元が可能だと考えられる。その結果、長寿命なシアノピリジルラジカルアニオンと *tert*-ブチルラジカルを生じ、その後ラジカル-ラジカルカップリングによって炭素-炭素結合を形成する。

次に青色 LED 照射下で、Giese 付加反応として第三級、第二級、第一級のアルキル基を有する有機ホ

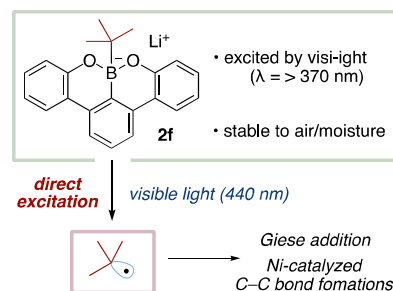
ウ素アート錯体とジメチルフマル酸エステルを反応させると、それぞれ対応する 1,4-付加体が得られた (figure 1G)。

これらの結果を踏まえて、ハロゲン化アリールを用いた可視光触媒によるニッケル触媒クロスカップリングに着手した (figure 1H)。有機ホウ素アート錯体 **2f** と 4-プロモビフェニルとの反応を、触媒量の Ni(acac)₂ を用いて、青色 LED 照射下で行ったところ、単離収率 76% の生成物が得られた。このプロトコルでは、Molander らによって開発された Ni/Ir 光レドックス協働触媒⁴ ではほとんど反応が進行しない、電子豊富なハロゲン化アリールのアルキル化が可能であった。最後に、アルケンのアルキルアリール化について検討した (figure 1I)。有機ホウ素アート錯体 **2f**、アルケン、およびハロゲン化アリールの反応は、Ni 触媒の存在下、青色 LED 照射下で行われ、3 成分カップリング生成物 **8** を与えた。

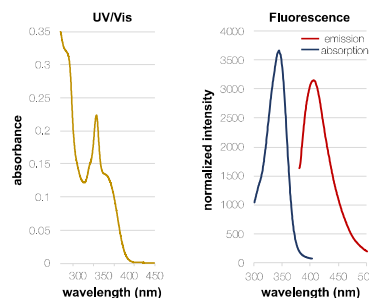
A. Alkyl Radical in Photoredox Catalysis



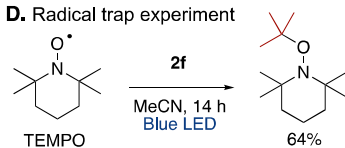
B. this work



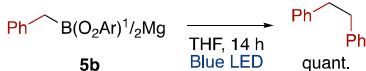
C. Photophysical property



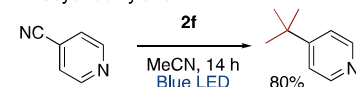
D. Radical trap experiment



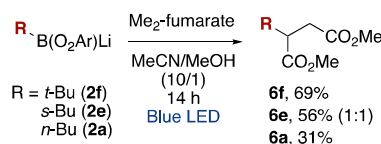
E. Dimerization via direct excitation



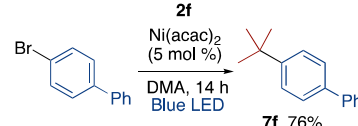
F. Decyanoalkylation



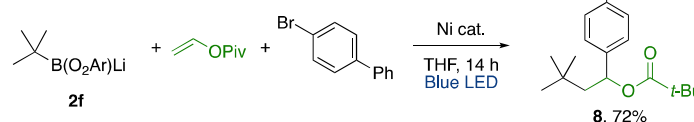
G. Giese addition



H. Ni-catalyzed alkyl-aryl coupling



I. Ni-catalyzed alkyl-aryl coupling



以上の成果より、今回申請者は、独自に設計・開発した有機ホウ素アート錯体を基盤に様々な化学変換に適用可能であることを示した。本研究課題で示した有機ホウ素アート錯体は、boracene に対して任意に反応させた求核剤由来の有機基を選択的に化学変換に使用できる。これは反応後に boracene が回収・再利用可能であることを示しており、持続可能な社会実現に寄与できると考えている。

(1) Sumida, Y.; Harada, R.; Kato-Sumida, T.; Johmoto, K.; Uekusa, H.; Hosoya, T. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 6240.

(2) Another synthetic method of boracene: Numano, M.; Nagami, N.; Nakatsuka, S.; Katayama, T.; Nakajima, K.; Tatsumi, S.; Yasuda, N.; Hatakeyama, T. *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 11574

(3) Johansson Seechurn, C. C. C.; Kitching, M. O.; Colacot, T. J.; Snieckus, V. Palladium-Catalyzed Cross-Coupling: A Historical Contextual Perspective to the 2010 Nobel Prize. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2012**, *51*, 5062.

