

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25288043

研究課題名(和文) C-H結合活性化を用いた新規フラーレン及びその部分骨格を有するn型半導体の開発

研究課題名(英文) C-H Bond transformations for n-type semiconductors of functional fullerenes and fullerene segments

研究代表者

金 鉄男 (JIN, Tienan)

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・准教授

研究者番号：80431493

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：重水素化モノ置換フラーレンアクセプタが、有機薄膜太陽電池においてプロトン化フラーレンアクセプタより高い光電変換効率を示す重水素効果を見出した。Mn粉末を用いた新規フラーレン環化付加反応により標準アクセプタ材料であるPCBMやICBAなどの高効率の合成法を開発した。銅触媒やNi触媒を用いたフラーレン官能基化により、アミノ化およびジベンジル化1,4-付加体を高選択的に合成した。Pd触媒存在下、新規C-H結合活性化反応により、ジベンゾペンタレン骨格および9,9'BF骨格を効率的に構築した。塩化鉄の一電子酸化剤を用いた新規酸化的スピロ環化反応により、新しい共役系を有するジスピロ環骨格を構築した。

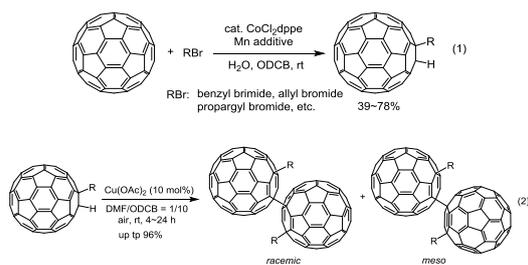
研究成果の概要(英文)：Bulk heterojunction solar cells, based on P3HT donor and the deuterated C60 acceptor, exhibited a higher photovoltaic performance as compared to the corresponding protonated C60 device. By using a new Mn-promoted C60-cycloaddition, the standard OPV acceptors, such as PCBM and ICBA, have been obtained in extraordinarily high yields. The Cu-catalyzed C-H amination of the monofunctionalized hydrofullerenes and Ni-catalyzed dibenzylation of C60 efficiently produced the monoamino- and dibenzyl-substituted 1,4-adducts, respectively. A novel Pd-catalyzed cascade crossover-annulation of o-alkynylarylhalides and diarylacetylenes has been developed for the synthesis of dibenzo[a,e]pentalenes. A novel Pd-catalyzed dual C-H activation of bis-biaryl alkynes produced important and useful products 9,9'BF derivatives in high yields. A novel FeCl₃-mediated oxidative spirocyclization has been developed for construction of a new class of dispirolinked -conjugated molecules.

研究分野：有機合成化学

キーワード：C-H結合変換反応 n型半導体 官能基化フラーレン フラーレン部分骨格

1. 研究開始当初の背景

フラーレン (C₆₀) は高い対称性を有する分子であり、その電子親和性や安定性は高く、n型材料の有力な候補化合物の一つとして、FETや超伝導デバイス、OPVsの素材として利用されている。特にフラーレン誘導体は、その有機溶媒に対する溶解性、LUMOエネルギーレベル、固体状の分子間相互作用と配列、表面エネルギーなどの制御が可能であることから最近では有機薄膜太陽電池のほぼ唯一のアクセプタ材料として用いられている。有機薄膜太陽電池は環境にやさしい次世代太陽電池の有力な候補として期待されており、より安価で軽量、柔軟、大面積製造などの利点から研究の進展が著しく、この数年間急速に変換効率が向上している。1995年 Wudlらが開発したPC₆₁BMおよび2003年のHummelenらが開発したPC₇₁BMアクセプタの登場以後、最近ではLiらにより開発されたフラーレンのビスインデン付加体IC₆₀BA、などのアクセプタ材料により変換効率が3.4-6.5%まで達成している[1]。しかし、現状ではこれらのアクセプタを用いたBHJ太陽電池の変換効率はまだ高くなくことや合成上の低選択性及び低収率など(例えば、ICBA)により高純度化するときコストがかかるという問題点がある。また、これまで報告されている7~8%という高い変換効率は新たに開発したポリマードナー(p型半導体)と従来のPC₆₁BMやPC₇₁BMの組み合わせにより達成したことから[1]、更なる変換効率向上を達成するには新しいアクセプタ材料の効率的な開発が重要な研究課題になっている。最近我々は、フラーレンモノラジカル種の安定性と反応性に着目し、遷移金属触媒を用いたフラーレンのモノ官能基化反応やC-H結合活性化による二量化反応の開発に成功した(式1と2)[2]。



