

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21350106

研究課題名（和文）

特異的な電気二重層挙動の解明と高性能キャパシタへの展開

研究課題名（英文）

Elucidation of Anomalous EDL Behavior and its Application to Advanced Capacitors

研究代表者

石川 正司 (ISHIKAWA MASASHI)

関西大学・化学生命工学部・教授

研究者番号：30212856

研究成果の概要（和文）：電極に形成される電気二重層の特異性に着目し、キャパシタの高性能化を果たした。まず、ナノカーボンの界面二重層の高速応答特性を活用し、超高速作動キャパシタの構築に成功した。また、イオン液体を含有する天然高分子ゲル電解質により、電極界面二重層のエネルギー障壁を大幅に低減し、高速作動キャパシタを実現した。また、電気二重層中にハロゲンレドックス種を蓄積できる条件を見出し、全く新しいキャパシタを提案した。

研究成果の概要（英文）：We have focused on an anomalous electric double layer (EDL) at an electrode and, based on that study, successfully realized high-performance capacitors. First we developed a hyper rapid capacitor by utilizing EDL at a nano-carbon interface. We also designed a high-response capacitor by decreasing energy barrier at EDL with natural polymer-based gel electrolytes an ionic liquid. Furthermore a novel capacitor was developed by applying a founding: specific charge storage by halogenated species at EDL.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	11,100,000	3,330,000	14,430,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料・デバイス

キーワード：電気二重層・キャパシタ・コンデンサー・イオン液体・炭素電極

1. 研究開始当初の背景

現在の電気二重層キャパシタは活性炭電極が使われ、高表面積化賦活によって二重層容量を増加させてきた。しかしながら、この従来の方策でこれ以上エネルギー密度を向上させるのは困難であり、これに替わる材料の探索が始まっている。興味もたれている新材料は、ナノ構造カーボン、低表面積多孔性カーボンなどであり、実際これらの材料の

中には、従来の活性炭材料を上回る重量エネルギー密度を示すものも見出されつつある。しかしながら、新規カーボンが高特性を示す真のメカニズムについては完全には理解されていない。

一方、電極とともに必須材料である電解質に関しては、今日でも未知の現象が多く存在する。本申請者はキャパシタ用イオン液体電解液に早くから取り組んできたが、異種塩混

合による還元分解電位の大幅な改善効果、想定イオン種ではなく対イオンに容量が支配される現象、高粘度になっても逆に高速充放電能力が改善される現象など、新規開発の電解質、電解液では従来理論で説明が困難、あるいは不可能な現象が頻出する。つまり新規な電極、特に電解質については、既知の電気二重層理論では説明が困難な現象が実に多い。このことを指摘するとともに、解明への取り組みと応用への試みの必要性を感じた。

2. 研究の目的

本研究は、次世代型電気二重層キャパシタの開発を目的とし、電気二重層現象の見直しと再構築を行い、見出した新現象と新方法論を適用することにより、従来限界とされてきた電気二重層キャパシタの性能限界にブレークスルーを与える。以下にその概要を説明する。

(1) ナノカーボン材料の界面現象の適用

ナノカーボンの表面はイオン伝導体の電解液に対して開かれた界面であり、この表面を反応場として有効活用すれば、超高速のキャパシタメカニズムが効果的に発現するはずである。そこで本研究では、界面電気二重層の主要パラメータと、容量・出力との相関を把握し、より高エネルギーで、特に突出した高速作動が可能なキャパシタ電極系を提案する。

(2) イオン液体含有天然高分子ゲル電解質の開発

アルギン酸やキトサンなどの天然高分子をマトリックスとしたイオン液体ゲル電解質を開発し、これを活性炭電極と複合化させる。このデザインにより、活性炭界面の電気二重層を制御し、二重層容量のアノマリーな向上ならびに速度特性向上を狙う。

(3) 二重層内可逆レドックス反応による特異的な容量増加キャパシタの開発

臭素などのハロゲン、あるいはハロゲン化合物を電極の電気二重層内で可逆的かつ固定的にレドックスさせることにより、特異的な電荷蓄積メカニズムを構築する。これにより新規なキャパシタを提案する。