(4) Primer, D. N.; Molander, G. A., Enabling the Cross-Coupling of Tertiary Organoboron Nucleophiles through Radical-Mediated Alkyl Transfer. *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 9847–9850.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Arakawa Nozomi, Nagao Kazunori, Murakami Ryo, Sumida Yuto, Arakawa Hiroshi, Inagaki Fuyuhiko, Ohmiya Hirohisa	4. 巻 93
2. 論文標題 Aliphatic Oxaboroles Enabling Remarkable Recognition of Diols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 576 ~ 580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sato Yukiya, Nakamura Kei, Sumida Yuto, Hashizume Daisuke, Hosoya Takamitsu, Ohmiya Hirohisa	4. 巻 -
2. 論文標題 Generation of Alkyl Radical through Direct Excitation of Boracene-Based Alkylborate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c04456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sumida Yuto, Harada Ryu, Sumida Tomoe, Hashizume Daisuke, Hosoya Takamitsu	4. 巻 47
2. 論文標題 Hydrosilyl Group-directed Iridium-catalyzed peri-Selective C-H Borylation of Ring-fused (Hetero)Arenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1251 ~ 1254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180594	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sumida Yuto, Harada Ryu, Sumida Tomoe, Johmoto Kohei, Uekusa Hidehiro, Hosoya Takamitsu	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of Dibenzofurans by Cu-Catalyzed Deborylative Ring Contraction of Dibenzoxaborins	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 6687 ~ 6691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c02584	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 隅田 有人, 隅田 ともえ, 橋爪 大輔, 細谷 孝充
2. 発表標題 高選択的有機基転移能を有する有機ホウ素化合物の開発
3. 学会等名 日本薬学会 第139年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Sumida, Tomoe Sumida, Midori Rikitake, Daisuke Hashizume, Takamitsu Hosoya
2. 発表標題 Nickel/Iridium-cocatalyzed Photoredox Coupling Using Recyclable Boracene
3. 学会等名 ICHAC2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 隅田 有人, 力武 緑, 隅田 ともえ, 橋爪 大輔, 細谷 孝充
2. 発表標題 高化学選択的な有機基転移能を有する分子ボラセンの開発
3. 学会等名 第69回 日本薬学会関西支部総会・大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野美咲, 隅田 有人, 長尾一哲, 古山 溪行, 稲垣 冬彦, 大宮 寛久
2. 発表標題 オキサポロールの合成と光物理的性質の探索
3. 学会等名 日本薬学会北陸支部 第131回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 隅田 有人, 隅田 ともえ, 橋爪 大輔, 細谷 孝充
2. 発表標題 高選択的有機基転移能を有する有機ホウ素化合物の開発
3. 学会等名 第139回日本薬学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 隅田 有人, 隅田 ともえ, 力武 緑, 橋爪 大輔, 細谷 孝充
2. 発表標題 再利用可能な有機ホウ素分子を用いたNi/Ir協働触媒による可視光レドックスカップリング反応の開発
3. 学会等名 第99回日本化学会春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Sumida, Tomoe Sumida, Daisuke Hashizume, Takamitsu Hosoya
2. 発表標題 Boracene: a recyclable selective organo group transfer reagent
3. 学会等名 IKCOC-14
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 隅田有人, 隅田ともえ, 細谷孝充
2. 発表標題 再利用可能な有機ホウ素試薬を用いる選択的有機基転移反応の開発
3. 学会等名 第44回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 隅田有人, 隅田ともえ, 橋爪大輔, 細谷孝充
2. 発表標題 再利用可能な有機ホウ素化合物ボラセンを用いた選択的有機基転移剤の開発
3. 学会等名 第68回日本薬学会近畿支部総会・大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 隅田有人, 隅田ともえ, 細谷孝充
2. 発表標題 剛直な有機ホウ素を基盤とした再利用可能な選択的有機基転移剤の開発
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Sumida, Tomoe Sumida, Takamitsu Hosoya
2. 発表標題 Selective Alkyl Transfer Reaction Using a Recyclable Organoboron Compound
3. 学会等名 MACOS
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Sumida, Tomoe Sumida, Takamitsu Hosoya
2. 発表標題 Selective alkyl transfer reaction based on a recyclable organoboron compound_
3. 学会等名 ICOMC 2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

有機ボウ素化合物と光エネルギーを活用した新しい有機合成技術を開発
<https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/80003>
New protocol using organoboron and visible-light
https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-05/ku-npf052720.php

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------