

新エネルギー技術開拓拠点事業

[研究代表者] 雪田和人 (工学部電気学科)
[研究副代表者] 森 竜雄 (工学部電気学科)

研究成果の概要

本プロジェクトは、Comfort and Community Green Grid System (C.C. グリーングリッドシステム) の開発と C.C. グリーングリッドを支えるエネルギーデバイス・材料開発の分野から構成した。C.C. グリーングリッドシステムの開発は、再生可能エネルギーを利活用し、省エネルギー効率を図る次世代電力システムの開発を目標とし、創エネルギー、蓄電、エネルギーマネジメントシステム (EMS) 技術の各分野に関して研究を実施するものである。

本プロジェクトは、以下に示す二つのグループ体制にて実施した。一つは C.C. グリーングリッドシステムの開発であり、もうひとつは C.C. グリーングリッドを支えるエネルギーデバイス・材料開発である。この3年間の研究成果としては、学会誌46件、国際会議112件、発表に関して251件という成果である。

また教育に関する成果は、大学院での科目として「電気電子工学特論Ⅱ」として、大学院生と学部4年生に対して、世界的に有名な国内外の研究者を招聘し実施した。

さらに、グリーングリッドシステムの構築に関しては、国内の研究展示会に積極的に参加し、研究成果の公表を行ってきた。その中の一つであるが愛知県が主催する「愛知環境賞」の銅賞を受賞している。

研究分野：電力工学 電力系統工学 信号処理工学

キーワード：新エネルギー、省エネルギー、マイクロ/スマートグリッド、次世代半導体、次世代材料

1. 研究開始当初の背景

本プロジェクトでは、新エネルギー技術開拓を目指し、再生可能エネルギーによる新エネルギー技術を中心としたグリーングリッドシステムの開発を目的としている。この事業では開学以来培ってきた「環境に優しいエネルギー」による「電気・エネルギー」に関する研究を加速させ、グリーンエネルギーのための複合電力技術を開拓する国際的な拠点大学となることを目指す。さらに本学の教育研究の特色である「ものづくり」に関わる技術の向上と技術者の育成も実施を推進する。

図1に本プロジェクト事業の目標、体制を示す。

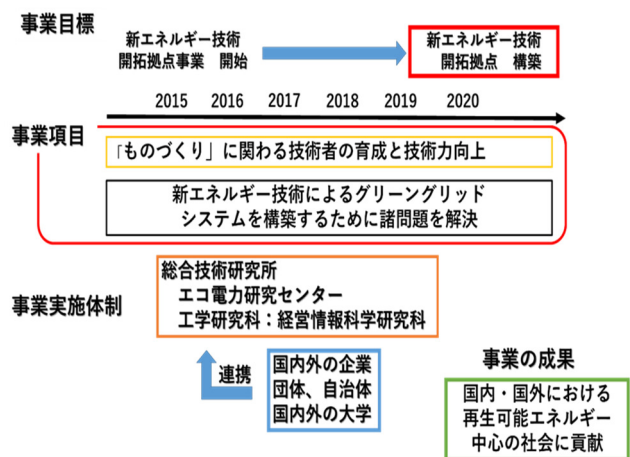


図1. 事業目標、事業項目、実施体制図

2. 研究の目的

世界経済の急速な発展に伴い 21 世紀の科学技術に求められてきた地球環境保全、すなわち「低炭素社会の実現」のため、各専門領域を横断した技術開発が実施されつつある。特にライフラインの一つであるエネルギー供給技術に至っては、再生可能エネルギーの利活用に伴う新しい電力システムの制御・運用・解析技術やそれら技術を支える新しい半導体材料の開発の重要性がますます高くなっている。そこで、愛知工業大学では、永年に亘って培われてきた豊かで安心・安全な社会を創る省・創エネルギー技術の研究開発などをさらに推進するため、太陽光発電技術、蓄電技術、電力変換技術ならびにこれらの統合システムに関する要素技術を研究開発し、グリーンイノベーションに貢献することを目指す研究を推進してきた。

