

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550151

研究課題名(和文)新規ヘテロ芳香族化合物の合成を基盤とした高性能両極性有機発光トランジスタの開発

研究課題名(英文) Synthetic studies on novel heteroaromatic compounds aiming at ambipolar light-emitting transistors

研究代表者

林 直人 (Hayashi, Naoto)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・准教授

研究者番号：90281104

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：高性能両極性有機発光トランジスタの開発を目指し、電子供与性部位であるフラン環と、電子受容性部位であるピラジン環またはキノン環を併せもつ新規ヘテロ芳香族化合物を合成し、その構造物性評価を行った。フラン環については、縮環向きの異なる二種類の構造異性体を比較した。薄膜の結晶性が低かったために、合成した試料からなる薄膜の電荷移動度は低い値しか観測されなかったが、一方で予想外に高い固体蛍光量子収率を示した。これは、凝集誘起発光とよばれ、近年おおいに注目されている。この理由は、エキシマー蛍光の効率性の向上、ならびに結晶状態における分子運動の抑制ということに起因する。

研究成果の概要(英文)：In order to develop high-performance ambipolar light-emitting transistors, some novel heteroaromatic compounds bearing furan moieties as electron-donating units and pyridine or quinone moiety as electron-accepting unit were synthesized and their solid-state structure and properties have been examined. Two regioisomer with respect to the orientation of fused furan rings were studied. Unfortunately, charge mobilities of these samples were observed to be low due to unfavorable thin-film structure. Nevertheless, they demonstrated unexpectedly high fluorescence quantum yields in solid state, which is known as aggregation-induced emission, AIE. The observation of AIE should arise from either enhanced excimer emission or suppression of molecular motion in solid state.

研究分野：固体有機化学

キーワード：有機発光トランジスタ フラン キノン 凝集誘起発光 異性体 縮環向き

1. 研究開始当初の背景

シリコンを中心とした無機半導体デバイスに代わる新しい技術として、低コスト、大規模化が可能、軽量、フレキシブルといった長所を有する有機電子デバイスの研究が盛んに行われている。近年最も盛んに研究されている有機電子デバイスは、有機発光ダイオード(OLED、有機ELとも)や有機電界効果トランジスタ(OFET)といった単一の機能に特化したデバイスであるが、今後は「分子設計に基づく機能の集積化が可能」という有機電子デバイスの長所を活かした複合機能デバイスへと研究が発展するものと考えられている。その一つに、発光機能とトランジスタ機能が複合した有機発光トランジスタ(OLET)がある。OLETは、機能の複合化・集積化という点だけでなく、三端子を有することにより細かな動作制御が可能、原理的に長寿命、また励起子密度が大きいために発光効率が高いといった点で、既存のOLEDと比べて発光機能そのものも優れている(Muccini, *M. Natur. Mat.* **2006**, 5, 605)。

テトラセンを用いた世界最初の例(Hepp, A. et al., *Phys. Rev. Lett.* **2003**, 91, 157406)が報告されて以来、多くのOLET開発研究がなされてきた。高性能OLET実現のためには、(1)材料の発光量子収率が大きく、(2)電子とホールの両方について電極からのキャリアの注入が効率的に行われ、かつ移動度が大きい(両極性もしくはアンバイポーラー性)ことが重要である。この目的に対して、仕事関数の小さい電極を用いる(Swensen, J. S. et al., *Appl. Phys. Lett.* **2005**, 87, 253511)、複数の有機材料を組み合わせる(Rost, C. et al, *Appl. Phys. Lett.* **2004**, 85, 1613)といった主として工学的・応用物理学的見地からいくつもの研究が行われ、一定の成果が得られたものの、未だ十分に高い移動度と発光効率をもつOLETデバイスは得られていない。

本問題の解決にあたり申請者らは、材料を分子設計段階から見直すことが重要と考え、フラン環と含窒素ヘテロ環を組み込んだ新規多環化合物の利用が効果的との着想を得た。有機半導体研究では従来から、ヘテロ原子間相互作用による分子間での電子的相互作用の増大を期待してチオフェン化合物をはじめとした含硫黄化合物が頻用されてきたが、それらでは重原子原子効果のために項間交差とそれに続く三重項励起状態の熱的失活がおりやすく、発光量子収率が小さい。これに対してフラン化合物ではそうした効果がないことから高い発光効率が期待でき、実際に申請者らによりベンゾジフラン類では、硫黄やセレン、テルル類縁体に比べて発光量子収率が格段に大きいことが確認されている(研究業績10)。また多環芳香族化合物では多くの場合、電子供与性は十分ながら電子受容性が不足している場合が多い。そこで電子受容性の高い含窒素ヘテロ環を組み込むことで、電子受容性の向上を図った。実際に

