

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03020

研究課題名(和文)ホウ素化合物による新芳香環構築反応の機構解明と機能材料開発

研究課題名(英文)Development functional materials by the boron-mediated aromatic ring-forming reactions

研究代表者

庄子 良晃 (Shoji, Yoshiaki)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：40525573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,580,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ホウ素が媒介する新しい芳香環構築反応の機構の解明ならびに、この反応を利用した電子系機能物質の開発に取り組んだ。実験および理論計算により、9-ボラフルオレン誘導体によるアルキンの1,2-カルボホウ素化と、それにより生成するボレピン誘導体の酸化的芳香環化反応の機構を明らかにし、アルキンの芳香環化に有用な9-ボラフルオレン誘導体の構造要素を示した。また本反応を用い、キラル識別能を有する動的プロペラ分子や、直線状ポリマーからマイクロ多孔性ジグザグ型ポリマーへの直接変換反応を開発した。本研究で得られた知見は、立体構造と動的特性がシナジーした新たな電子系材料を開発するための有用な基盤となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、独自に見出した、ホウ素化合物による新しい電子系骨格構築反応のメカニズムを明らかにするとともに、開発した新反応を用いて、特異な構造特性や動的特性を有する電子系機能分子・高分子を開発しました。本研究を通じて、典型元素であるホウ素が織りなす新たな反応化学を開拓することができました。また得られた知見は、有機エレクトロニクスに応用可能な新材料開発にも有用であると期待できます。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused on (1) the elucidation of the mechanism of a new boron-mediated aromatic ring construction reaction and (2) the development of π -conjugated functional materials. Through experimental and theoretical studies, we succeeded in the evaluation of the boron-mediated 1,2-carboboration of alkynes and the oxidative deborylation/C-C coupling of the resultant borepin derivatives. We also clarified the structural elements of 9-borafluorenes required for the efficient benzannulation of alkyne derivatives. Using the optimized reaction conditions and substrates, we have developed a dynamic propeller molecule with superb chiral sensing capability and a direct transformation reaction of linear π -conjugated polymers into microporous zigzag-shaped polymers. These findings would be useful for the development of new π -conjugated materials with unique structural and dynamic properties.

研究分野：有機典型元素化学

キーワード：ホウ素 電子系分子 共役高分子 ルイス酸 アルキン 固体物性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当時、ホウ素化合物の合成研究の過程で、全く新しい π 電子系化合物の合成法を見出した。それは、図1aに示すアセチレン類を基質とした、ホウ素が媒介する連続的炭素-炭素結合形成反応である (*Nature Commun.* **2016**, *7*, 12704)。この新反応は① 9-ボラフルオレン **1** によるアセチレン類の1,2-カルボホウ素化反応と、② 生成したボレピン誘導体 **2** の一電子酸化による脱ホウ素化/炭素-炭素結合形成反応の2段階からなり、ほぼ定量的に進行する (図1)。この2段階目の反応は、ホウ素化学の長い歴史においても類例がない。また物質収支を考えれば、形式的にホウ素カチオン種の脱離を伴う可能性があったため、これまでの常識を外れた反応といえるが、メカニズムは未解明であった。本反応は、典型元素であるホウ素が複数段階の炭素-炭素結合形成を連続的に媒介するという点で、基礎化学的にも重要な発見であり、その詳細を明らかにすることは、典型元素化学のより深い理解とともに、新たな物質変換反応開発へつながると期待できる。