本プロジェクトは、Comfort and Community Green Grid System (C.C. グリーングリッドシステム) の開発と C.C. グリーングリッドを支えるエネルギーデバイス・材料開発の分野から構成した。C.C. グリーングリッドシステムの開発は、再生可能エネルギーを利活用し、省エネルギー効率を図る次世代電力システムの開発を目標とし、創エネルギー、蓄電、エネルギーマネジメントシステム (EMS) 技術の各分野に関して研究を実施するものである。

その結果、現在提唱されているスマートグリッドにおける創エネルギー、蓄電、EMS 分野の高度化が期待され、快適性と利便性を失わない社会生活が実施できるエネルギーシステムの実現を可能にできる。

そして、C.C. グリーングリッドの実現には再生可能エネルギーを支える太陽電池技術、蓄電技術、多種多様なセンシング技術やエネルギーハーベスト技術を必要としている。また LED や有機 EL などの省エネ技術の高性能化も必要である。そこで、エネルギーデバイス・材料開発を中心に研究を推進する。

図 2 に、エコ電力研究システムが取り組んでいるスマート/マイクログリッドを示す。さらに、図 3 に、本プロジェクトの開発目標であるグリーングリッドシステムを示す。

3. 研究の方法

本プロジェクトは、以下に示す二つのグループ体制にて実施した。一つは C.C. グリーングリッドシステムの開発で

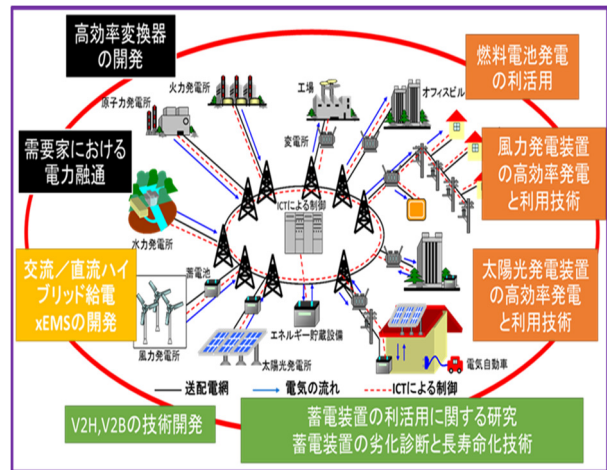
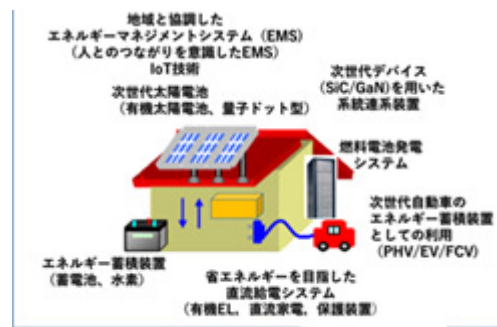


図 2. スマート/マイクログリッドの図



(a) 住宅の例

地域において利便性、快適性を追求したグリーングリッドシステム



(b) システム全体

図 3. グリーングリッドシステムの概念図

あり、もうひとつは C.C. グリーングリッドを支えるエネルギーデバイス・材料開発である。各研究グループの内容

を以下に示す。

C.C. グリーングリッドシステムの開発

1. 創エネルギー技術（再生可能エネルギーによる高効率発電）

本プロジェクトでは、再生可能エネルギーによる発電技術として、太陽光発電、風力発電、燃料電池発電技術に注目し、下記に示す内容を実施する。

1-1：太陽光発電装置の高効率発電技術と利用技術

太陽光発電装置は、太陽光の日射に応じて出力変動をするが、急峻な出力変動時においてもシステム全体として効率よく発電するための技術開発を実施する。

1-2：風力発電装置の高効率発電技術と利用技術

風力発電装置は、風速の3乗に比例して発電出力が変化する。そこで、風力発電の風車羽の開発や風の増速や集風方法の開発を実施する。さらに、発電機の発電効率の増加などを実施する。

