

ナノ・エネルギー研究

研究代表者 西出 宏之
(先進理工学部・応用化学科 教授)

1. 研究目的

次々世代のエネルギー課題に対し、研究者らが本学で培ってきたナノ材料を活用して、解決に挑戦するいくつかの道筋を提示することを目的とする。研究組織としては、本学 SGU（スーパーグローバル大学創成支援プログラム）ナノ・エネルギー拠点でのグローバルかつ高水準の研究活動を起点に、リーディング理工学博士プログラム「エネルギー・ネクスト」研究や JX エネルギーとの共同研究などにおける若手人材育成を通じた研究展開も取り込み、国際的な共同研究にも力点を置き展開している。

具体的には、ウェアラブル電源として目指されている、ストレッチャブル／プラスチック二次電池を研究者独自のラジカルポリマーを用いて世界に先駆けて実証する研究、有機 EL ディスプレー・照明の次に来るフレキシブル材料システムである LEC 素子（発光電気化学セル）などを共同研究開発しており、2016 年度の成果は以下に列举した。なお、これらの研究成果は、国際共同・産学協同の枠組み作りとしても取りまとめ、SGU、リーディング理工学プログラムに反映させ、理工開発で本学に波及させる。

2. 主な研究成果

2.1 有機柔らか電池の機作解明と実例の展開（研究代表者：西出宏之）

全有機電池の正極活物質として当研究者らが開発してきた TEMPO ポリマーでの電荷輸送プロセスを、独自のくし型電極に組み込んで素過程に分けて定量的に描像した。スウェーデン・ウプサラ大学との共同研究で、スウェーデン・イノベーション開発庁と学振・外国人研究者招へい事業との連携による博士研究員を受け入れて実施した。（研究成果の詳細は論文リスト 1）

親水性の TEMPO ポリマーとアントラキノンポリマーを各々正・負極として、生理食塩水を電解液とするサブミリメートル厚みのペーパー電池を作製し、折り曲げ下でも、1V 余の安定した出力電圧、数分以内での繰り返しフル充放電を明らかにした（韓国・光州科学技術大学より派遣の博士学生を受け入れての共同研究、論文リスト 2）。

2.2 光エネルギーを機械的エネルギーに変換するフォトメカニカル結晶（研究分担者：朝日透）

光エネルギーを機械的エネルギーに直接変換できる物質として注目されているフォトメカニカル結晶の一つとして、キラリティを導入したサリチリデンフェニルエチルア

ミン結晶を発見した。G-HAUP を用いて光学的異方性に起因する直線複屈折 (LB) 及び直線二色性 (LD) とキラル光学的性質の旋光性 (CB) 及び円二色性 (CD) の測定に成功した (論文リスト 3)。さらに、CCD を検出器に用いた高速化 G-HAUP を開発し、同結晶の LB、LD、CB 及び CD の高速測定を可能とした (論文リスト 4)。

2.3 有機ポリマー電池の分子設計と機能開拓 (研究分担者：小柳津研一)

分子設計されたポリビオローゲンで電荷輸送を制御することにより、エレクトロクロミック表示素子の解像度を飛躍的に向上できることを明らかにした (論文リスト 5)。トリフルオロメタンスルホニルイミドを組み込んだ両性イオンポリマーから成る電極では、リチウムイオンの伝播が迅速となり、高出力のリチウムイオン電池につながる提案をした (論文リスト 6)。

2.4 実用化目指した有機発光デバイスの展開 (研究分担者：錦谷禎範)

白色発光する LEC 素子を具体化する一法として、 π -共役高分子電解質の効果を実証し、これがエキシトンと長距離相互作用するエキサイプレックスによることを明らかにした (論文リスト 7)。また低コスト製法の提唱として、ナノインプリント基板を用いた大面積 LEC 素子のロールツーロール製造法も試験した (論文リスト 8)。

2.5 高機能ナノ構造体形成とエネルギーデバイス応用 (研究分担者：本間敬之)

次世代超高記録密度型ストレージデバイス用の強磁性ナノドットアレイ形成について、結晶配向の精密制御手法を検討し、シングルグレインのナノドット形成プロセスを確立した (論文リスト 9)。また大規模蓄電池用 Zn 電極における充放電時の微細形態を添加種により制御可能であることを見出し、系統的に解析した (論文リスト 10)。

2.6 共役高分子を光触媒とする水分解・水素発生 (研究分担者：Winther-Jensen, Bjorn)

