









あると期待される。実用面を考えると、架橋などにより熱安定性を高めたものが最終的には有利になると予想される。

## 5. おわりに

本稿では、高分子太陽電池の最近の進展について概説した。発電機構については、過渡分光測定の研究により素過程が詳細に検討され、共役高分子の結晶化やフラーレンのクラスター形成などが、電荷を効率よく生成するために重要な役割を果たしていることが明らかになりつつある。従来は、励起子から電荷へ解離するには、ドナー材料とアクセプター材料のエネルギー準位差が重要であると考えられてきたが、エネルギー準位差が小さくても効率よく電荷生成する系が見出され、新たな機構を検討することが求められている。発電効率については、三元ブレンド素子や非フラーレンアクセプター材料の開発により、ここ数年で飛躍的に向上している。現在では、高分子太陽電池の最高効率は17%を超えるまでに至っており、効率面では実用化レベルにある。耐久性の面では、まだまだ課題があるものの、高分子材料のみからなる高分子ブレンド太陽電池では、高い力学特性、耐熱性が期待される。最終的には発電材料を高分子化し、架橋などにより安定化したものが、実用段階では用いられるのではないかと考えられる。■9072字(スペース含める)

- 16) S. Chen, Y. Wang, L. Zhang, J. Zhao, Y. Chen, D. Zhu, H. Yao, G. Zhang, W. Ma, R. H. Friend, P. C. Y. Chow, F. Gao, and H. Yan, *Adv. Mater.*, **30**, 1804215 (2018).
- 17) W. Shockley and H. J. Queisser, *J. Appl. Phys.*, **32**, 510 (1961).
- 18) L. Dou, Y. Liu, Z. Hong, G. Li, and Y. Yang, *Chem. Rev.*, **115**, 12633 (2015).
- 19) S. Honda, T. Nogami, H. Ohkita, H. Benten, and S. Ito, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **1**, 804 (2009).
- 20) S. Honda, S. Yokoyama, H. Ohkita, H. Benten, and S. Ito, *J. Phys. Chem. C*, **115**, 11306 (2011).
- 21) J.-S. Huang, T. Goh, X. Li, M. Y. Sfeir, E. A. Bielinski, S. Tomasulo, M. L. Lee, N. Hazari, and A. D. Taylor, *Nat. Photon.*, **7**, 479 (2013).
- 22) 大北英生, 高分子, **64**, 258 (2015).
- 23) 大北英生, 伊藤紳三郎, 化学, **71**, 50 (2016).
- 24) M. Koppe, H.-J. Egelhaaf, G. Marks, C. Scharber, C. J. Brabec, P. Schilinsky, and C. N. Hohe, *Adv. Funct. Mater.*, **20**, 338 (2010).
- 25) V. Gupta, V. Bharti, M. Kumar, S. Chand, and A. J. Heeger, *Adv. Mater.*, **27**, 4398 (2015).
- 26) Y. Wang, H. Ohkita, H. Benten, and S. Ito, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**, 27217 (2015).
- 27) J. Zhang, Y. Li, J. Huang, H. Hu, G. Zhang, T. Ma, P. C. Y. Chow, H. Ade, D. Pan, and H. Yan, *J. Am. Chem. Soc.*, **139**, 16092 (2017).
- 28) S. Zhang, Y. Qin, J. Zhu, and J. Hou, *Adv. Mater.*, **30**, 1800868 (2018).
- 29) H. Li, Z. Xiao, L. Ding, and J. Wang, *Sci. Bull.*, **63**, 340 (2018).
- 30) E. Zhou, K. Hashimoto, and K. Tajima, *Polymer*, **54**, 6501 (2013).
- 31) D. Mori, H. Benten, J. Kosaka, H. Ohkita, S. Ito, and K. Miyake, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **3**, 2924 (2011).
- 32) H. Yan, Z. Chen, Y. Zheng, C. Newman, J. R. Quinn, F. Dötz, M. Kastler, and A. Facchetti, *Nature*, **457**, 679 (2009).
- 33) H. Benten, T. Nishida, D. Mori, H. Xu, H. Ohkita, and S. Ito, *Energry Environ. Sci.*, **9**, 135 (2016).
- 34) B. Fan, L. Ying, P. Zhu, F. Pan, F. Liu, J. Chen, F. Huang, and Y. Cao, *Adv. Mater.*, **29**, 1703906 (2017).
- 35) T. Kim, J.-H. Kim, T. E. Kang, C. Lee, H. Kang, M. Shin, C. Wang, B. Ma, U. Jeong, T.-S. Kim, and B. J. Kim, *Nat. Commun.*, **6**, 8547 (2015).