3. 研究の方法

(1) ナノカーボン材料の界面現象の適用

ナノカーボンの直径、長さ、本数密度などの幾何学的パラメータから二重層容量を予想し、空間電荷層の効果を加味して、エネルギー密度を予測する。また、定電流充放電試験による、実測デバイス性能を収集し、二重層容量発現のエネルギー因子と速度因子の支配が実測値を説明しうるか、考察する。これにより最適性能を発揮するナノカーボン電極材料を提示する。

(2) イオン液体含有天然高分子ゲル電解質の開発

アルギン酸あるいはキトサンを水溶液中

で架橋させ、その後洗浄して、イオン液体を含浸させ、さらに乾燥させる。得られたゲル電解質をキャパシタに適用し、この電解質が界面に及ぼす影響を交流インピーダンス分析で解析し、直流充放電試験でキャパシタ電極としての性能を評価する。また微分容量解析にて、特異的二重層構造を解明する。

(3) 二重層内可逆レドックス反応による特異的な容量増加キャパシタの開発

臭素水で処理した活性炭正極を水溶液系キャパシタに適用するとともに、臭素イオンを含むイオン液体電解質を適用する検討を行う。そして、臭素のレドックスによる容量増大効果を充放電試験で確認するとともに、容量増加のメカニズムの解明に取り組む。この機構解明をフィードバックし、キャパシタあるいはハイブリッドキャパシタ、さらには電池系への発展を試みる。

4. 研究成果

(1) ナノカーボン材料の界面現象の適用

多層カーボンナノチューブを配向させた電極の層数、直径、長さ、本数密度などを広範囲に変化させ、二重層容量特性、レート特性、エネルギー密度との相関を実験的に解明し、同時に、全パラメータを用いて理論的性能予測を行った。その結果、強い相関で理論値と実測値が一致することが明らかになった。本研究による理論は、ナノカーボンを用いたキャパシタの性能予測と最適設計に活用可能であり、今後の発展が期待できる。

(2) イオン液体含有天然高分子ゲル電解質の開発

アルギン酸およびキトサンを酸またはアルカリで会合体とし、脱水洗浄後イミダゾール系イオン液体を含浸させた電解質をキャパシタ用活性炭電極に適用したところ、炭素界面に優れた親和性を発揮し、二重層容量を増大させると共に、界面エネルギー障壁を大幅に低下させた。その結果、高容量化と高出力化が同時に可能になった。このように、電解質ドメインの新規設計により、界面二重層が特異的に構造変化することが明らかになり、キャパシタ性能向上の新指針が得られた。

(3) 二重層内可逆レドックス反応による特異的な容量増加キャパシタの開発

臭素化合物で修飾された正極では、活性炭の表面官能基が臭素化されることにより自然電位が正にシフトし、同時に電気二重層内に臭素種が可逆的に蓄積できることが判明した。この機構は水溶液系、イオン液体系の両方で機能しており、適切な負極を組み合わせると様々な蓄電デバイスが構築可能であることが判った。また、水溶液系キャパシタにおいても、従来の非水系キャパシタのエネルギー密度を大幅に超える優れた性能を示すことが判った。今後の発展が大いに期待される。この成果で博士研究員の山崎が「電池

技術委員会賞」を受賞した。

また、研究代表者の石川は、このような界面二重層制御の功績により「平成24年度 文部科学大臣表彰」(研究部門)を受賞した。

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 18 件)