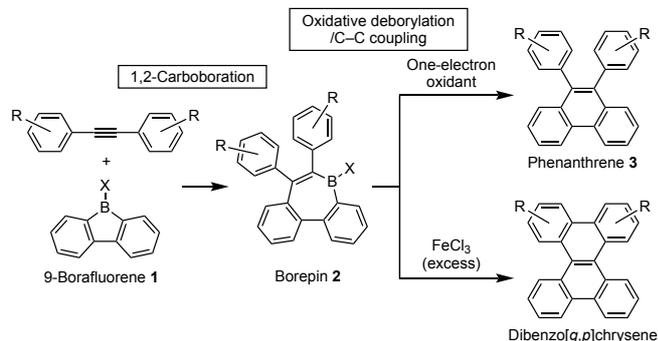


図1. 9-ボラフルオレン誘導体による芳香環構築反応。

2. 研究の目的

本研究では、上記、ホウ素が媒介する連続的炭素-炭素結合形成反応に基づき、新たな反応化学および π 電子系機能化学の開拓を目指した。

3. 研究の方法

第一に、新反応の2段階目、ボレピン誘導体の酸化的脱ホウ素化/炭素-炭素結合形成反応のメカニズムの解明に取り組み、典型元素であるホウ素が織りなす新たな反応化学を探求することを目的とした。この反応は定量的であり、電気化学的酸化、すなわち電極との間の電子移動によっても進行する。この特異な反応を理解するために、実験・理論の両面から検討を実施した。

第二に、共役構造・立体構造が高度に制御された拡張 π 電子系分子・高分子群の開発と機能開拓に取り組んだ。本反応を利用することで、クロスカップリング反応のみでは合成が困難な、多彩な拡張・湾曲 π 電子系骨格を構築することができる。様々な π 電子系分子・高分子を創出し、それらの立体構造や動的特性を調査し、 π 電子系物質の新たな機能を探求した。

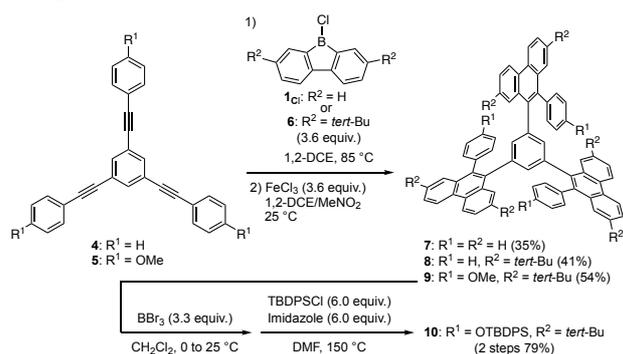
4. 研究成果

9-ボラフルオレンを用いたアルキンの芳香環化反応には、立体的に混雑した π 電子系骨格を容易に構築できる利点がある。この特徴を活かし、新たな3次元的分子骨格の構築に取り組んだ。

特異なキラルセンシング能を示す動的プロペラ分子の合成

1,3,5-トリス(フェニルエチニル)ベンゼン **4** を 3.6 当量の **1c** および 3.6 当量の FeCl_3 を用いて芳香環化すると、3枚のフェナントレンブレードを有するプロペラ分子 **7** が得られる (スキーム1)。単結晶 X 線構造解析およびNMR測定から、**7** は固体・溶液状態ともに、3枚のフェナントレンブレードのうち1枚が中心のベンゼン環に対して反対側を向いた

(2,1) 配座をとっていることが明らかになった。プロペラ分子のブレードが非対称な場合、ブレードの向きを同じ方向に制御することは困難である。ブレードの配向制御のためには、ブレード間に立体的な相互作用を導入することが有効ではないかと考え、2,7位に嵩高い *tert*-ブチル基を導入した9-ボラフルオレン **6** を設計した。アルキン **4** に対して 3.6 当量の **6** および 3.6 当量の FeCl_3 を用いて芳香環化し、ブレードに *tert*-ブチル基を導入したプロペラ分子 **8** を合成した。単結晶 X 線構造解析から、**8** の3枚のフェナントレンブレードは3枚とも中心のベンゼン環に対して同じ向きを向いた (3,0) 配座であり、かつブレードがヘリカルに配列したキラル構造であることがわかった。重クロロホルム中で測定した **8** の ^1H NMR スペクトルも C_3 対称性のパターンを示したため、**8** は固体・溶液状態でキラルな (3,0) 配座をとっていることが示された。しかし、キラル HPLC を用いた **8** の光学分割はできず、**8** は溶液中で速やかにブレードの反転によるラセミ化を起こしていることが示唆された。そこで、プロペラ分子のキラル反転を抑制するこ