予備的研究において、ベンゾジフランの中心のベンゼン環をピリジン環としたジフロピリジンにおいて、電子受容性が相当に向上することを見出している(日本化学会第91春季年会にて報告)。本研究はこうした着想を発展させて、より電子受容性の高い含窒素ヘテロ環であるピラジン環を含むジフロピラジン類縁体や5環性のジフロフェナジン類を用いることにより、電子とホールの両方で移動度が高く、かつ高い発光量子効率をもつ高性能OLETデバイスを開発することを目的とする。

2. 研究の目的

一般に結晶性薄膜の機能は、分子個々の基礎物性に加えて、結晶構造(分子配列)、薄膜の結晶性や均質性といったさまざまな因子により決定されることが知られている。前者はある程度設計可能であるのに対して、後二者の予測は一般に難しく、一定数の知見を蓄積する必要がある。そこで本研究では、分子軌道計算によりある程度高い基礎物性を示すことが期待される化合物1-6(図1)を目的化合物に設定し、それぞれについて合成、基礎物性測定、結晶構造解析、薄膜構造解析、OLET機能の評価といった一連の研究を行うこととした。

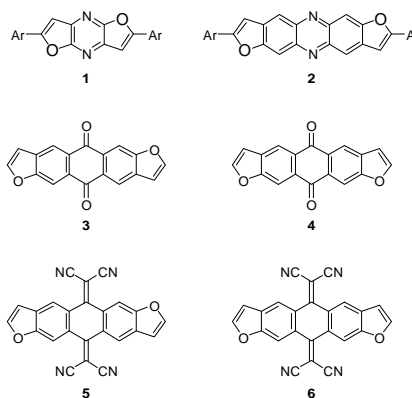


図1 本研究で取り扱う化合物

分子設計の概略を下図に示す。アリアル置換ジフロピラジン(1)およびジフロフェナジン(2)では、高い基礎物性を有するベンゾジフラン(Hayashi, N. et al., *J. Phys. Chem. A* **2009**, 113, 5342)やアントラジフランのベンゼン環の一部を電子不足なピラジン環に変えることで、電子受容性を向上させることを目指した。側鎖としては、フェニル基や、2-チエニル基、2-フリル基などのアリアル(Ar)基を導入して、電子供与性や受容性の向上とともに、共役系拡張による分子間での電子間相互作用の増大を図ることとした。分子軌道計算から、これらの分子はいずれも両極性OLET動作に十分なHOMO/LUMOエネルギー準位を有していることを確認している。また、過去に(やや特殊なデバイス構造ながら)両極性OLET動作が報告されているビス(ピフェニル)テルチエニル(BP3T)との比較

からも (Yamane, K. et al., *Appl. Phys. Lett.* **2007**, *90*, 162108) これらの化合物は OLET 動作することが期待される。

一方ジフロアントラキノ (3 および 4) とそれらのテトラシアノキノジメタン (TCNQ) 型類縁体についても高い電子供与性 / 受容性と発光性、および大きな分子間相互作用が期待できることから、これらについても研究することとした。3-4 および 5-6 は、それぞれの構造異性体である。フラン環の縮環向きが異なることで、電子供与性 / 受容性や発光量子収率などの基礎物性はさほど変わらない一方で、集合構造はかなり異なることが予想される。そこで、両者を作り分け、それぞれの X 線構造や発光物性を比較することとした。

3. 研究の方法

1 の合成は、グリシン無水物を原料とし、2 段階を経てジメトキシジプロモピラジンとしたのちに (Bull, S. D. et al., *Tetrahedron Asym.* **1998**, *9*, 321 など) ベンゾジフラン合成と同様に菌頭カップリングと脱保護・環化を経ることで行う。また 2 は、メトキシフェニレンジアミンを原料として一段階でフェナジン骨格を形成したのちに (Watanabe, T. et al., *Mutation Res.* **1989**, *227*, 135) アミノ基をヨード基に変換することで得られるオルトメトキシハロアレーンに対して、やはり菌頭カップリングと続く脱保護・環化を適用することで合成する。