- ① M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 2 名:
Non-aqueous Electrochemical Capacitor Utilizing Electrolytic Redox Reactions of Bromide Species in Ionic Liquid, *Electrochimica Acta*, 査読有, in press, 2012.
- ② M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 2 名:
Performance of Non-aqueous Electrochemical Capacitor Utilizing Halogen Redox Reaction, *ECS Transaction*, 有, 41, 2012, 15,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3693060>
- ③ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 3 名:
Polysaccharide-based Gel Electrolytes Containing Hydrophobic Ionic Liquids for Electric Double-layer Capacitors, *ECS Transaction*, 有, 41, 2012, 25,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3693061>
- ④ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 2 名:
Alginate Gel Containing an Ionic Liquid and Its Application to Non-aqueous Electric Double Layer Capacitors, *Electrochemical and Solid-state Letters*, 有, 14, 2011, A165,
<http://dx.doi.org/10.1149/2.02011les1>
- ⑤ M. Ishikawa, M. Yamagata, 他 4 名: Li-ion Battery Performance with FSI-based Ionic Liquid Electrolyte and Fluorinated Solvent-based Electrolyte, *ECS Transactions*, 有, 33, 2011, 29,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3563087>
- ⑥ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 4 名:
High/low Temperature Operation of Electric Double Layer Capacitor Utilizing Acidic Cellulose-chitin Hybrid Gel Electrolyte, *Journal of Power Sources*, 有, 195, 2010, 6245,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.02.037>
- ⑦ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 5 名:
Application of bis(fluorosulfonyl)imide-based Ionic Liquid Electrolyte to Silicon-nickel-carbon Composite Anode for Lithium-ion Batteries, *Journal of Power Sources*, 有, 195, 2010, 6153,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.01.011>
- ⑧ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 9 名:
Application of Fluorine-containing Solvents to LiCoO₂ Cathode in High Voltage Operation, *Electrochemistry*, 有, 78, 2010, 345,
<http://dx.doi.org/10.5796/electrochemistry.78.345>
- ⑨ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 2 名:
Charge-discharge Behavior of Electric Double-layer Capacitor with Alginate/ionic Liquid Gel Electrolyte, *ECS Transactions*, 無, 25, 2010, 193,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3414018>
- ⑩ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 4 名:
Application of Activated Carbon/DNA Composite Electrodes to Aqueous Electric Double Layer Capacitors, *Journal of Power Sources*, 有, 195, 2010, 1753,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.049>
- ⑪ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 4 名:
Performance of Electric Double-layer Capacitor with Acidic Cellulose-chitin Hybrid Gel Electrolyte, *Journal of The Electrochemical Society*, 有, 157, 2010, A203,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3270498>
- ⑫ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 4 名:
Temperature Dependence of Electric Double-layer Capacitor Operation Utilizing Acidic Cellulose-chitin Hybrid Gel Electrolytes, *ECS Transactions*, 無, 25, 2010, 107,
<http://dx.doi.org/10.1149/1.3334797>
- ⑬ M. Ishikawa, 他 3 名: Electrochemical Cell Studies Based on Non-aqueous Magnesium Electrolyte for Electric Double Layer Capacitor Applications, *Journal of Power Sources*, 有, 195, 2010, 662,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.07.043>
- ⑭ M. Yamagata, M. Ishikawa, 他 6 名:
Effects of Organic Additives on Lithium Insertion/extraction for Graphite Electrode in Ionic Liquid Electrolytes Based on Bis(fluorosulfonyl)imide, *Electrochemistry*, 有, 77, 2009, 696,
<http://dx.doi.org/10.5796/electrochemistry.77.696>
- ⑮ M. Ishikawa, M. Yamagata, 他 5 名:
Electrochemical Lithium Insertion/extraction for Carbon Electrodes in FSI-based Ionic Liquids, *ECS Transactions*, 無, 16, 2009, 67,

<http://dx.doi.org/10.1149/1.3123129>

- ⑯ M. Ishikawa, 他 5 名: Ionic Liquid Electrolyte Systems Based on bis(fluorosulfonyl)imide for Lithium-ion Batteries, Journal of Power Sources, 有, 189, 2009, 802, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.07.053>

〔学会発表〕(計 154 件)