2. 研究の目的

本研究は、触媒的C-H結合活性化を鍵とする新しい分子変換反応及び触媒系の開発により、明確に設定した標的化合物、すなわち、n型有機半導体材料として官能基化フラーレン及びその部分骨格を効率的合成し、優れたn型半導体の新機能を創出することを目的としている。

3. 研究の方法

モノ置換フラーレン誘導体のC-H結合の触媒的活性化による新規官能基化反応を開発し、新しいフラーレン環化付加物および非対称1,4-二置換フラーレン誘導体の効率的な

合成法を確立する。また、C-H結合の切断を経る新しい分子変換反応の開発と分子設計により、様々なお椀型及び平面型フラーレン部分骨格の効率的な合成法を確立する。さらに、合成した化合物の物性・電気特性の測定とデバイス化によりBHJ太陽電池及びOFETにおける優れたn型半導体特性を評価する。

4. 研究成果

(1) 官能基化フラーレンの合成および機能

(a) 重水素化モノ官能基化フラーレン

独自に開発したコバルト触媒反応に重水を加えることにより、様々な重水素化モノ置換フラーレンを良好な収率で合成した(式3)。新規重水素化モノ置換フラーレンをBHJ太陽電池のアクセプタ材料として用いたところ著しい重水素同位体効果が認められることを見出した。表1に示すように、H-C₆₀をアクセプタとした素子では、2.4%の光電変換効率(PCE)が得られているが、標準アクセプタ材料のPC₆₁BM素子の変換効率3.78%に及ばなかった。D-C₆₀を用いた素子は4.16%という高いPCEを示しており、標準PC₆₁BM素子よりも高い効率が得られた。光電変換層の薄膜表面のAFM像と断面のTEM像から、D-C₆₀とH-C₆₀素子の薄膜表面粗さの値に大きな差が見られ、D-C₆₀とP3HTのドメインがより明瞭に分離していることが観察された。従って、重水素化フラーレンによる変換効率の向上は、光電変換層の相分離状態の変化によるものと考えられる。

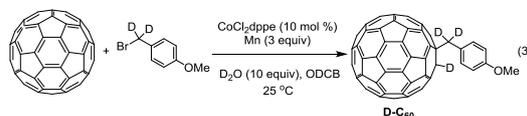
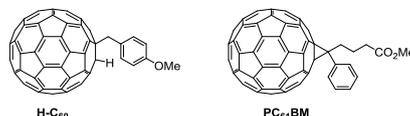


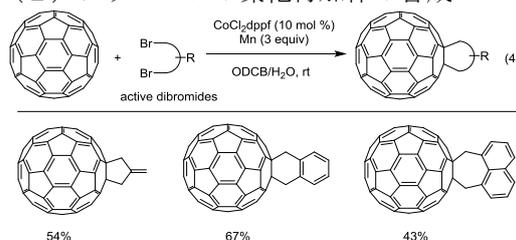
表1. LUMOエネルギー準位および重水素化有機薄膜太陽電池特性

Acceptor	LUMO [eV]	J _{sc} [mA cm ⁻²]	V _{oc} [V]	FF [%]	PCE [%]
D-C ₆₀	-3.58	11.10	0.62	60.3	4.16
H-C ₆₀	-3.56	8.24	0.60	48.4	2.40
PC ₆₁ BM	-3.58	9.86	0.60	64.0	3.78

[a] Blend film was prepared using P3HT and acceptor (1:1 weight) in 1,2-dichlorobenzene; annealing temperature is 110 °C (10 min). V_{oc}: open-circuit voltage; J_{sc}: short-circuit current density; FF: fill factor; PCE: power conversion efficiency.