1-3：燃料電池発電の利活用

燃料電池は、電気エネルギーと熱エネルギーの両方に供給できるため、現在も期待されているエネルギー技術の分野である。そこで、愛知工業大学エコ電力研究センターにて開発してきたマイクログリッド・スマートグリッドへの燃料電池発電装置の導入および利活用技術について、太陽光発電と風力発電装置との協調運用について研究を実施する。

2. 蓄エネルギー技術（リチウムイオン電池、鉛蓄電池、キャパシタなど）

本プロジェクトでは、リチウムイオン電池、鉛蓄電池、キャパシタ（電気二重層、リチウムイオンキャパシタ）に注目し、下記に示す内容を実施する。

2-1：蓄電装置を用いたグリッド内におけるピークシフトやピークカット運用

マイクログリッド・スマートグリッドにおけるピークシフトやピークカット運用手法を確立するとともに、各電池の最適運用方法について確立する。

2-2：リチウムイオン電池、鉛蓄電池の劣化診断と長寿命化

再生可能エネルギーによる発電出力の平滑化に用いた蓄電装置は、非常用電源として用いた場合よりも劣化進行が早いとの報告がある。そこで、本分野では再生可能エネ

ルギーによる発電時における平滑化に用いた電池の電極に関しての劣化診断と長寿命化技術について実施する。

3. エネルギーマネジメント技術

本プロジェクトでは、交流給電方式と直流給電方式を用いた AC/DC 給電方式によるエネルギー消費高効率の向上を図るとともに、生活に対応したエネルギーマネジメントシステムについて研究を実施する。

3-1：交流／直流ハイブリット給電方式

社会生活を行う際に使用している電気機器は、入力される交流電力から各機器内部において直流電力に変換しているものが多い。このため、あらかじめ直流電力にて、各機器に入力すると省エネルギー化が期待できる。しかし、かならずしも直流電力にて動作する機器だけではないので、各機器の特性に応じた省エネルギー化を図るため交流／直流ハイブリット給電方式について検討を実施する。

3-2：エネルギーマネジメントシステムの開発

我々が社会生活を行ううえでの環境を支配する空調機器や照明機器、使用している電気機器を、再生可能エネルギーの発電状況や蓄電状況に応じて、エネルギー消費を最適に制御するシステムの構築を実施する。

C.C. グリーングリッドを支えるエネルギーデバイス・材料開発

1. 省エネルギーと直流活用

長期エネルギー需給見通しにある高度な省エネルギーの実践として、一つはセンシングとインターネットを利用したスマート化によるエネルギーマネジメントの徹底であり、もう一つは LED・有機 EL などの省エネデバイスの活用である。本ワーキンググループでは、後者の省エネデバイスの高性能化・低コスト化を目指した研究を行う。LED・有機 EL とともに直流デバイスであり、太陽電池や水素を利用した燃料電池などの直流発電源に対する負荷としても期待される。

1-1：LED の材料に関する研究

愛工大では、LED の中心材料である 深い準位過渡分光 (DLTS) を利用した GaN に関する欠陥・トラップに関する研究を前プロジェクトから進めており、成果を上げてきた。本研究においても、これまでの研究成果を基盤として直接デバイスに応用した研究を推進する。

1-2：有機 EL に関する研究

これまで培ってきた作製技術に加え、他大学などの研究者と連携することにより、新材料の応用研究を推進する。特に電導機構については、実デバイスがすでに実現しているために、デバイスシミュレーターや特定のモデルで解析できたことをもって説明されたとされている。キャリア注入や電荷移動などの理解も不十分なため、検討が必要である。

2. 創エネルギーとエネルギーハーベスト

エネルギー自給率向上のための創エネルギーに関しては、最低限の原子力発電の利用と再生可能エネルギーの活用である。本プロジェクトでは、太陽電池開発、小風力発電、振動発電などを行う予定であるが、本ワーキングでは、有機系太陽電池の高性能化・低コスト化に加え、次世代太陽電池として注目されている量子ドット太陽電池の研究を行う。