-----本文ここまで-----

## 文 献

- 1) J. J. M. Halls, C. A. Walsh, N. C. Greenham, E. A. Marseglia, R. H. Friend, S. C. Moratti, and A. B. Holmes, *Nature*, **376**, 498 (1995).
- 2) G. Yu, J. Gao, J. C. Hummelen, F. Wudl, and A. J. Heeger, *Science*, **270**, 1789 (1995).
- 3) L. Meng, Y. Zhang, X. Wan, C. Li, X. Zhang, Y. Wang, X. Ke, Z. Xiao, L. Ding, R. Xia, H.-L. Yip, Y. Cao, and Y. Chen, *Science*, **361**, 1094 (2018).
- 4) "Organic Solar Cells", W. H. Choy ed., Springer-Verlag, London (2013), 103.
- 5) J. Guo, H. Ohkita, H. Benten, and S. Ito, *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 6154 (2010).
- 6) I. A. Howard, R. Mauer, M. Meister, and F. Laquai, *J. Am. Chem. Soc.*, **132**, 14866 (2010).
- 7) A. J. Barker, K. Chen, and J. M. Hodgkiss, *J. Am. Chem. Soc.*, **136**, 12018 (2014).
- 8) B. M. Savoie, A. Rao, A. A. Bakulin, S. Gelinias, B. Movaghar, R. H. Friend, T. J. Marks, and M. A. Ratner, *J. Am. Chem. Soc.*, **136**, 2876 (2014).
- 9) Y. Tamai, K. Tsuda, H. Ohkita, H. Benten, and S. Ito, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **16**, 20338 (2014).
- 10) S. Gelinias, A. Rao, A. Kumar, S. L. Smith, A. W. Chin, J. Clark, T. S. van der Poll, G. C. Bazan, and R. H. Friend, *Science*, **343**, 512 (2014).
- 11) A. C. Jakobowitz, M. L. Böhm, A. Sadhanala, S. Huettner, A. Rao, and R. H. Friend, *Nat. Mater.*, **16**, 551 (2017).
- 12) K. Kawashima, Y. Tamai, H. Ohkita, I. Osaka, and K. Takimiya, *Nat. Commun.*, **6**, 10085 (2015).
- 13) N. A. Ran, J. A. Love, C. J. Takacs, A. Sadhanala, J. K. Beavers, S. D. Collins, Y. Huang, M. Wang, R. H. Friend, G. C. Bazan, and T.-Q. Nguyen, *Adv. Mater.*, **28**, 1482 (2016).
- 14) J. Liu, S. Chen, D. Qian, B. Gautam, G. Yang, J. Zhao, J. Bergqvist, F. Zhang, W. Ma, H. Ade, O. Inganäs, K. Gundogdu, F. Gao, and H. Yan, *Nat. Energy*, **1**, 16089 (2016).
- 15) X. Xu, T. Yu, Z. Bi, W. Ma, Y. Li, and Q. Peng, *Adv. Mater.*, **30**, 1703937 (2018).