予備的実験から、ベンゾジフランのフェニル置換体は溶解性が低いものに対して、いずれかのベンゼン環をヘテロアレーンで置換することで溶解性が劇的に向上することがわかっており、芳香環集積による溶解性の低下は深刻な問題とならないことが予想される。一方、安定性が問題となる可能性は残されているが、その際は適当な分子構造修飾 (置換基導入による酸化電位の制御など) により改善を試みる。

3 および 4 の合成は、分子両端から合成をはじめ、最後に中央でつなぎ合わせる convergent な方法と、逆に分子中央から端に向けて分子を伸長していく divergent な方法の二つが考えられたが、今回は, diuergent な方法を検討することとした。すなわち、2,6-および 2,7-ジアミノアントラキノを出発原料とし、アミノ基をヒドロキシ基に変換後、酢酸エステルとする。次に、その隣接位 (位) にヨード基を導入し、続いて菌頭カップリングにより、トリメチルシリルエチル基へと変換する。最後に、塩基性条件下で脱保護と環化によるフラン環形成を連続して行い、目的化合物を得る方法である。5 および 6 は、得られた 3 および 4 に対して、マロノニトリルと四塩化チタンを反応させる (Hunig の方法) ことで合成する。

得られた化合物は、電子吸収・発光スペクトル (溶液及び粉末試料測定)、発光量子収

率、発光寿命、酸化還元電位 (いずれも研究室に現有) 及び単結晶 X 線回折 (学内共同利用機器) の各測定を行う。得られた結果を基に分子軌道計算を行い、構造 - 物性相関に関して理論的見地からも検討する。

化合物によっては、結晶性の問題から結晶構造解析が困難となる場合もあるだろう。その際は、複数の分析手段 (例えば単結晶 X 線回折に代えて粉末 X 線回折と Rietveld 解析) や結晶調製手段 (例えば再結晶法と昇華法) を用いることで問題を解決する。

合成に成功し、基礎物性測定と結晶構造解析を行った化合物については、櫛形電極を用いて OLET デバイスを作成して、その機能を調べる。また、薄膜構造を薄膜 X 線回折や光電子分光測定、原子間力顕微鏡測定によって調べる。観測された OLET 機能は、基礎物性や結晶構造・薄膜構造に基づき評価し、分子構造との相関を調べることで、さらに高い OLET 機能が見込まれる化合物の設計指針へとつなげることにした。

4. 研究成果

1 の合成を目指し、前項の論文にしたがい、グリシン無水物から 2,5-ジメトキシ-3,6-ジヒドロピラジンを合成しようとしたが、目的物は得られなかった。そこで、文献も参考に、他の方法もいくつか試したが、やはり期待したような反応は進行しなかった。1 が得られなければ 2 との比較も行えないことから、研究方針を修正し、先に 3-6 の合成に着手することにした。

3 および 4 は、前項の方法にしたがい実験を進めたところ、こんどは良好な収率で得ることができた。得られた 3 および 4 からの、5 および 6 の合成にも成功した。これらの分子構造は、NMR や質量分析法により決定した。

酸化還元電位測定、電子スペクトル測定、ならびに分子軌道計算から、3-6 は、トランジスタ動作に十分な電子供与性 / 受容性を有していることを示唆する結果が得られた。そこで、実際に真空蒸着法を用いてトランジスタデバイス (Ta_2O_5 ; Gate, Ta; Drain, Au; Source, Au or LiF/Al) を作成し、測定してみたところ、予想に反して、いずれの試料でもトランジスタ動作が観測されなかった。この理由を知るために、それぞれの試料からなる薄膜の電子間力顕微鏡 (AFM) 測定を行ったところ、結晶子がランダムに配向しているような構造が共通して見出された。これは、膜の結晶性がきわめてわるいことを表している。すなわち、結晶子間での電気抵抗がきわめて大きいことが、トランジスタ動作が見られなかった原因と考えられる。

その一方で、3-6 の結晶は、凝集誘起発光 (AIE) 挙動を示した。AIE とは、発光 (傾向) は、通常は固体を含む凝集状態では強度が減少するのに対して、むしろ増大する現象である。固体状態での発光強度現象は、固体

発光デバイスのパフォーマンスを著しく低下させることから、AIE は固体発光デバイス開発にとって重要な要件のひとつと考えられている。また、多くの場合 AIE は、ややフレキシブルな分子構造を有する化合物で見られ、凝集状態で分子運動が抑制されることが蛍光強度増大の主要因となるが、3-6 ではフレキシブルな分子構造でないにもかかわらず AIE が観測されたことは興味ぶかい。