スキーム1. 動的プロペラ分子の合成。

を抑制するこ

とを目的に、フェニル基上に嵩高い *tert*-ブチルジフェニルシリル (TBDPS) オキシ基を導入した **10** を合成した。期待通り、**10** は **8** と同様に、固体・溶液中で (3,0) 配座をとるとともに、キラル HPLC による光学分割が可能であった。得られた **8** の光学異性体は室温で安定であったが、その溶液を加熱するとラセミ化した。円二色性 (CD) スペクトルを用いたラセミ化速度の検討から、**10** のキラル反転の活性化障壁は $27.9 \text{ kcal mol}^{-1}$ と見積もられ、室温ではキラル反転が抑制されていることが支持された。

化合物 **8** は室温で容易にキラル反転を起こすが、この動的特性に基づき、興味深いキラルセンシング能を示すことを見いだしている。化合物 **8** を (*S*)-2-オクタノールのようなキラル溶媒に溶解させると CD 活性を示し、反対の立体化学を有する (*R*)-2-オクタノールをキラル溶媒として用いた場合には、ミラーイメージの CD スペクトルが観測された (図 2)。すなわち、キラル溶媒中で、**8** の光学異性体比が一方に偏る。光学分割可能な **10** を参照として評価した、(*R*)- または (*S*)-2-オクタノール中、 25°C での **8** の光学異性体過剰率は 1.5% 程度であるものの、溶媒のキラリティーを認識できる分子系の報告はごくわずかであり、**8** は特異なキラル認識能を有していると言える。2-オクタノール中での **8** の光学異性体過剰率の温度依存性を van't Hoff の式に適用して算出した ΔH および ΔS はそれぞれ $+114 \text{ cal mol}^{-1}$ および $+3.27 \times 10^{-1} \text{ cal K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ であった。これらの熱力学パラメータはキラル溶媒による **8** の溶媒和の影響を含んでおり、かつ両方とも正の値であることから、キラル溶媒によって偏る方の光学異性体が、他方の光学異性体よりもタイトに溶媒和されていることが強く示唆される。

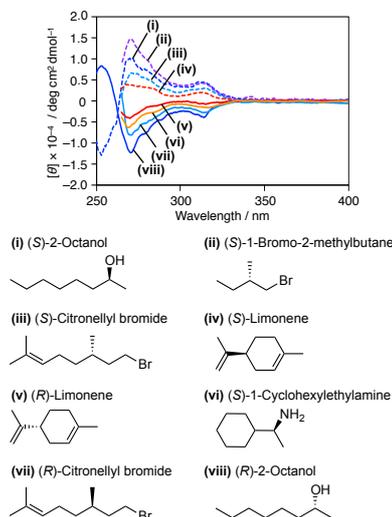
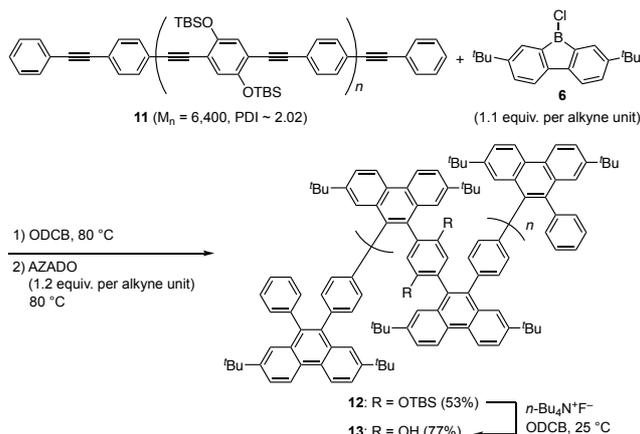