## Digest for English Readers

### Recent Progress in Polymer Solar Cells

Author's name: Hideo Ohkita  
Degree : Doctor of Engineering  
Affiliation: Kyoto University  
Job Title: Professor  
E-mail: ohkita@photo.polym.kyoto-u.ac.jp  
URL: <http://www.photo.polym.kyoto-u.ac.jp/>



Author's name: Hyung Do Kim  
Degree : Doctor of Engineering  
Affiliation: Kyoto University  
Job Title: Assistant Professor  
E-mail: hyungdokim@photo.polym.kyoto-u.ac.jp  
URL: <http://www.photo.polym.kyoto-u.ac.jp/>



Author's name: Yasunari Tamai  
Degree : Doctor of Engineering  
Affiliation: Kyoto University  
Job Title: Assistant Professor  
E-mail: tamai@photo.polym.kyoto-u.ac.jp  
URL: <http://www.photo.polym.kyoto-u.ac.jp/>



Abstract: **160 Words 以内**で記載してください。  
Polymer solar cells have attracted increasing attention recently because they are lightweight, flexible, and colorful, and in addition, are suitable for high-throughput production by printing techniques. In this review, we will describe recent progress in polymer solar cells in terms of photovoltaic conversion mechanism and efficiency. As for the photovoltaic conversion mechanism, recent studies have shown that an energy offset in the HOMO or LUMO level would be not necessary for excitons to be dissociated into free charge carriers in polymer solar cells. This is one of the hottest topics in this community. As for the photovoltaic performance, ternary blends and non-fullerene acceptors have a great impact on the improvement in power conversion efficiency. As a result, the efficiency has exceeded 17% for tandem polymer solar cells based on non-fullerene ternary and binary blends. We also mention the future direction of polymer solar cells.

144 words

Keywords: **8 Words 以内**で記載してください。  
Polymer solar cell, conjugated polymer, fullerene, non-fullerene acceptor, ternary blend, transient absorption spectroscopy, tandem solar cell