3 および 4 では、溶液中で 0.01 以下だった蛍光量子収率が、それぞれ 0.02 と 0.01 と、わずかながらも増大した。この原因は、3 および 4 ではエキシマーが効率的に生成することで、発光強度現象を引き起こす再吸収過程がおこりにくくなったことが原因と考えられる。一方 5 および 6 では、溶液中で 0.01 以下だった蛍光量子収率が、それぞれ 0.12 と 0.13 にまで増大した。5 および 6 は、励起されることでフラン部位からジシアノメチレン部位に電荷が移動した分子内電荷移動状態をとり、このとき縮環部位とジシアノメチレン部位をつなぐ結合は二重結合から単結合になり、これが、溶液中では自由回転できるように無輻射遷移の確率を増大させるの対し、結晶中は回転が抑制されるために、発光確率が増大したものと解釈できる。こうした機構による AIE は、これまであまり例がないので、今後分子性発光デバイスを設計する際の重要な指針を与えることが期待できる。

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 6 件)

1. Hayashi, N.; Nakagawa, H.; Sugiyama, Y.; Yoshino, J.; Higuchi, H. Synthesis and Oxidizing Ability of *p*-Chloranil Dimer. *Chem. Lett.* **2013**, 42, 398–400.
2. Akita, M.; Takahashi, M.; Kobayashi, K.; Hayashi, N.; Tukada, H. Bent CNN Bond of Diazo Compounds, RR'(C=N+=N-). *J. Mol. Struct.* **2013**, 1034, 346–353.
3. Toyama, T.; Komori, S.; Yoshino, J.; Hayashi, N.; Higuchi, H. Synthesis and Properties of 1,1'-Bis[*p*-(*N,N*-dimethylaminophenyl)butadiynyl]ferrocene: a Methodology for Proton-mediated Reversible Conformation Control of Two Function Sites. *Tetrahedron Lett.* **2013**, 54, 66–71.
4. Yoshino, J.; Nakamura, Y.; Kunitomo, S.; Hayashi, N.; and Higuchi, H. Synthesis of Tris(4-amino-2,6-dimethylphenyl)bora-

ne and Facile Extension of Its π -Conjugated System by Utilizing the Reactivity of the Amino Groups. *Tetrahedron Lett.* **2013**, 54, 2817–2820.

5. Kempe, H.; Kuroda, N.; Yoshino, J.; Hayashi, N.; Higuchi, H. Enormously extended π -electronic conjugation system of dimeric octaethylporphyrin transmitted with anthracene. *Tetrahedron Lett.* **2014**, 55, 5164–5169.
6. Kempe, H.; Yoshino, J.; Hayashi, N.; Higuchi, H. A reversibly transformable chromatic system of the (octaethylporphyrin)-(dihexylbithiophene)-(Lewis base) triads. An evaluation of stereo-electronically controlled effects of dihexylbithiophene and Lewis base on its sensitivity and stability to trifluoroacetic acid. *Tetrahedron* **2015**, 71, 1322–1333.

[学会発表](計 48 件)

1. 3,5-ビス(ジメチルアミノ)フェニル基を有する拡張 π 電子系ポルフィリン誘導体の酸添加挙動、建部秀斗, 黒田夏希, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、第 23 回基礎有機化学討論会
2. フェナントロリン部位を有する拡張 π 電子系ポルフィリン誘導体の合成と性質、小酒由衣, 黒田夏希, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、第 23 回基礎有機化学討論会
3. 1,1'-ビス(ジメチルアミノ)フェニルジアセチレン架橋)フェロセン誘導体の合成及び酸添加による配座制御、富山卓也, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、第 23 回基礎有機化学討論会
4. 3,5-ビス(ジメチルアミノ)フェニル基を有する拡張 π 電子系ポルフィリン誘導体の合成と酸添加挙動、建部秀斗, 黒田夏希, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、有機合成化学協会関西支部平成 24 年度有機合成化学北陸セミナー
5. 新規なジアセチレン架橋フェロセン誘導体の合成及び酸添加によるスペクトル変化、富山卓也, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、有機合成化学協会関西支部平成 24 年度有機合成化学北陸セミナー
6. フェナントロリン部位を有する拡張 π 電子系ポルフィリン誘導体のプロトン応答と金属応答、小酒由衣, 黒田夏希, 吉野惇郎, 林 直人, 樋口弘行、有機合成化学協会関西支部平成 24 年度有機合成化学北陸セミナー
7. フェナントロリン部位を有する拡張 π 電