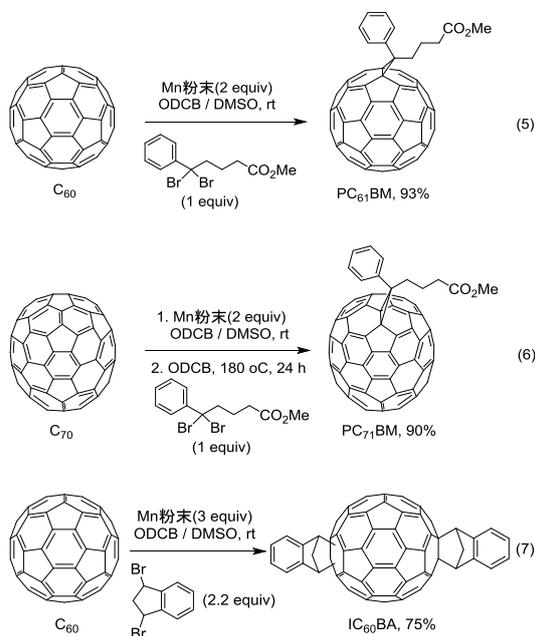
(2) フラーレンの環化付加体の合成



CoCl₂dppf触媒とマンガン還元剤の1,2-ジクロロベンゼン(ODCB)に少量の水を加えると、フラーレンと様々な活性ジブromideが効率的に反応し、対応する6員環付加体が高い

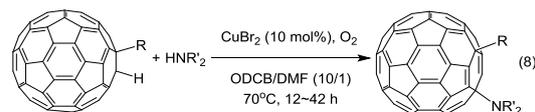
モノ環化選択性で得られた (式4)。本反応は、6員環構築に限らず適切なジブロモ化合物を用いることにより、5-、7-員環を有するフラーレンモノ環化付加誘導体の合成にも適応できることを明らかにした。

マンガン粉末を用いた [60] フラーレンと様々な活性ジブロミドの反応により、様々なフラーレンのモノおよびビス環化付加体が高収率かつ高選択的に得られることを見出した。本官能基化反応は、マンガン試薬に添加剤として極性溶媒である DMSO を少量加えることにより、環化付加反応が室温で速やかに進行し、様々な環サイズを有する環化付加体が効率的に得られた。特に、現在有機薄膜太陽電池の標準アクセプタとして用いられる PCBM、ICBA、bisPCBM などが極めて高収率で得られ、今後の薄膜太陽電池の実用化に低コストで素材を提供することが可能になる (式5-7)。



(3) 1,4-二置換フラーレンの合成

臭化銅触媒と極性混合溶媒として DMF を酸素雰囲気下で用いると、モノ置換フラーレンと様々なアミンが効率的に反応し、モノアミノ化 1,4-二置換フラーレン誘導体を高選択的に与えることを見出した (式8)。また、本反応は同一空間で形成したフラーレンモノラジカルと銅触媒により生成したアミンラジカル種のカップリングにより進行していることを明らかにした。



また、 NiCl_2dppf 触媒とマンガン還元剤の ODCB 溶媒に少量のジメチルスルホキシド (DMSO) 極性溶媒を加えると、フラーレンとベンジルブロミドが選択的かつ効率的に反応し、1,4-ジベンジルフラーレンがフラーレンから直接に得られることに成功した (式

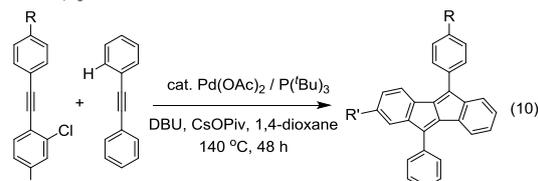
9)。前述した式1のコバルト触媒反応に水を加えた場合と異なり、ニッケル触媒に少量の DMSO を用いることで、フラーレンのモノ付加体の代わりに、1,4-二置換フラーレンが選択的に得られた。