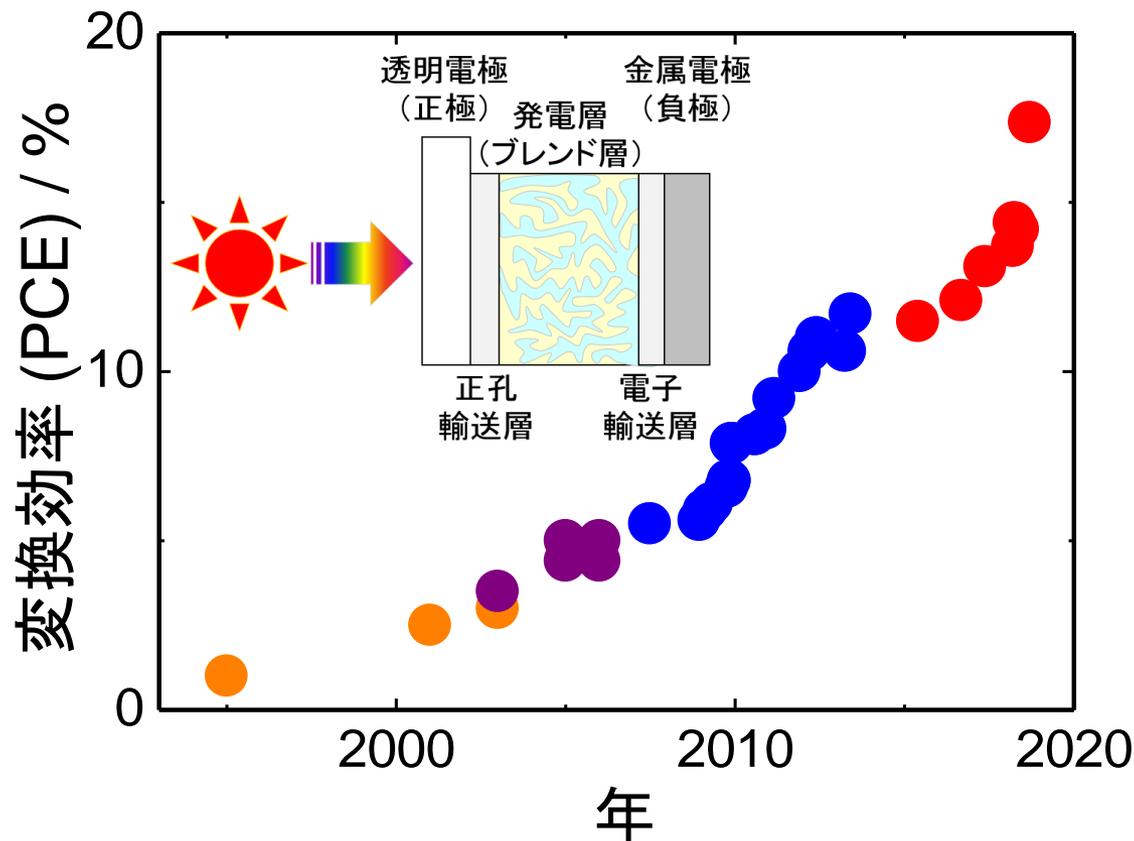


図1 高分子太陽電池のエネルギー変換効率の変遷。橙色はポリパラフェニレンビニレン系共役高分子とフラレン誘導体、紫色はポリチオフェン系共役高分子とフラレン誘導体、青色は狭バンドギャップ共役高分子とフラレン誘導体、赤色はドナー共役高分子と非フラレンアクセプター分子を用いた高分子太陽電池を主に表す。挿入図は、高分子太陽電池の素子構造の概略図を表す。黄色のドナーと水色のアクセプターが混合し、擬似的な共連続構造を形成している。

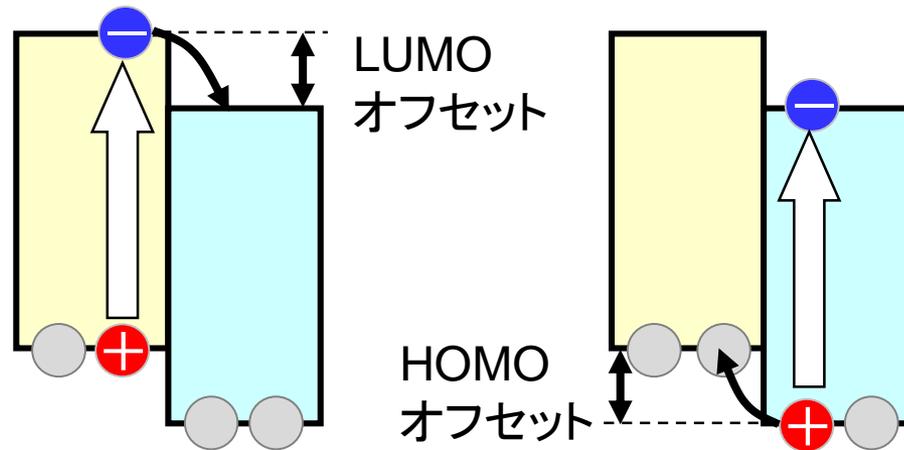
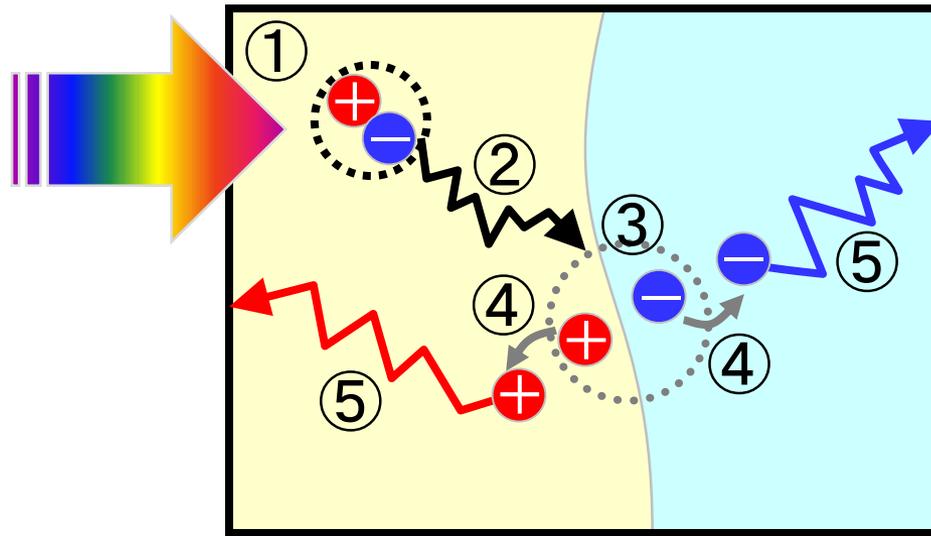