図 2. 動的プロペラ分子によるキラル溶媒センシング。

直線状 π 共役ポリマーからジグザグ型 π 共役マイクロ多孔性ポリマーへの直接変換

繰り返し単位としてエチニレン、フェニレン、および 2,5-ビス (*tert*-ブチルジメチルシリルオキシ) フェニレンユニットを有する ポリフェニレンエチニレン **11** (数平均分子量 $M_n = 6,400$, PDI = 2.02) に対して、アルキンユニット換算で 1.1 当量のボラフルオレン **6** を加え 1,2-カルボホウ素化した後、酸化剤として AZADO を加えて処理することでジグザグ型 π 共役ポリマー **12** が得られた (スキーム 2)。生成物においてアルキン部位が定量的に芳香環化されていることは、原料である **11** の IR スペクトルにおいて $2,200 \text{ cm}^{-1}$ に観測される $\text{C}\equiv\text{C}$ 伸縮振動が反応後に消失していること、および **12** の ^1H および ^{13}C NMR スペクトルにおいてフェナントレン部位に相当する芳香族シグナルが過不足なく観測されることから確認できた。ジグザグ型ポリマー **12** の粉末サンプルを用いて測定した、 77 K における窒素吸脱着等温線を図 3 に示す。ヒステリシスを伴う I 型の吸脱着カーブが明確に観測され、比表面積は $S_{\text{BET}} = 366 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ であった。また、Barrett-Joyner-Halenda (BJH) 法により評価した **12** の細孔径は 2 nm 程度であり、明確なマイクロ多孔性を有している。興味深いことに、**12** の嵩高い *tert*-ブチルジメチルシリル (TBS) 基をテトラブチルアンモニウムフルオリド ($n\text{-Bu}_4\text{N}^+\text{F}^-$) で脱保護したジグザグ型ポリマー **13** においても同程度の多孔性 ($S_{\text{BET}} = 285 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) が観測された (スキーム 2)。対照的に、原料である ポリフェニレンエチニレン **11** は非多孔性であることから (図 3)、**12** や **13** のマイクロ多孔性は、自由体積の大きいジグザグ型の主鎖骨格に由来すると考えられる。



スキーム 2. ジグザグ型 π 共役ポリマーの合成。

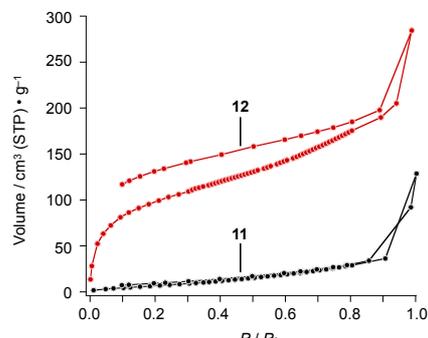


図 3. ジグザグ型 π 共役ポリマーのマイクロ多孔性評価。

メカニズム解析に基づく効率的 1,2-カルボホウ素化反応の開発

9-ボラフルオレン以外でアルキンの 1,2-カルボホウ素化を無触媒で引き起こす基質は、はクロロジフェニルボラン、ボロール、2 配位・3 配位ホウ素カチオンなどの限られた例しか報告されておらず、いずれも高いルイス酸性を有するホウ素化合物である。その中でも 9-ボラフルオレ

ンは分子設計自由度が高く、芳香環化反応に適用可能なため有機合成的にも有用である。そこで、9-クロロ-9-ボラフルオレン **1Cl** とともに、ホウ素上の置換基としてブロモ基 (**1Br**) およびトリフルオロメタンスルホニルオキシ基 (**1OTf**) を有する 9-ボラフルオレン誘導体を用いて、その性質と反応性について調査した (図 4)。DFT 計算により算出した LUMO 準位から評価される電子受容性の順位は **1OTf** > **1Br** > **1Cl** であった。一方、Gutmann-Beckett 法により評価した、ルイス酸性度の指標であるアクセプター数 (AN) の順位は **1Br** > **1OTf** > **1Cl** であった。これら 3 種類の 9-ボラフルオレン誘導体はいずれも、ジフェニルアセチレンとの 1,2-カルボホウ素化反応により対応するボレピン誘導体を定量的に与える (図 5)。また、FeCl₃ を酸化剤として用いることで、これらのボレピン誘導体が定量的に 9,10-ジフェニルフェナントレン **3** へと変換できる。