(2) C-H 結合直接変換によるフラーレン部分骨格類似体の合成

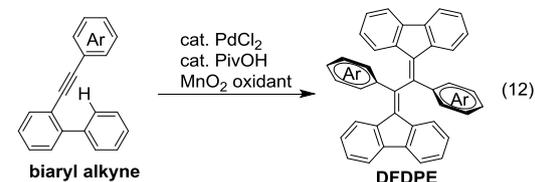
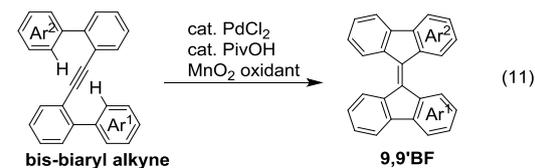
(a) ジベンゾペンタレン骨格の構築

ペンタジエン骨格を有するジベンゾペンタレン誘導体はペンタセンなどのアセン系化合物より低い LUMO エネルギーを示していることから、n 型や両極性有機半導体材料などの応用に展開されている。我々は $\text{Pd}(\text{OAc})_2$ 触媒系に有機塩基 DBU と無機塩基 CsOPiv を同時に用いると、オルトアルキニルアリールハライドとジアリールアルキンのクロスオーバー環化反応が、パラジウム触媒による連続的カルボパラデーションと C-H 結合活性化を経て効率的に進行し、多置換ベンゾペンタレンが高収率で得られることを見出した (式10)。



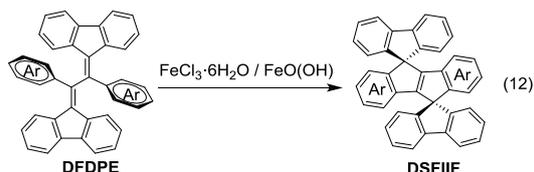
(b) 9,9'-ビフルオレニリデン誘導体 (9,9'BF) の合成

9,9'BF 誘導体はその特異な共役ビフルオレニリデン骨格により低い LUMO エネルギーを示しており、電子アクセプタ材料として注目されている。我々は、塩化パラジウム触媒の存在下、 PivOH 酸と酸化マンガンを用いると、ビスビアリールアルキンの二重 C-H 結合活性化とアルキンへのカルボパラデーションが効率的に進行し、9,9'BF 誘導体が高収率で得られることを見出した。また、同様な反応条件下、ビアリールアルキンを出発物質として用いると、(9-フルオレニリデン) ジアリールエタン (DFDPE) が得られることを明らかにした。



(c) 新規インデノインデンπ共役系ジスピロ環の構築

π共役縮環骨格にジフルオレンのスピロ環を有する化合物は、有機EL素子の発光材料やキャリア輸送材料として最近注目されている。我々は、FeCl₃酸化剤の存在下、(9-フルオレンニリデン)ジアリールエタン(DFDPE)が一電子酸化反応を伴うスピロ環化反応により、インデノインデンπ縮環骨格にフルオレン骨格を有する新規ジスピロ環化合物(DSFIIF)を高収率で与えることを見出した。



今後も新しい効率的な合成法の開発により、新規官能基化フルーレンやその類似体を発見することで、既存の材料を超える安価で高性能な新規フルーレン誘導体材料が開発されることが期待される。

<引用文献>

- ① (a) Li, C.-Z.; Yip, H.-L.; Jen, A. K.-Y. Functional fullerenes for organic photovoltaics. *J. Mater. Chem.* **22**, 2012, 4161-4177. (b) He, Y.; Li, Y. Fullerene derivative acceptors for high performance polymer solar cells. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **13**, 2011, 1970-1983.
- ② (a) Lu, S.; Jin, T.; Bao, M.; Yamamoto, Y. Cobalt-Catalyzed Hydroalkylation of [60]Fullerene with Active Alkyl Bromides: Selective Synthesis of Monoalkylated Fullerenes. *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 2011, 12842-12848. (b) Lu, S.; Jin, T.; Kwon, E.; Bao, M.; Yamamoto, Y. Highly Efficient Cu(OAc)₂-Catalyzed Dimerization of Mono-Functionalized Hydrofullerenes Leading to Single Bonded [60]Fullerene Dimers. *Angew. Chem. Int. Ed.* **51**, 2012, 802-806.