図2 高分子太陽電池の発電素過程：①光吸収、②励起子拡散、③電荷移動、④電荷解離、⑤電荷回収。下段はドナー（黄色）とアクセプター（水色）のHOMO、LUMO準位図：左はドナー励起後にLUMOオフセットで電荷移動、右はアクセプター励起後にHOMOオフセットで電荷移動する様子を表す。

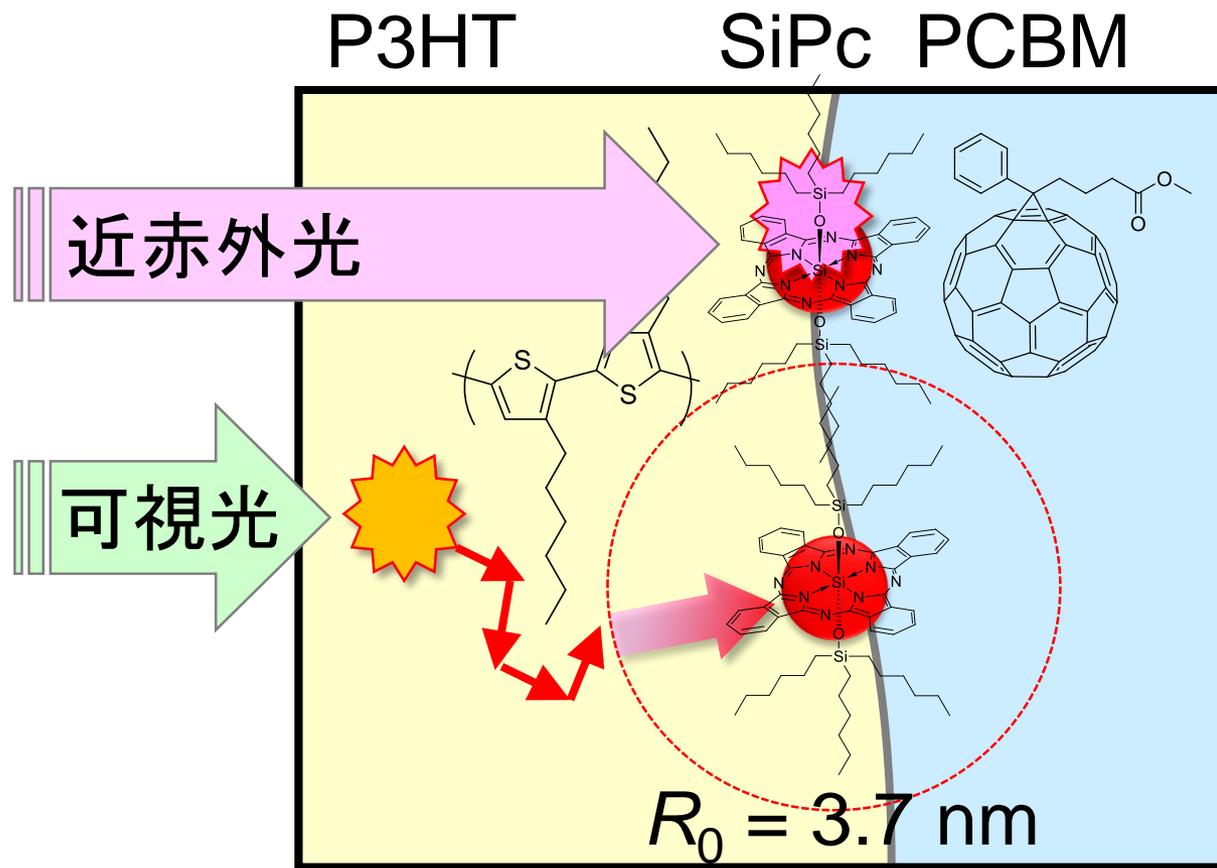


図3 近赤外色素を導入した三元ブレンド高分子太陽電池の光電流増加機構。上：P3HTやPCBMが吸収できない近赤外光を色素が吸収し光電流を発生。下：可視光を吸収したP3HTに励起子が生成し、界面に偏在する色素へ長距離エネルギー移動する( $R_0$ はフェルスター半径)。