2-1: 有機系太陽電池に関する研究

愛工大において、有機薄膜太陽電池を中心として前プロジェクトで進めてきた。本プロジェクトでは、有機薄膜太陽電池はエネルギーハーベストを目指した研究を、有機ペロブスカイト太陽電池は作製手法の最適化により高性能化・低コスト化に関する研究を推進する。特に有機ペロブスカイト太陽電池は作製法の影響を強く受ける。C.C. グリーングリッドシステムにおいて、ここのセンサー類を初めとするスマートデバイスには独立性の高い電源が期待される。そうした中でシステムからの電源供給を受けないエネルギーハーベストは重要な役割を果たす。

2-2: 量子ドット太陽電池の基礎研究

太陽電池において、赤外領域の活用は変換効率向上の最も有効な手段であり、シリコン系や化合物系の理論的な変換効率は、無機半導体を利用した量子ドット太陽電池の理論効率には遠く及ばないとされており、基礎的な研究を行う。

3. 蓄電技術

再生可能エネルギーのうち、太陽光や風力発電は自然変動の影響を強く受け、特に前者は夜間での発電は困難である。エネルギーの供給と需要のバランスを平準化するためには蓄電技術が重要である。しかしながら、電力用二次電池としては NaS 電池、レドックスフロー電池が実用化されているが、C.C. グリーングリッドでは、スマートデバイスや PHV などの家庭規模でのバックアップ電源を期待している。蓄電装置にかかるコストは非常に高く、また

機器寿命も他の機器に比べて短いので、システム運用には通常最小限の導入で済ますことが多い。本ワーキングでは、蓄電材料の材料開発・研究を行う。

4. センシング技術

IoT では、種々の情報を取得することが重要になるが、本プロジェクトでは、レーザを利用した計測技術などを開発して利用することを検討している。

4. 研究成果

本プロジェクト 3 年間の研究成果のうち学会誌に掲載された代表的なものを以下に示す。

平成 27 年度

1. 武田 隆, 三好宏明, 小山正善, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 後川知仁, 太陽光発電の需給調整に用いる鉛蓄電池の劣化抑制に電気自動車の充放電電力を活用した実証実験, 太陽エネルギー学会誌 Vol.41 No.3 Page.87-93 (2015.4),
2. 水野勝教, 河合智成, 子安拓夫, 一柳勝宏, 雪田和人, 後藤泰之, 「赤道付近の海面温度データを用いた発電用ダム上流域における季節別河川総流量予測」, 日本太陽エネルギー学会誌, Vol.41 No.6 (2015.11)
3. 中田篤史, 鳥井昭宏, 石川 淳, 元谷 卓, 道木加絵, 植田明照, 「部分陰のある太陽電池パネルの最大電力時の電圧推定」, 共著, 平成 27 年 12 月, 電気学会論文誌 C, 135 巻,12 号, pp. 1463-1469
4. T. Mori, N. Naito, “Photovoltaic Properties of Polythiophen:Fullerene Derivative Solar Cell Using Annealing due to Anode Joule Heating”, J. Photopolym. Sci. Technol., 28 (2015) pp.393-398
5. B. Lei, V. O. Eze, T. Mori, “High-performance CH₃NH₃PbI₃ perovskite solar cells fabricated under ambient conditions with high relative humidity”, Jpn J. Appl. Phys., 54 (2015) 100305
6. S.-G. Park, T. Mori, “Electrical conduction behavior of organic light-emitting diodes using fluorinated self-assembled monolayer with molybdenum oxide-doped hole transporting layer”, Luminescence, 30 (2015) pp.416-419
7. V. O. Eze, B. Lei, T. Mori, “Air-Assisted Flowing and Two-Step Spin Coating for High Efficient CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells”, Jpn J. Appl. Phys., 55 (2016) 02BF08.