- ①池邊翔太: バクテリアセルロースゲル電解質を用いた EDLC 特性評価, 電気化学会第 79 回大会, 2012. 3. 29, アクトシティ浜松, 静岡.
- ②山縣雅紀: アルギン酸バインダーを用いた高出力 EDLC の開発, 電気化学会第 79 回大会, 2012. 3. 29, アクトシティ浜松, 静岡.
- ③石川正司: リチウムイオンキャパシタの原理、構成と技術課題・今後の展望, リチウムイオンキャパシタの材料開発/設計と性能への影響, 2012. 2. 23, 品川区立総合区民会館, 東京.
- ④山崎穰輝: ハロゲン化物のレドックス反応を用いたキャパシタ型蓄電デバイスの開発, 第 360 回電池技術委員会, 2012. 2. 10, 千里ライフサイエンスセンター, 大阪.
- ⑤石川正司: 電気二重層コンデンサの開発動向, 電気四学会関西支部専門講習会, 2012. 2. 9, 中央電気倶楽部, 大阪.
- ⑥山縣雅紀: 電気化学キャパシタ用炭素系活物質の潜在性能を引き出すための提案, 第 105 回黒鉛化合物研究会, 2012. 1. 27, 関西大学, 大阪.
- ⑦山縣雅紀: 炭素電極/イオン液体界面における構成イオンおよび溶存リチウムイオンの効果, 第 2 回イオン液体討論会, 2011. 12. 17, キャンパスプラザ京都, 京都.
- ⑧村雲由佳: 臭化物イオンをレドックス種とした水系キャパシタの容量発現機構の解析, 平成 23 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2011. 12. 10, 関西大学, 大阪.
- ⑨笠井祐貴: 生体関連材料由来のゲル電解質を用いた電気二重層キャパシタの電気化学的性質, 平成 23 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2011. 12. 10, 関西大学, 大阪.
- ⑩額田智也: 高比表面積 PET 活性炭電極を用いた非水系 EDLC の特性評価, 平成 23 年度第 3 回関西電気化学研究会, 2011. 12. 10, 関西大学, 大阪.
- ⑪村雲由佳: 水系電解液における臭素系レドックス容量発現機構の解析, 第 52 回電池討論会, 2011. 10. 20, タワーホール船堀, 東京.
- ⑫西下慧: イオン液体中の各種カチオン・ア

ニオンが炭素電極の電気二重層構造に及ぼす効果, 第 52 回電池討論会, 2011. 10. 19, タワーホール船堀, 東京.

- ⑬ M. Ishikawa: Electrochemical Capacitors Based on Novel Designs of Electrode-electrolyte Interface, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, 2011. 10. 13, Westin Boston Waterfront and the Boston Convention and Exhibition Center, Boston, Massachusetts, U. S. A
- ⑭ M. Yamagata: Polysaccharide-based Gel Electrolytes Containing Hydrophobic Ionic Liquids for Electric Double-layer Capacitors, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, 2011. 10. 11, Westin Boston Waterfront and the Boston Convention and Exhibition Center, Boston, Massachusetts, U. S. A
- ⑮ S. Yamazaki: Charge-discharge Behavior of Electrochemical Capacitor Utilizing Halogen Redox Reactions, 12th International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2011), 2011. 9. 20, TWTC Nangang Exhibition Hall, Taipei, Taiwan.
- ⑯ M. Ishikawa: Novel Designs of Supercapacitor Focusing on Electrode/electrolyte Interface, 12th International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2011), 2011. 9. 20, TWTC Nangang Exhibition Hall, Taipei, Taiwan.
- ⑰ M. Ishikawa: High-performance Electrochemical Capacitors with Specific Interfacial Designs, 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2011. 9. 15, Toki Messe, Niigata, Japan.
- ⑱ 笠井祐貴: 天然高分子由来のゲル電解質を用いた電気二重層キャパシタの特性評価, 2011 年電気化学秋季大会, 2011. 9. 10, 朱鷺メッセ, 新潟.
- ⑲ 山崎穰輝: ハロゲンレドックス反応を用いた高容量非水系キャパシタの特性評価, 2011. 9. 10, 朱鷺メッセ, 新潟.
- ⑳ 山崎穰輝: イオン液体を含有するキトサンゲル電解質を用いた非水系電気化学キャパシタの開発, 第 25 回キチン・キトサンシンポジウム, 2011. 8. 31, 奈良県新公会堂, 奈良.
- ㉑ 石川正司: 多層カーボンナノチューブを電極に利用した電気二重層キャパシタ, 平成 23 年度第 1 回カーボンナノ材料研究会, 2011. 6. 24, 関西大学, 大阪.
- ㉒ S. Yamazaki: Electrochemical Capacitors Utilizing Halogen Redox Reactions, 2nd