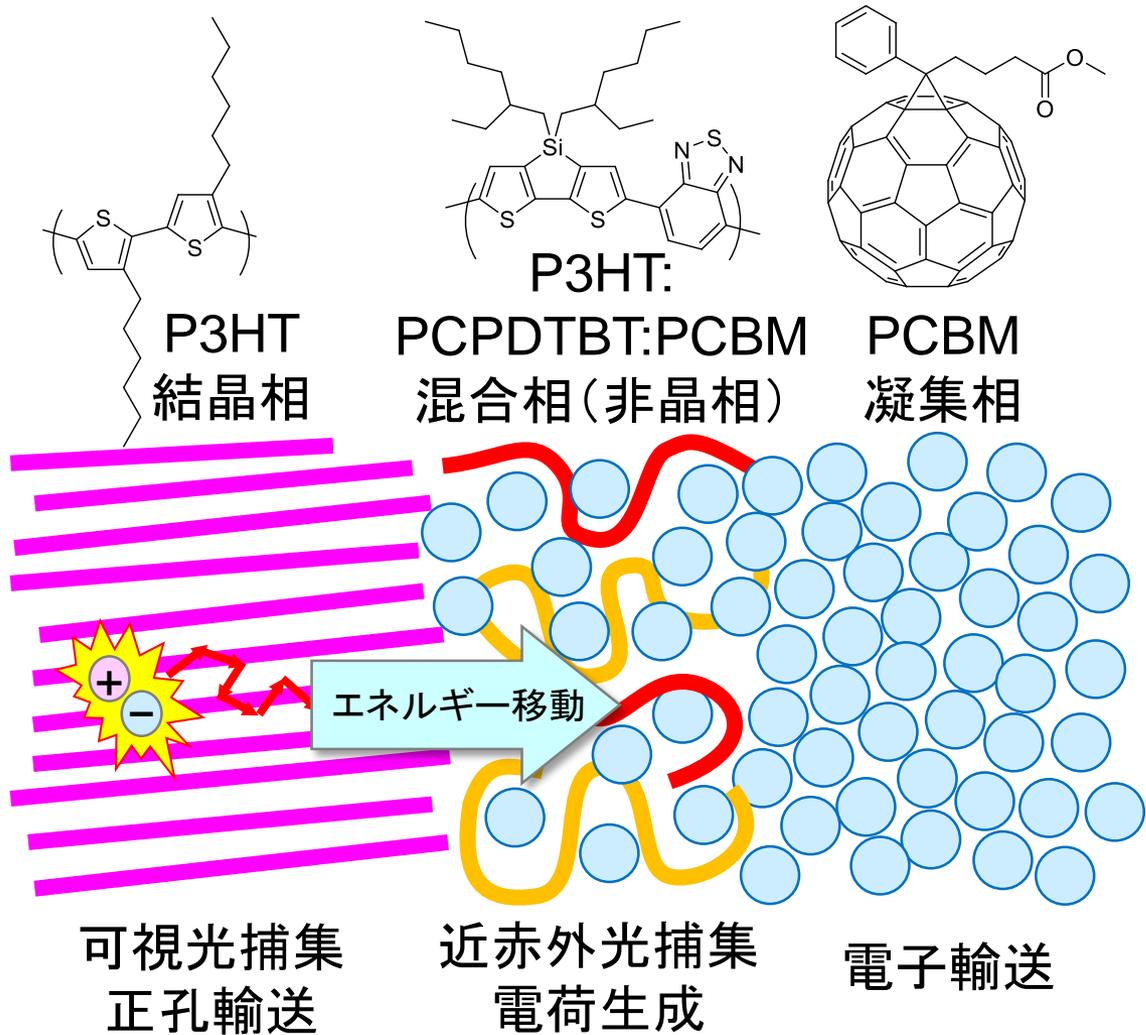


図4 可視光共役高分子P3HT、近赤外共役高分子PCPDTBT、フラーレン誘導体PCBMからなる三元ブレンド高分子太陽電池の発電機構。

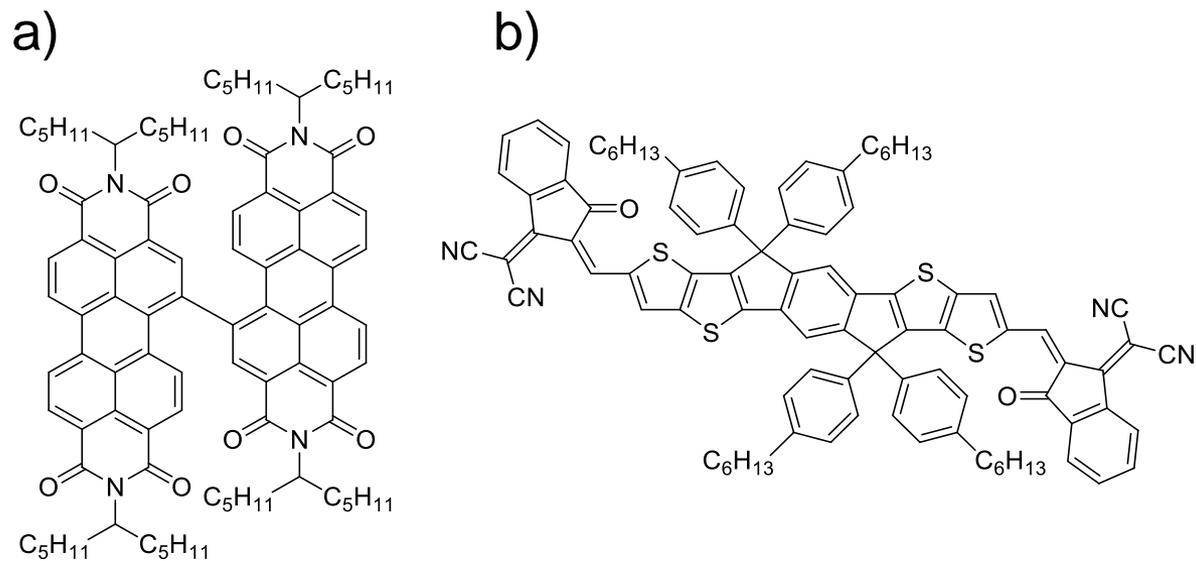
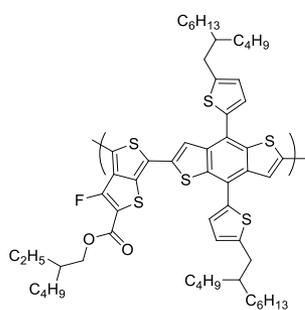
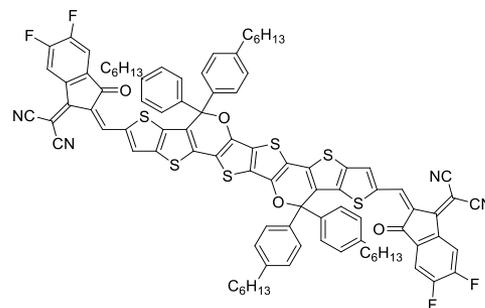


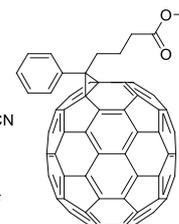
図5 代表的な非フラレンアクセプター分子の構造式： a) ペリレンジイミド二量体分子di-PDI, b) 縮環共役系分子ITIC。