9-ボラフルオレンとジフェニルアセチレンの等量混合物の重クロロホルム溶液を用い、¹H NMR 測定により反応の進行度を評価したところ、1,2-カルボホウ素化反応は 2 次反応で記述できた。また、反応速度定数 *k* は AN の場合と同様の順位 (**1Br** > **1OTf** > **1Cl**) であった。このことから、1,2-カルボホウ素化の反応効率はボラフルオレンのルイス酸性度が大きく影響することが示唆される。特に、**1Br** を用いた場合には **1Cl** よりも 20 倍程度早く反応が進行するため、効率的なカルボホウ素化試薬となる。

反応速度解析を基に評価した、1,2-カルボホウ素化反応の熱力学的パラメータを図 5 にまとめた。意外にも、Eyring の式から求めた活性化エンタルピー ΔH^\ddagger の値の順位は **1OTf** > **1Br** > **1Cl** であり、ルイス酸性度 (AN) の傾向と一致しない。一方、顕著な差は活性化エントロピー ΔS^\ddagger において見られ、その絶対値の順位が AN の傾向 (**1Br** > **1OTf** > **1Cl**) と一致することから、活性化エントロピーの違いが反応速度の差を決定づけていることがわかる。

	LUMO level [eV]	¹¹ B NMR [ppm]	AN
1Cl	-0.62	63.6	89.7
1Br	-0.72	65.7	93.5
1OTf	-0.73	50.2	91.5

図 4. 9-ボラフルオレン誘導体の性質。

	ΔH^\ddagger [kcal ⁻¹ mol ⁻¹]	ΔS^\ddagger [cal ⁻¹ K ⁻¹ mol ⁻¹]	ΔG^\ddagger_{323K} [kcal ⁻¹ mol ⁻¹]
1Cl	11.7 ± 0.8	-39.1 ± 2.4	24.9 ± 1.8
1Br	12.1 ± 1.1	-31.6 ± 3.3	22.3 ± 2.1
1OTf	12.5 ± 1.3	-33.2 ± 4.0	23.2 ± 2.6

図 5. 1,2-カルボホウ素化の熱力学パラメータ。

理論計算によるボレピンの脱ホウ素化/C-C 結合形成反応のメカニズム解析

9-ボラフルオレン誘導体を用いた新規芳香環構築反応の研究において、酸化剤添加によるボレピンの脱ホウ素化/C-C 結合形成反応のメカニズムは謎であった。様々な基質と条件下で、この反応におけるホウ素由来の副生成物の単離を試みたが成功せず、実験的に反応メカニズムを議論することが困難であった。そこで、反応経路を網羅的に記述できる人工力誘起反応 (Artificial Force Induced Reaction, AFIR) 法を用いて、理論計算によるメカニズム解明に取り組んだ。

まず、酸化剤として FeCl₃ を用いた反応を検討した (図 6)。実際の反応においては、FeCl₃ を溶解させるための共溶媒としてニトロメタンを用いることから、ニトロメタンを一分子含めた計算を行った。鉄原子の多重度を比較した結果、最も安定であった六重項のニトロメタン錯体 FeCl₃•MeNO₂ **615** を酸化剤の出発物とした。また計算コストを考慮し、ボレピンとして、アリール基ではなくエチル基が置換した **14** を用いた。その際、図 6a に示したエチル基のコンホメーションを計算上考慮した。