- International Symposium on Enhanced Electrochemical Capacitors (ISEE' Cap 2011), 2011.6.14, Poznan University of Technology, Poznan, Poland.
- ⑳M. Ishikawa: Novel Designs of Electrode-electrolyte Interface for Supercapacitors, 2nd International Symposium on Enhanced Electrochemical Capacitors (ISEE' Cap 2011), 2011.6.14, Poznan University of Technology, Poznan, Poland.
- ㉑山縣雅紀: イオン液体を含む天然高分子ゲル電解質の合成とそれを用いた非水系電気二重層キャパシタの出力特性, 電気化学会第78回大会, 2011.3.31, 横浜国立大学, 神奈川.
- ㉒村雲由佳: 臭化物イオンを反応種とした水系レドックスキャパシタの反応機構, 電気化学会第78回大会, 2011.3.30, 横浜国立大学, 神奈川.
- ㉓森原典史: 配向性CNT電極のCNT形状パラメータとキャパシタンス特性との相関, nano tech 2011, 2011.2.16-18, 東京ビッグサイト, 東京.
- ㉔石川正司: 電池およびキャパシタの電極二重層界面における興味深い現象, 第102回黒鉛化合物研究会, 2011.1.28, 大阪電気通信大学, 大阪.
- ㉕西下慧: 電極/イオン液体界面における電気二重層構造の解明およびLi塩添加効果, 2010年度第3回関西電気化学研究会, 2010.12.11, 産業技術総合研究所関西センター, 大阪.
- ㉖M. Ishikawa: Li-ion Battery Performance with FSI-based Ionic Liquid Electrolyte and Fluorinated Solvent-based Electrolyte, 218th ECS Meeting Las Vegas, 2010.10.12, Riviera Hotel, Las Vegas, Nevada, USA.
- ㉗M. Ishikawa: Development of Novel Materials for Electric Double Layer Capacitors, Joint Symposium between the Petroleum and Petrochemical College Chulalongkorn University and Science and Technology Faculties Kansai University, 2010.8.27, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- ㉘M. Ishikawa: Novel Materials for Supercapacitor Applications, 2010 International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2010), 2010.6.2, Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan.
- ㉙S. Yamazaki: Application of Redox Reaction Involving Bromide Ion to Novel Electrochemical Capacitor, 2010 International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2010), 2010.6.1, Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan.
- ㉚N. Morihara: Low-temperature Performance of EDLC Containing Aligned CNT Sheet Electrodes and Ionic Liquid Electrolyte, 2010 International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2010), 2010.6.1, Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan.
- ㉛K. Soeda: Preparation of Alginate-based Gel Electrolyte Containing Ionic Liquids and Its Application to Non-aqueous Electric Double-Layer Capacitors, 2010 International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2010), 2010.6.1, Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan.
- ㉜石川正司: 新規材料適用によるキャパシタの高性能化, 電気化学会第77回大会, 2010.3.29, 富山大学, 富山.
- ㉝石川正司: リチウム電池とキャパシタにおけるナノ材料および関連技術, 表面科学技術研究会 2010, 2010.1.20, 神戸大学, 兵庫.
- ㉞M. Ishikawa: Ultra High Power EDLC and Elucidation of its Origin, 4th Asian Conference on Electrochemical Power Sources (ACEPS-4), 2009.11.9, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan.
- ㉟M. Yamagata: Charge-discharge Behavior of Electric Double-layer Capacitor with Alginate/ionic Liquid Gel Electrolyte, 216 ECS Meeting, 2009.10.6, The Austria Center Vienna, Vienna, Austria.
- ㊱S. Yamazaki: Temperature Dependence of Electric Double-layer Capacitor Operation Utilizing Acidic Cellulose-chitin Hybrid Gel Electrolytes, 216 ECS Meeting, 2009.10.5, The Austria Center Vienna, Vienna, Austria.
- ㊲M. Yamagata: Novel Polysaccharide/ionic Liquid Gel Electrolyte for Non-aqueous Electric Double-layer Capacitors, 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009), 2009.8.3, Yokohama Symposia, Kanagawa, Japan.
- ㊳S. Yamazaki: High/low Temperature Operation of Electric Double Layer Capacitor Utilizing Acidic Cellulose-chitin Hybrid Gel Electrolyte, 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (PBFC2009), 2009.8.3, Yokohama Symposia, Kanagawa, Japan.