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15件)

- ① Jian Zhao, Zhanqiang Xu, Kazuaki Oniwa, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, FeCl₃-Mediated Oxidative Spirocyclization of Difluorenylidene Diarylethanes Leading to Dispiro[fluorene-9,5'-indeno[2,1-a]indene-10',9''-fluorene]s. *Angew. Chem. Int. Ed.* 査読有, **55**, 2016, 259-263. DOI:10.1002/anie.201507794
- ② Weili Si, Xuan Zhang, Shirong Lu, Takeshi Yasuda, Naoki Asao, Liyuan Han, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Manganese powder promoted highly efficient and selective synthesis of fullerene mono- and biscycloadducts at room temperature. *Sci. Rep.* 査読有, **5**, 2015, 13920. DOI:10.1038/srep13920
- ③ Weili Si, Xuan Zhang, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Ni-Catalyzed direct 1,4-difunctionalization of [60]fullerene with benzyl bromides. *Chem. Commun.* 査読有, **51**, 2015, 6392-6394. DOI:10.1039/c5cc01534k
- ④ Jian Zhao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Pd-Catalyzed cascade cyclization of σ -alkynylaryl bromides with dialkylalkynes via consecutive carbopalladation. *Tetrahedron Lett.* 査読有, **56**, 2015, 3133-3136. DOI:10.1016/j.tetlet.2014.12.023
- ⑤ 金鉄男, 遷移金属触媒を用いた官能基化フルーレンの新規合成法の開発, 有機合成化学協会誌, 査読無, Vol. 73, No. 3, 2015, 241-253.
- ⑥ Hua Jiang, Giovanni Ferrara, Xuan Zhang, Kazuaki Oniwa, Ashraful Islam, Liyuan Han, Ying-Ji Sun, Ming Bao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Triflic Acid-Mediated Cascade Cyclization of Aryldiynes for Synthesis of Indeno[1,2-c]chromenes and Application to Dye-Sensitized Solar Cells. *Chem. Eur. J.* 査読有, **21**, 2015, 4065-4070. DOI:10.1002/chem.201405860
- ⑦ Jian Zhao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Pd-Catalyzed Synthesis of 9,9'-Bifluorenylidene Derivatives via Dual C-H Activation of Bis-biaryl Alkynes. *J. Am. Chem. Soc.* 査読有, **136**, 2014, 9540-9543. DOI:10.1021/ja503252k
- ⑧ Tienan Jin, Jian Zhao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Metal-Catalyzed Annulation Reactions for π -Conjugated Polycycles. *Chem. Eur. J.* 査読有, **20**, 2014, 3554-3576. DOI:10.1002/chem.201304640
- ⑨ Xuan Zhang, Weili Si, Ming Bao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Rh(III)-Catalyzed Regioselective Functionalization of C-H Bonds of Naphthylcarbamates for Oxidative Annulation with Alkynes. *Org. Lett.* 査読有, **16**, 2014, 4830-4833.