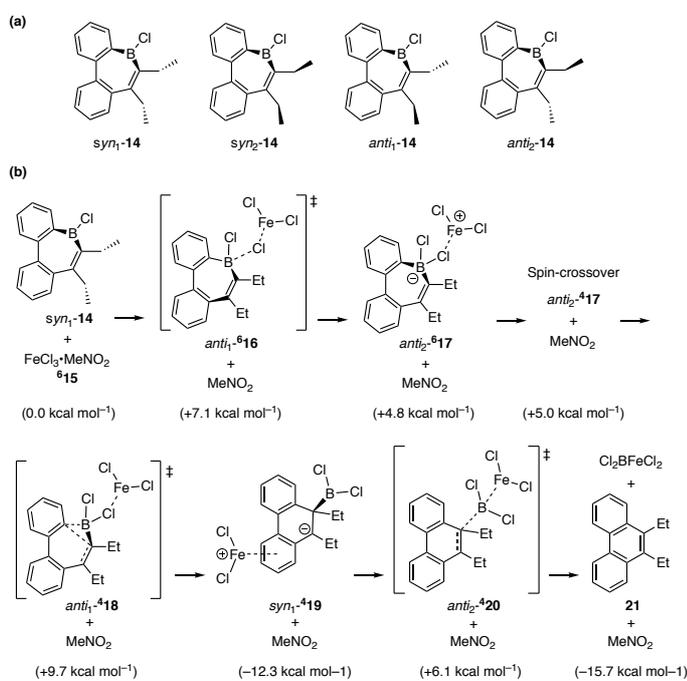


図 6. (a) 計算に用いたボレピン誘導体 **14** のコンホメーション。 (b) FeCl₃ による **14** の酸化的脱ホウ素化/C-C 結合形成のメカニズム。

各反応段階において、分子のコンホメーションおよび鉄原子の多重度を網羅的に計算するとともに、複数の反応パターンのエネルギープロファイルと比較した。その結果得られた、最もエネルギー的に有利な反応経路は、鉄原子の多重度の変化（六重項 ⇌ 四重項）を伴う複雑なものであった（図 6b）。この反応は、ボレピン **14** のホウ素原子に対し、鉄錯体 **15** の塩素原子が配位することから進行する。それにより生成した、鉄六重項のボラート中間体 **17** が四重項状態 (**17**) へとスピントスオーバーし、次いでホウ素基の転位を伴う C-C 結合形成反応が進行し、炭素 6 員環が形成した中間体 **19** が生成する。最後に、この中間体からの鉄-ホウ素錯体 ($\text{Cl}_2\text{B-FeCl}_2$) の脱離を伴い、9,10-ジエチルフェナントレン **21** が生成する。このように、当初、ボレピンの一電子酸化を経由して進行すると予想していた FeCl_3 による脱ホウ素化/C-C 結合形成は、ボレピンのホウ素原子に対する FeCl_3 の塩素原子の配位による 4 級化を経由した転位反応により進行することが理論計算より示された。

類似の反応パターンは、 O_2 を用いたボレピンの脱ホウ素化/C-C 結合形成反応の計算結果からも得られている（図 7）。この場合には、ボレピンとして **2c1** を用い、 O_2 分子に由来する多重度を考慮して計算を行った。AFIR 計算により得られた、最もエネルギー的に有利な反応経路では、反応はボレピンのホウ素原子に対する三重項 O_2 の配位により反応が開始する。それにより生成した三重項ボラート中間体 **323** から、一重項 (**123**) への項間交差を経て、B-O-O 三員環を有するジオキサクロロボランの脱離を伴い、フェナントレン **3H** が生成する。中間体 **323** の項間交差を経ずに、異なる中間体と遷移状態を経由して同じ生成物を与えるパスの存在も示唆されている。