- 子系ポルフィリン誘導体の合成とプロトン及び金属応答、小酒由衣、黒田夏希、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会近畿支部・高分子学会北陸支部合同福井大会(平成 24 年度北陸地区講演会と研究発表会)
8. 1,1'-ビス(ジメチルアミノフェニル)ジアセチレン架橋フェロセン誘導体の合成及び外部刺激による応答性、富山卓也、小森 静、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会近畿支部・高分子学会北陸支部合同福井大会(平成 24 年度北陸地区講演会と研究発表会)
 9. トリ(p-アミノフェニル)ポラン誘導体の合成と性質、吉野惇郎、中村優里、國友静香、林 直人、樋口弘行、日本化学会近畿支部・高分子学会北陸支部合同福井大会(平成 24 年度北陸地区講演会と研究発表会)
 10. 2,4,6-トリアリールフェノキシル 2 量体のアモルファス固化におけるかさ高い置換基の影響、林 直人、上野太撰、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会有機結晶部会第 21 回有機結晶シンポジウム
 11. 弱い外部刺激による配座平衡制御に関する方法論-1,1'-(ジアセチレン結合)架橋フェロセン誘導体-、富山卓也、長谷川恵美、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、第 6 回有機 π 電子系シンポジウム
 12. プロトン及び金属イオンを受容する芳香環を有する拡張 π 電子系ポルフィリン誘導体の合成と性質、建部秀斗、小酒由衣、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 13. 1,1'-ビス(p-ジメチルアミノフェニル)ジアセチレン架橋フェロセン誘導体の親電子成分添加による配座制御、富山卓也、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 14. 非対称構造を有するトリアリールフェノキシルのアモルファス形成挙動、林 直人、磯田恵理子、上野太撰、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 15. アントラジフラン-5,11-ジオンおよびその誘導体の合成と性質、尾上雅也、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 16. 縮合多環 π 電子部位を有するトリアリールフェノキシルからなるアモルファス固体の調製と性質、佐々木菜穂、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 17. トリ(p-アミノフェニル)ポラン誘導体の合成、構造、および性質、吉野惇郎、中村優里、國友静香、林 直人、樋口弘行、日本化学会第 93 春季年会
 18. 構造異性を有するジヘキシルピチオフェン誘導体類で保護した金ナノ粒子の調製と光照射挙動、宮林恵子、亀井祐典、林 直人、樋口弘行、三宅幹夫、日本化学会第 93 春季年会
 19. Preparation and Structure of Isomeric Anthradifuran-5,11-diones, Hayashi, N., Onoue, M., Yoshino, J., and Higuchi, H., EM-NANO2013 (Japan)
 20. トリアリールフェノキシル 2 量体からなるアモルファス形成およびアモルファス-結晶相転移、林 直人、上野太撰、佐々木菜穂、岡本直樹、吉野惇郎、樋口弘行、塚田秀行、第 24 回基礎有機化学討論会
 21. アントラセン環をスパーサーに含むジアセチレン架橋ポルフィリン誘導体の合成研究、建部秀斗、才川惇平、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、有機合成化学協会関西支部平成 25 年度有機合成化学北陸セミナー
 22. 簡便な反応でパイ共役系を拡張したトリアリールポランの合成と性質、吉野惇郎、小西翔太、桶谷祐稀美、林 直人、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 23. カチオン部位を三回対称型に集積したピリジン誘導体の合成研究、関川天空、中山玲嘉、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 24. トリアリールフェノキシルの固化挙動における縮環部位の影響、佐々木菜穂、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 25. アントラジフラン-5,11-ジオン類の合成、構造、及び性質、尾上雅也、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 26. 部分的にビフェニル基が置換したフェノキシルラジカルの固化挙動、岡本直樹、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 27. かさ高い置換基を持たない拡張キノン 2 量体の合成と性質、中田貴之、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会近畿支部平成 25 年度北陸地区講演会と研究発表会
 28. アミノ基の反応性を活用してパイ共役系を拡張したトリアリールポランの合成と性質、吉野惇郎、小西翔太、桶谷祐稀美、林 直人、樋口弘行、第 7 回有機電子系シンポジウム
 29. ジアセチレン架橋ポルフィリン-アントラセン誘導体の合成および電子的性質、吉野惇郎、林 直人、建部秀斗、樋口弘行、第 7 回有機電子系シンポジウム
 30. フラン環が縮環したテトラシアノアントラキノジメタンの合成と性質、林 直人、尾上雅也、吉野惇郎、樋口弘行、日本