8. B. Lei, V. O. Eze, T. Mori, "Effect of Morphology Control of Light Absorber Layer on CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells", *J. Nanoscience and Nanotechnology*, 16 (2016) pp.3176-3182.
9. Kazuhiro KOMORI, Takeyoshi SUGAYA, Takeru AMANO and Keishiro GOSHIMA "Nanophotonic devices based on semiconductor quantum nanostructures" 共著 平成 28 年 3 月 IEICE TRANS, ELECTRON, VOL.E99-C.No3,pp346-357 (2016.3)
10. 水嶋大輔, 吉松 剛, 五島敬史郎, 津田紀生, 山田 諄 「半導体レーザーの自己結合効果を利用したレーザーマイクロホンによる音波検出」 共著 平成 28 年 7 月 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (2016) 136(7),
11. 森田 靖, 西田辰介, 村田剛志, 「レアメタルを使わない二次電池の実現に向けた新しい有機電極活物質のサイクル特性向上」, 月刊 MATERIAL STAGE, 2015 年 8 月号, p 56-60
12. Kitagawa K, Nomura T, Ohtani K, Abe A : Attenuation of underwater explosion propagating through porous compressible foam, *Science and Technology of Energetic Materials*, 76-6, 127-132(2015)

平成 28 年度

1. 河合 智成, 一柳 勝宏, 子安 拓夫, 雪田 和人, 後藤 泰之「流量定常値推定によるダム上流域における流量逡減時の予測精度改善」土木学会論文集 B1 (水工学) Vol. 73 (2017) No. 1
2. 雪田和人、直流給電システムの動向とその将来、pp10-15, *Energy Device* Vol.3 No.6 2016
3. 元谷卓, 佐光祐哉, 道木加絵, 鳥井昭宏, “水中・海中での無線電力伝送の伝送効率の評価”, *電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)*, Vol. 136, No. 12, pp. 1653-1660
4. Itoi, Hiroyuki; Yasue, Yuka; Suda, Keita; Katoh, Seiya; Hasegawa, Hideyuki; Hayashi, Shinya; Mitsuoka, Masanao; Iwata, Hiroyuki; Ohzawa, Yoshimi, "Solvent-free Preparation of Electrochemical Capacitor Electrodes Using Metal-free Redox Organic Compounds", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Vol.5, 556 - 562 (2017).
5. Hiroyuki Itoi, Shinya Hayashi, Hidenori Matsufusa, and Yoshimi Ohzawa, "Electrochemical Synthesis of Polyaniline in the Micropores of Activated Carbon for High-Performance Electrochemical Capacitors", *Chemical Communications*, 53, 3201 -3204 (2017).
6. Hiroyuki Itoi, Hiroto Nishihara, Syunsuke Kobayashi, Somlak Ittisanronnachai, Takafumi Ishii, Raúl Berenguer, Masashi Ito, Daiju Matsumura, and Takashi Kyotani, "Fine Dispersion of Pt₄₋₅ Subnano-Clusters and Pt Single Atoms over Porous Carbon Supports and Their Structural Analyses with X-ray Absorption Spectroscopy", *J. Phys. Chem. C*, 121 (14), 2017, pp.7892-7902. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b00422.
7. Hiroyuki Itoi, Shinya Hayashi, Hidenori Matsufusa, and Yoshimi Ohzawa, "Electrochemical Synthesis of Polyaniline in the Micropores of Activated Carbon for High-Performance Electrochemical Capacitors", *Chem. Commun.*, 53 (22), 2017, pp. 3201-3204. DOI: 10.1039/C6CC08822H.
8. Hiroyuki Itoi, Yuka Yasue, Keita Suda, Seiya Katoh, Hideyuki Hasegawa, Shinya Hayashi, Masanao Mitsuoka, Hiroyuki Iwata, Yoshimi Ohzawa, "Solvent-free Preparation of Electrochemical Capacitor Electrodes Using Metal-free Redox Organic Compounds", *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 5 (1), 2017, pp. 556-562. DOI:10.1021/acssuschemeng.6b01947.
9. Hiroyuki Itoi, Hiroto Nishihara, and Takashi Kyotani, "Effect of Heteroatoms in Ordered Microporous Carbons on Their Electrochemical Capacitance", *Langmuir*, 32 (46), 2016, pp. 11997-12004. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b02667.
10. B. Lei, V. O. Eze, T. Mori, "Effect of Morphology Control of Light Absorber Layer on CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells", *J. Nanoscience and Nanotechnology*, 16 (2016) pp.3176-3182.
11. T. Mori, M. Imanishi, T. Nishikawa, "Estimation of Electron Current in Organic Light-Emitting Diodes Using an Operating Point Model", *J. Photopolym. Sci. Technol.*, 29 (2016) pp.311-316.
12. V. O. Eze, T. Mori, "Organic-Inorganic Hybrid Perovskite Solar Cells Using Hole Transport Layer Based on α -Naphthyl Diamine Derivative", *J. Photopolym. Sci. Technol.*, 29 (2016) pp.581-587.
13. V. O. Eze, T. Mori, "Enhanced photovoltaic performance of planar perovskite solar cells fabricated in ambient air by