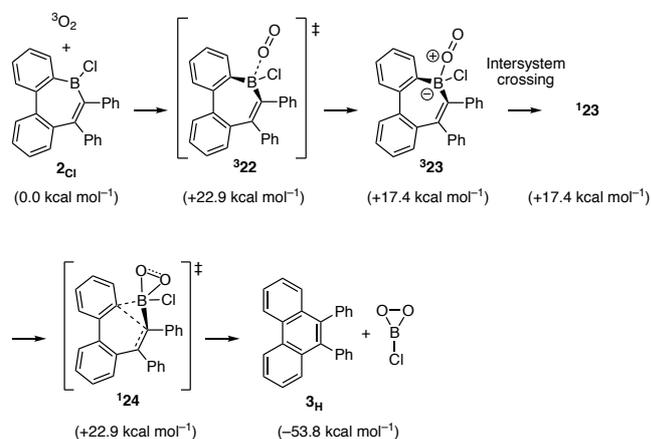


図 7. O_2 によるボレピン **2c1** の酸化的脱ホウ素化/C-C 結合形成のメカニズム。

以上の計算結果をまとめると、ボレピンの脱ホウ素化/C-C 結合形成反応は、 FeCl_3 あるいは O_2 を用いたいずれの場合にも、（1）酸化剤の配位によるホウ素の 4 級化、（2）多重度の変化、（3）ホウ素基の転位による炭素 6 員環の形成、（4）ホウ素基の脱離という 4 つの鍵ステップを経由して進行することが示された。今後、ホウ素を用いた新たな C-C カップリング反応を開発する上で有用な知見が得られたものと考えている。一方、ボレピンの脱ホウ素化/C-C 結合形成反応は電気化学的酸化によっても進行することがわかっているため、上記と異なる反応経路が存在する可能性もある。