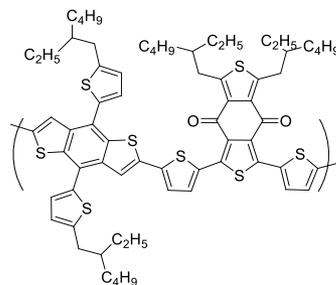
PTB7-Th



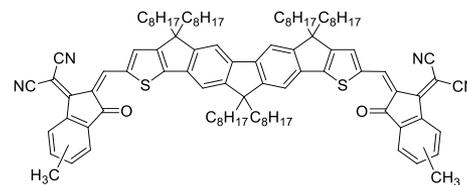
O6T-4F



PC<sub>71</sub>BM



PBDB-T



F-M

図6 非フラレン三元ブレンドPTB7-Th:O6T-4F:PC<sub>71</sub>BMと非フラレン二元ブレンドPBDB-T:F-Mのタンデム素子からなる高分子太陽電池の層構造と発電層材料の構造式。

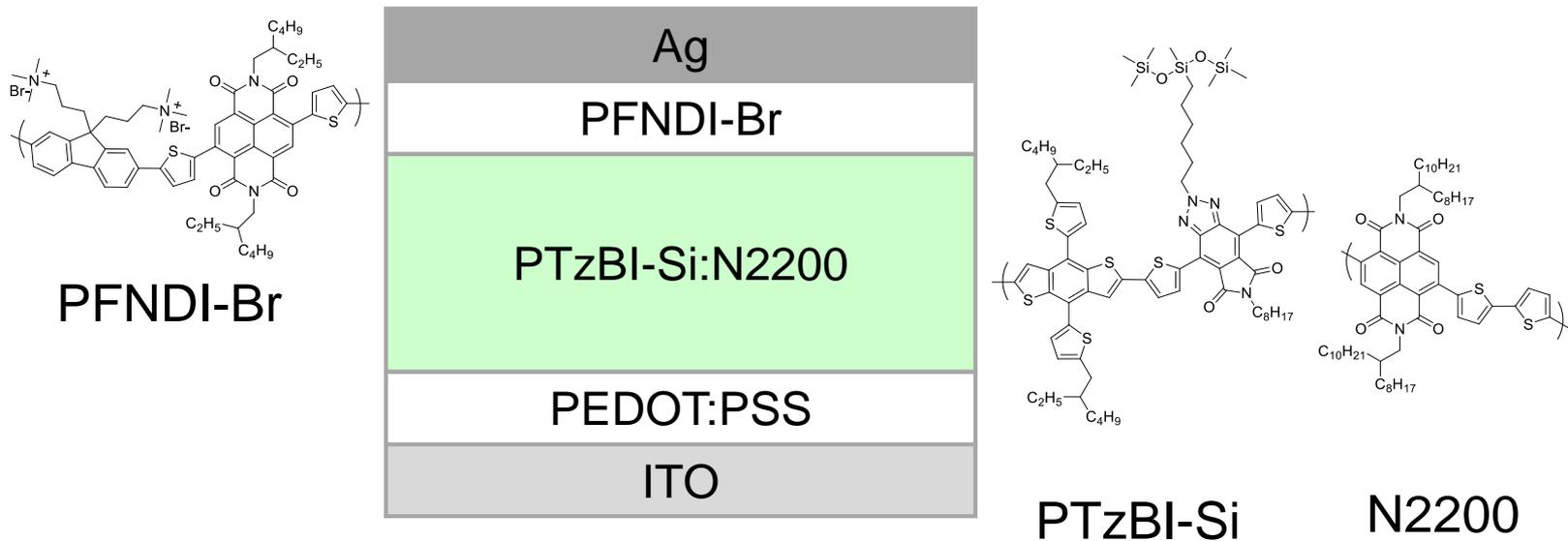


図7 PTzBI-Si:N2200高分子ブレンド太陽電池の層構造と発電層・電子輸送層材料の構造式。