solvent annealing treatment method, *Jpn J. Appl. Phys.*, 55 (2016) 122301.

14. 水嶋大輔, 吉松剛, 五島敬史郎, 津田紀生, 山田諄"半導体レーザーの自己結合効果を利用したレーザーマイクロホンの超音波帯域特性"平成 29 年 3 月 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (2017) 137(3), pp. 489-494

15. 水嶋大輔, 吉松剛, 五島敬史郎, 津田紀生, 山田諄, "半導体レーザーの自己結合効果を利用したレーザーマイクロホンによる音波検出", 平成 28 年 7 月 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (2016) 136(7), pp.1021-1026

16. Haruya Minda, Tomoya Makino, Norio Tsuda, Yuki Kaneko, "Performance of a Laser Disdrometer with Hydrometeor Imaging Capabilities and Fall Velocity Estimates for Snowfall", 平成 28 年 9 月 IEEJ TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING IEEJ Trans 2016, 11(5), pp.624-632

17. 吉松剛, 五島敬史郎, 青木道宏, 津田紀生, 山田諄, "端子間電圧型自己結合レーザー距離センサに対する統計的信号処理", 平成 28 年 10 月 レーザ研究 (2016) Vol.44(10), pp.679-683

18. 水嶋大輔, 吉松剛, 山口剛, 五島敬史郎, 津田紀生, 山田諄, "半導体レーザーの自己結合効果を利用したレーザーマイクロホンの超音波帯域特性"平成 29 年 3 月 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems (2017) 137(3), pp.489-494

19. Hiroyuki Itoi, Hirotomo Nishihara, and Takashi Kyotani, "Effect of Heteroatoms in Ordered Microporous Carbons on Their Electrochemical Capacitance", *Langmuir*, 32 (46), 2016, pp. 11997-12004. DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b02667.

20. 大澤善美, 山田峻資, 伊藤啓, 藤原大輔, 恩徳拓哉, 糸井弘行, "リチウムイオン電池負極用黒鉛へのシリコンコーティング", 愛知工業大学総合技術研究所研究報告, 第 18 号, pp. 69-72.

21. 大澤善美, 山田峻資, 伊藤 啓, 藤原大輔, 恩徳拓哉, 糸井弘行, 「リチウムイオン電池負極用黒鉛へのシリコンコーティング」, 愛知工業大学総合技術研究所研究報告, 査読無, 第 18 号, pp. 69-72 (2016).

22. 大澤善美, 糸井弘行, 「全固体電池のイオン伝導性向上

と材料、製造プロセスの開発」, 技術情報協会編, 「炭素コーティングによるシリコン系負極材料の容量と初期クーロン効率の向上技術」, 第 7 章, 第 4 節, 技術情報協会, pp.272-278 (2017.2).

平成 29 年度

1. 雪田和人, 北條昌秀: 総論: 次世代の電気エネルギーシステム像電気学会誌, 138 巻 (2018) 2 号 p. 72-73, DOI <https://doi.org/10.1541/ieejjournal.138.72>

2. 雪田和人: 再生可能エネルギーによる発電技術の利活用状況, 電子情報通信学会誌
掲載予定

3. 松村 年郎, 雪田 和人, 後藤 泰之, 塚本 真澄, 立脇 健人, 横水 康伸, 石井 佑弥, 石川 博之, 松尾 顕守, 岩月 秀樹, 飯岡 大輔, 大容量太陽光発電装置の高圧配電系統末端への導入に伴う配電系統の電圧上昇・低下メカニズムに関する回路論的考察, 138 巻 (2018) 1 号 p. 23-29, <https://doi.org/10.1541/ieejpes.138.23>