- 化学会第 94 春季年会
31. ビフェニル基を有するフェノキシルラジカルのアモルファス固化挙動、岡本直樹、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会第 94 春季年会
 32. 四配位カチオン性ホウ素錯体の固体フォトクロミズム挙動、関川天空、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会第 94 春季年会
 33. アミノ基の反応性を活用してパイ共役系を拡張したトリアリールボランの合成、構造、および性質、吉野惇郎、小西翔太、桶谷祐稀美、林 直人、樋口弘行、日本化学会第 94 春季年会
 34. Amorphous Solids Consisting of 2,4,6-Triarylphenoxy and Their Dimers, Hayashi, N., The 21st International Conference on the Chemistry of the Organic Solid State (Oxford, UK)
 35. アジ基を活用してパイ共役系を拡張したトリアリールボランの性質に及ぼす置換基効果、小西翔太、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会 第 95 春季年会
 36. アリール置換または縮環により 共役系を拡張したジフロアントラキノ誘導体の構造と性質、岡本直樹、中嶋 陽、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、日本化学会 第 95 春季年会
 37. アントラセン環をスペーサーとするポルフィリン-ルイス塩基連結体の合成及びプロトン応答特性、山本純也、建部秀斗、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会 第 95 春季年会
 38. アントラセン環をスペーサーとする酸応答性拡張パイ電子系ポルフィリン誘導体の合成と性質、建部秀斗、山本純也、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、日本化学会 第 95 春季年会
 39. ホウ素近傍に種々の置換基を有するトリ (p-アミノフェニル) ボラン誘導体の合成研究、神野良誠、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、平成 26 年度 北陸地区講演会と研究発表会
 40. ルイス塩基を連結したジアセチレン架橋ポルフィリン誘導体の TFA 感受性と安定性に及ぼす立体電子的效果、建部秀斗、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、第 8 回有機 電子系シンポジウム
 41. 種々のピピリジン配位子を有する四配位カチオン性ホウ素錯体の合成と固体フォトクロミック挙動、吉野惇郎、八田直也、関川天空、林 直人、樋口弘行、第 8 回有機 電子系シンポジウム
 42. アジ基を活用してパイ共役系を拡張したトリアリールボランの合成と性質、小西翔太、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、第 8 回有機 電子系シンポジウム
 43. ピチオフェニル基を有する 5,11-アント

- ラジフラン-5,11-ジオン、岡本直樹、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、平成 26 年度北陸地区講演会と研究発表会
44. 縮環により共役系を拡張した含フランアントラキノ誘導体の構造と性質、中嶋 陽、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、平成 26 年度 北陸地区講演会と研究発表会
 45. アントラセンをスペーサーとする酸応答性拡張 電子共役系ポルフィリン誘導体の合成研究、山本純也、建部秀斗、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、平成 26 年度 北陸地区講演会と研究発表会
 46. アジ基を活用してパイ共役系を拡張したトリアリールボランの合成、小西翔太、吉野惇郎、林 直人、樋口弘行、平成 26 年度有機合成化学北陸セミナー
 47. 四配位カチオン性ホウ素錯体の合成と固体フォトクロミック挙動、吉野惇郎、関川天空、八田直也、林 直人、樋口弘行、第 25 回基礎有機化学討論会
 48. ヘテロ環を導入したアントラジフラン-5,11-ジオン類の合成と性質、岡本直樹、林 直人、吉野惇郎、樋口弘行、第 23 回有機結晶シンポジウム

〔その他〕

ホームページ

富山大学理学部ホームページ：研究のトピックス (<http://www.sci.u-toyama.ac.jp/topics/topics60.html>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 直人 (HAYASHI, Naoto)

富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・准教授

研究者番号：90281104

(2) 研究分担者

樋口弘行 (HIGUCHI, Hiroyuki)

富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・教授

研究者番号：00165094

吉野惇郎 (YOSHINO, Junro)

富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・助教

研究者番号：70553353

(3) 連携研究者

吉田 弘幸 (YOSHIDA, Hiroyuki)

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号：00283664