- DOI:10.1021/ol502317c
- ⑩ Weili Si, Shirong Lu, Naoki Asao, Ming Bao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, NBS-Promoted oxidation of fullerene monoradicals leading to regioselective 1,4-difunctional fullerenes. *Chem. Commun.* 査読有, **50**, 2014, 15730-15732.
DOI:10.1039/c4cc07780f
- ⑪ Weili Si, Shirong Lu, Ming Bao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Cu-Catalyzed C-H Amination of Hydrofullerenes Leading to 1,4-Difunctionalized Fullerenes. *Org. Lett.* 査読有, **16**, 2014, 620-623.
DOI:10.1021/ol403573r
- ⑫ Jian Zhao, Kazuaki Oniwa, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Pd-Catalyzed Cascade Crossover-Annulation of α -Alkynylarylhalides and Diarylacetylenes Leading to Dibenzo[*a,e*]pentalenes. *J. Am. Chem. Soc.* 査読有, **135**, 2013, 10222-10225.
DOI:10.1021/ja403382d
- ⑬ Shirong Lu, Weili Si, Ming Bao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Co-Catalyzed Radical Cycloaddition of [60]Fullerene with Active Dibromides: Selective Synthesis of Carbocycle-Fused Fullerene Monoadducts. *Org. Lett.* 査読有, **15**, 2013, 4030-4033.
DOI:10.1021/ol401876n
- ⑭ Shirong Lu, Tienan Jin, Takeshi Yasuda, Weili Si, Kazuaki Oniwa, Khalid A. Alamry, Samia A. Kosa, Abdullah Mohamed Asiri, Liyuan Han, Yoshinori Yamamoto, Deuterium Isotope Effect on BHJ Solar Cells. Enhancement of Organic Photovoltaic Performances using Monobenzyl Substituted Deuteriofullerene Acceptors. *Org. Lett.* 査読有, **15**, 2013, 5674-5677.
DOI:10.1021/ol4026606
- ⑮ Shirong Lu, Tienan Jin, Takeshi Yasuda, Ashraf Islam, Md. Akhtaruzzaman, Liyuan Han, Khalid A. Alamry, Samia A. Kosa, Abdullah Mohamed Asiri, Yoshinori Yamamoto, Functional 2-benzyl-1,2-dihydro[60]fullerenes as acceptors for organic photovoltaics: facile synthesis and high photovoltaic performances. *Tetrahedron* 査読有, **69**, 2013, 1302-1306.
DOI:10.1016/j.tet.2012.11.099
- [学会発表] (計 13 件)
- ① Tienan Jin, Jian Zhao, Naoki Asao, and Yoshinori Yamamoto, Pd-Catalyzed Dual C-H Activation of Bis-biaryl Alkynes and Biaryl Alkynes. 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM2015), Honolulu, Hawaii, USA, 2015, 12.15-20. (ポスター発表)
- ② Tienan Jin, Jian Zhao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Pd-Catalyzed Dual C-H Activation of Bis-biaryl Alkynes and Biaryl Alkynes. The 13th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-13), Kyoto, Japan, 2015, 11.9-13. (口頭発表)
- ③ 金鉄男, C-H結合切断を経る新規環化付加反応による縮合多環式 π 共役系の構築. 触媒学会有機金属研究会 第43回オルガノメタリックセミナー 「新しい分子変換に挑戦する有機金属化学」, 東北大学, 2015年10月30日 (依頼講演)
- ④ 金鉄男, 趙健, 李玲玉, 男庭一輝, 浅尾直樹, 山本嘉則, FeCl₃-Mediated oxidative spirocyclization of difluorenylidene diarylethanes leading to dispirofluorene-indeno[2,1-*a*]indene-fluorenes. 第62回有機金属化学討論会, 関西大学, 2015年9月8日 (口頭発表)
- ⑤ 金鉄男, 趙健, 浅尾直樹, 山本嘉則, Pd-Catalyzed Synthesis of 9,9'-Bifluorenylidene Derivatives via Dual C-H Activation of Bis-biaryl Alkynes. 第61回有機金属化学討論会, 九州大学, 2014年9月23日 (口頭発表)
- ⑥ Tienan Jin, Weili Si, Shirong Lu, Naoki Asao, Yoshinori, Cu-Catalyzed C-H Amination of Hydrofullerenes Leading to 1,4-Difunctionalized Fullerenes. XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), Sapporo, Japan, 2014, 7.13-18. (ポスター発表)
- ⑦ Jian Zhao, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Pd-Catalyzed Synthesis of 9,9'-Bifluorenylidene Derivatives via Dual C-H Activation of Bis-biaryl Alkynes. XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), Sapporo, Japan, 2014, 7.13-18. (ポスター発表)
- ⑧ Tienan Jin, Shirong Lu, Takeshi Yasuda, Weili Si, Kazuaki Oniwa, Liyuan Han, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Remarkable Deuterium Isotope Effect of Deuteriofullerene Acceptors on Organic Photovoltaic Performances. The AIMR International Symposium 2014 (AMIS 2014), Sendai, Japan, 2014, 2.17-19. (ポスター発表)