各種エネルギー素子に用いられる導電性高分子のドーピング状態と導電性の相関を整理した (論文リスト 11)。特定のマイクロ構造をもつポリチオフェンが水の分解・水素発生触媒として働くことを見出し、太陽光によるまったく新しい水電解のアプローチとして議論した (論文リスト 12)。

3. 共同研究者

朝日 透 (先進理工学部・生命医科学科・教授)

小柳津 研一 (先進理工学部・応用化学科・教授)

錦谷 禎範 (先進理工学研究科・先進理工学専攻・教授)

本間 敬之 (先進理工学部・応用化学科・教授)

Winther-Jensen, Bjorn (先進理工学研究科・先進理工学専攻・教授)

4. 研究業績

1. C. Karlsson, T. Suga, H. Nishide, “Quantifying TEMPO Redox Polymer Charge Transport Towards the Organic Radical Battery”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **9**, 10692-10698 (2017).
2. K. Sato, R. Katagiri, N. Chikushi, S. Lee, K. Oyaizu, J. Lee, H. Nishide, “Totally Organic-based Bendable Rechargeable Devices Composed of Hydrophilic Redox Polymers and Aqueous Electrolyte”, *Chem. Lett.*, **46**, 693-694 (2017).
3. A. Takanabe, M. Tanaka, K. Johmoto, H. Uekusa, T. Mori, H. Koshima, T. Asahi, “Optical Activity and Optical Anisotropy in Photomechanical Crystals of Chiral Salicylidenephénylethylamines”, *J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 15066-15077 (2016).
4. A. Takanabe, H. Koshima, T. Asahi, “Fast-type High-Accuracy Universal Polarimeter Using Charge-coupled Device Spectrometer”, *AIP Advances*, **7**, 025209 (2017).
5. K. Sato, R. Mizukami, T. Mizuma, H. Nishide, K. Oyaizu, “Synthesis of Dimethyl-Substituted Polyviologen and Control of Charge Transport in Electrodes for High-Resolution Electrochromic Displays”, *Polymers*, **9**, 86-90 (2017).
6. H. Tokue, T. Murata, H. Agatsuma, H. Nishide, K. Oyaizu, “Charge-Diecharge with Rocking-Chair-Type Li⁺ Migration Characteristics in a Zwitterionic Radical Copolymer Composed of TEMPO and Trifluoromethanesulfonylimide with Carbonate Electrolytes for a High-Rate Li-Ion Battery”, *Macromolecules*, **50**, 1950-1958 (2017).
7. Y. Nishikitani, N. Inokuchi, H. Nishide, S. Uchida, T. Shibamura, S. Nishimura, “Effect of π -Conjugated Polyelectrolyte on Performance of White Polymer Light-Emitting Diodes Based on Excitons and Exciplexes Having Long Intermolecular Distances”, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 13976-13986 (2016).
8. K. Sato, S. Uchida, S. Toriyama, S. Nishimura, K. Oyaizu, H. Nishide, Y. Nishikitani, “Low-Cost, Organic Light-Emitting Electrochemical Cells with Mass-Productible Nanoimprinted Substrates Made Using Roll-to-Roll Methods”, *Adv. Mater. Tech.*, **2**, 1600293 (2017).
9. S. Wodarz, T. Hasegawa, S. Ishio, T. Homma, “Structural Control of Ultra-Fine CoPt Nanodot Arrays via Electrodeposition Process”, *J. Magnetism Magn. Mat.*, **430**, 52-58 (2017).
10. T. Otani, Y. Fukunaka, T. Homma, “Effect of Lead and Tin Additives on Surface Morphology Evolution of Electrodeposited Zinc”, *Electrochim. Acta*, **242**, 364-372

(2017).

11. D. Mayevsky, E. Gann, C. J. Garvey, C. R. McNeil, B. Winther-Jensen, “Decoupling Order and Conductivity in Doped Conducting Polymers”, *Phy. Chem. Chem. Phys.*, **18**, 19397-19404 (2016).
12. C. H. Ng, O. Winther-Jensen, C. A. Ohlin, B. Winther-Jensen, “Enhanced Catalytic Activity Towards Hydrogen Evolution on Polythiophene via Microstructural Changes”, *Inter. J. Hydrogen Energy*, **42**, 886-894 (2017).

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトで得られた知見をナノ・エネルギー研究として発展させ、また、海外企業も含め連携活動を推進していく。