4. Vincent Obiozo Eze, Yoshikuki Seke, T. Mori, "Efficient planar perovskite solar cells using solution-processed amorphous WO_x/fullerene C60 as electron extraction layer", *Organic Electronics*, 46 (2017), pp.253-262

5. T. Mori, D. Sato, T. Egam, V. O. Eze, "Improvement of Photovoltaic Properties for Unmodified Fullerene C60-Based Polymer Solar Cells by Addition of Fusible Fullerene", *J. Photopolym. Sci. Technol.*, 30 (2017) pp.581-587.

6. Hirotomo Nishihara, Hiroyuki Fujimoto, Hiroyuki Itoi, Keita Nomura, Hideki Tanaka, Minoru T. Miyahara, Patrick A. Bonnaud, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Naoto Miyamoto, Nozomu Hatakeyama, Akira Miyamoto, Kazutaka Ikeda, Toshiya Otomo, and Takashi Kyotani, "Graphene-based ordered framework with a diverse range of carbon polygons formed in zeolite nanochannels", *Carbon*, Accepted. DOI: 10.1016/j.carbon.2017.12.055

7. Hirotomo Nishihara, Katsumi Imai, Hiroyuki Itoi, Keita Nomura, Kazuyuki Takai, and Takashi Kyotani, "Formation mechanism of zeolite-templated carbons", *Tanso*, 280, 2017, pp. 169-174. DOI: 10.7209/tanso.2017.169

8. Hiroyuki Itoi, Hirotomo Nishihara, Syunsuke Kobayashi, Somlak Ittisanronnachai, Takafumi Ishii, Raúl Berenguer,

Masashi Ito, Daiju Matsumura, and Takashi Kyotani, "Fine Dispersion of Pt₄-5 Subnano-Clusters and Pt Single Atoms over Porous Carbon Supports and Their Structural Analyses with X-ray Absorption Spectroscopy", *J. Phys. Chem. C*, 121 (14), 2017, pp.7892-7902. DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b00422.

9. Hiroyuki Itoi, Shinya Hayashi, Hidenori Matsufusa, and Yoshimi Ohzawa, "Electrochemical Synthesis of Polyaniline in the Micropores of Activated Carbon for High-Performance Electrochemical Capacitors", *Chem. Commun.*, 53 (22), 2017, pp. 3201-3204. DOI: 10.1039/C6CC08822H.

10. Hiroyuki Itoi, Yuka Yasue, Keita Suda, Seiya Katoh, Hideyuki Hasegawa, Shinya Hayashi, Masanao Mitsuoka, Hiroyuki Iwata, Yoshimi Ohzawa, "Solvent-free Preparation of Electrochemical Capacitor Electrodes Using Metal-free Redox Organic Compounds", *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 5 (1), 2017, pp. 556-562. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b01947.

11. Itoi, Hiroyuki; Yasue, Yuka; Suda, Keita; Katoh, Seiya; Hasegawa, Hideyuki; Hayashi, Shinya; Mitsuoka, Masanao; Iwata, Hiroyuki; Ohzawa, Yoshimi, "Solvent-free Preparation of Electrochemical Capacitor Electrodes Using Metal-free Redox Organic Compounds", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, Vol.5, 556 - 562 (2017).

12. Hiroyuki Itoi, Shinya Hayashi, Hidenori Matsufusa, and Yoshimi Ohzawa, "Electrochemical Synthesis of Polyaniline in the Micropores of Activated Carbon for High-Performance Electrochemical Capacitors", *Chemical Communications*, 53, 3201 - 3204 (2017).

13. 糸井弘行, 西原洋知, 京谷 隆, "ゼオライト鑄型炭素上での水素のスピルオーバー～水素吸蔵材料を目指して～", *触媒*, 59, 263-267 (2017).

5. 本研究に関する発表

上述した。