- ⑨ Tienan Jin, Weili Si, Shirong Lu, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Cu-Catalyzed C-H Amination of Hydrofullerenes Leading to 1,4-Difunctionalized Fullerenes. The Eighth International Symposium on Integrated Synthesis (ISIS-8), Nara, Japan, 2013, 11. 29-12. 1. (ポスター発表)
- ⑩ Weili Si, Shirong Lu, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Cu-Catalyzed C-H Amination of Hydrofullerenes Leading to 1,4-Difunctionalized Fullerenes. 10th International Symposium on Carbanion Chemistry (ISCC-10), Kyoto, Japan, 2013, 9. 23-26. (ポスター発表)
- ⑪ Yoshinori Yamamoto, Tienan Jin, Naoki Asao, New Organic Functional Materials for Solar Cells. 246th American Chemical Society National Meeting & Exposition, Indianapolis, USA, 2013, 9. 8-12. (招待講演)
- ⑫ 金鉄男, 遷移金属触媒を用いた官能基化フラーレンの選択的合成. 第12回化学系薬学若手研究者セミナー, 東北大学, 2013年8月24日 (依頼講演)
- ⑬ Tienan Jin, Jian Zhao, Kazuaki Oniwa, Naoki Asao, Yoshinori Yamamoto, Pd-Catalyzed Cascade Crossover-Annulation of *o*-Alkynylarylhalides and Diarylacetylenes Leading to Dibenzo[*a, e*]pentalenes. The Sixteenth International Symposium on Relations between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis (ISHHC-16), Hokkaido University, 2013, 8. 4-9. (ポスター発表)

[図書] (計2件)

- ① Tienan Jin, Md. Akhtaruzzaman, Yoshinori Yamamoto, ACS Symposium Series eBooks: Nanomaterials for Sustainable Energy (Editor(s): Jingbo Louise Liu, Sajid Bashir), Synthesis and Performance of New Organic Dyes and Functional Fullerenes for Organic Solar Cells. 2015, Vol. 1213, Chapter 9, pp 193-236.
- ② 金鉄男, 山本嘉則, 「フラーレン誘導体・内包フラーレン技術の最前線」(監修: 松尾豊), シー・エム・シー出版, 東京, 2014, 第2章2節, pp 40-49.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: フラーレンの環化反応
発明者: 金鉄男, 山本嘉則, 司偉麗, 五十嵐

威史
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2014-182133
出願年月日: 2014年9月8日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計3件)

名称: Fullerene derivative and method for manufacturing a fullerene derivative
発明者: Tienan Jin, Yoshinori Yamamoto, Weili Si, Takeshi Igarashi
権利者: 同上
種類: 特許
番号: US 9, 238, 614 B1
取得年月日: 2016年1月19日
国内外の別: 国外

名称: Fullerene derivatives, method of manufacturing fullerene derivatives and solar cell
発明者: Tienan Jin, Yoshinori Yamamoto, Weili Si, Takeshi Igarashi
権利者: 同上
種類: 特許
番号: US 9, 246, 104 B2
取得年月日: 2016年1月26日
国内外の別: 国外

名称: 組成物および光電変換素子
発明者: 山本嘉則, 金鉄男, 安田剛, 韓礼元
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特開 2014-055256
取得年月日: 2014年3月27日
国内外の別: 国内

名称: フラーレン誘導体、それを用いた有機半導体膜及び有機薄膜太陽電池、並びに、フラーレン誘導体の製造方法
発明者: 山本嘉則, 金鉄男, 安田剛, 韓礼元
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特開 2014-028768
取得年月日: 2014年2月13日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等
<http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/yamamoto/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金 鉄男 (JIN Tienan)
東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・准教授
研究者番号: 80431493