まとめと今後の展望

以上記載したように、本研究の申請段階で掲げた「ボレピン誘導体の酸化的脱ホウ素化/炭素-炭素結合形成反応のメカニズムの解明」および「共役構造・立体構造が高度に制御された拡張 π 電子系分子・高分子群の開発と機能開拓」について、いずれも当初の目的を達成することができた。本反応のメカニズムに関しては、本研究で明らかにした反応機構に加え、ボレピンと電極との間の直接電子移動により進行するメカニズムも考えられ、今後、より深く本反応のメカニズムを検討することで、典型元素であるホウ素が織りなす反応化学に、さらに新たな知見がもたらされる可能性が高い。また今後、電極上での物質変換反応による新たな電子・光電子機能物質の開発といった展開も想定している。本反応を利用することで、クロスカップリング反応のみでは合成が困難な、多彩な拡張・湾曲 π 電子系骨格を構築することができる。分子の立体構造や動的特性が相乗的に作用した、新たな π 電子系機能物質への展開が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Shoji Yoshiaki, Kashida Junki, Fukushima Takanori	4. 巻 78
2. 論文標題 Organic Transformations Using Electron-Deficient Boron Compounds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan	6. 最初と最後の頁 190 ~ 203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaisi.78.190	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 Kashida Junki, Shoji Yoshiaki, Fukushima Takanori	4. 巻 14
2. 論文標題 Synthesis and Reactivity of Cyclic Borane Amidine Conjugated Molecules Formed by Direct 1,2 Carboboration of Carbodiimides with 9-Borafluorenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1879 ~ 1885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201900047	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 Ozen Cihan, Shoji Yoshiaki, Fukushima Takanori, Maeda Satoshi	4. 巻 84
2. 論文標題 A Theoretical Study on the Mechanism of the Oxidative Deborylation/C-C Coupling Reaction of Borepin Derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1941 ~ 1950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.8b02917	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 Shimizu Yuki, Shoji Yoshiaki, Hashizume Daisuke, Nagata Yuuya, Fukushima Takanori	4. 巻 54
2. 論文標題 Sensing the chirality of various organic solvents by helically arranged -blades	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 12314 ~ 12317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC06277C	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 Shoji Yoshiaki, Shigeno Naoki, Takenouchi Kumiko, Sugimoto Manabu, Fukushima Takanori	4. 巻 24
2. 論文標題 Mechanistic Study of Highly Efficient Direct 1,2-Carboboration of Alkynes with 9-Borafluorenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 13223 ~ 13230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201801818	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 Shoji Yoshiaki, Hwang Minsu, Sugiyama Haruka, Ishiwari Fumitaka, Takenouchi Kumiko, Osuga Ryota, Kondo Junko N., Fujikawa Shigenori, Fukushima Takanori	4. 巻 2
2. 論文標題 Highly efficient transformation of linear poly(phenylene ethynylene)s into zigzag-shaped - conjugated microporous polymers through boron-mediated alkyne benzannulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 807 ~ 814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7QM00582B	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Yoshiaki Shoji
2. 発表標題 Development of electron-deficient boron compounds and their organic transformations
3. 学会等名 Center for Functional SeNsor & Actuator (CFSN) Seminer (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村田幸優、菓子田惇輝、庄子良晃、福島孝典
2. 発表標題 9-ボラフルオレン誘導体に対する歪みアルキンの連続挿入を利用した含ホウ素 共役マクロサイクルの合成
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Shoji
2. 発表標題 9-Boraf luorene-Mediated Benzannulation of Alkyne Derivatives: The Mechanism and Applications
3. 学会等名 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junki Kashida, Yoshiaki Shoji, Takanori Fukushima
2. 発表標題 Synthesis of Cyclic Borane-Amid ine Conjugated Molecules by 1,2-Carboboration of Carbodiimide with 9-Boraf luorene
3. 学会等名 18th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-18) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒井由土、庄子良晃、奥田靖浩、折田明浩、福島孝典
2. 発表標題 9-ボラフルオレン誘導体を用いた歪みアルキンの芳香環化による湾曲 システムの構築
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 菓子田惇輝、庄子良晃、福島孝典
2. 発表標題 カルボジイミドの直接的1,2-カルボホウ素化による環状および非環状ボラン - アミジン共役系の構築
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 庄子良晃
2. 発表標題 ホウ素ルイス酸と 電子の相互作用に基づく連続反応の開発と展開
3. 学会等名 第2回 触発型有機化学研究会 (AIKOC-2) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 ホウ素が媒介する連続反応の開発とその展開
3. 学会等名 第53回 反応有機若手の会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬蝶賢太、庄子良晃、福島孝典
2. 発表標題 含ホウ素 共役マクロサイクルの合成、構造、および反応性
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菓子田惇輝、庄子良晃、福島孝典
2. 発表標題 ボラフルオレンを用いた C=N 二重結合の 1,2-カルボホウ素化による含ホウ素 - 窒素 共役系の合成
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 馬蝶賢太・滋野直樹・庄子良晃・福島孝典
2. 発表標題 連続的1,2-カルボハウ素化反応を利用した 共役マクロサイクルの合成
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 ハウ素の特性を活かした電子・光電子機能性材料の創製
3. 学会等名 第2回 東工大応用化学系 次世代を担う若手シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 ハウ素と芳香環で組み立てる分子機能の探求
3. 学会等名 ITbM/IGER Chemistry Workshop 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 馬蝶賢太・滋野直樹・庄子良晃・福島孝典
2. 発表標題 連続的1,2-カルボハウ素化反応を利用した 共役マクロサイクルの合成
3. 学会等名 第44回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黄旻授・杉山陽香・庄子良晃・福島孝典
2. 発表標題 アルキンの芳香環化反応を利用した多孔性高分子の合成
3. 学会等名 第44回有機典型元素化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水 佑樹・庄子 良晃・橋爪 大輔・福島 孝典
2. 発表標題 C3対称性プロペラ型 共役分子の不育認識
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 プロペラ分子が可能にする高秩序有機薄膜の造形と機能
3. 学会等名 第3回「高次複合光応答」若手の会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 電子欠損性ホウ素化合物の新構造・新反応の探求
3. 学会等名 第49回構造有機化学若手の会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 庄子良晃
2. 発表標題 電子欠損性ホウ素化合物の新構造・新反応
3. 学会等名 第5回慶応有機化学若手シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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