〔図書〕(計7件)

- ① 本田裕一, 石川正司, シーエムシー出版, 新材料・新素材シリーズ「カーボンナノチューブの機能化・複合化技術普及版, 2011, 241-251.
- ② 石川正司: シーエムシー出版, エレクトロニクスシリーズ リチウムイオンキャパシタ技術と材料(監修: 石川正司), 2010, 3-15.
- ③ 石川正司, 本田裕一: 技術教育出版社, 次世代キャパシタ開発最前線—大容量・高耐圧化のための材料・構成から二次電池とのハイブリッドおよび最新応用動向まで—, 2009, 98-109.
- ④ 石川正司: 情報機構, ゲル コントローラーゲルの上手な作り方とゲル化の抑制, 2009, 113-123.
- ⑤ 山縣雅紀, 石川正司: 丸善, 第3版現代界面コロイド化学の基礎, 2009, 223-225.

〔産業財産権〕

- 出願状況(計11件)
- ①①名称: 電気化学キャパシタ用電解質、電気化学キャパシタおよび電気機器, ②発明者: 山縣雅紀, 石川正司, 田村裕, 古池哲也, 池邊翔太, 西江由佳, 山崎穰輝, ③権利者: 関西大学, ④種類: 特許, ⑤番号: 特願 2012-068363, ⑥出願年月日: H24. 3. 23, ⑦国内外の別: 国内
 - ②①バインダ、電極、電気化学キャパシタおよびリチウムイオン二次電池, ②山縣雅紀, 石川正司, 山崎穰輝, 池邊翔太, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2012-020283, ⑥H24. 2. 1, ⑦国内
 - ③①非水系ゲル電解質およびその製造方法、並びにその利用. ②山縣雅紀, 石川正司, 竹野一基, 山崎穰輝, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2011-195478, ⑥H23. 9. 7, ⑦国内
 - ④①電気化学キャパシタ, ②石川正司, 山縣雅紀, 山崎穰輝, 伊藤達哉, 村雲由佳, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2011-070762, ⑥H23. 3. 28, ⑦国内
 - ⑤①電気化学キャパシタ, ②石川正司, 山縣雅紀, 山崎穰輝, 伊藤達哉, 村雲由佳, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2010-250228, ⑥H22. 11. 8, ⑦国内
 - ⑥①非水系電解質、これを含む蓄電デバイスおよび非水系電解質の製造方法, ②山縣雅紀, 石川正司, 副田和位, 山崎穰輝, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2010-247557, ⑥H22. 11. 4, ⑦国内
 - ⑦①イオン液体を用いたリチウム二次電池, ②杉本敏規, 東崎哲也, 石古恵理子, 河野通之, 石川正司, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2010-64172, ⑥H22. 3. 19, ⑦国内
 - ⑧①電解質及び該電解質を備えた電気化学

デバイス, ②山縣雅紀, 石川正司, 副田和位, 山崎穰輝, ③関西大学, ④特許, ⑤特願 2010-051773, ⑥H22. 3. 9, ⑦国内

〔その他〕

報道関連

- ①革新型蓄電池開発を目指して, 関西大学 化学生命工学部 先端科学技術推進機構長 石川正司教授に聞く, 日刊電波新聞, 1面, 2010. 6. 28.
- ②蓄電装置出力100倍 関大と日立造船 ナノチューブ利用, 日本経済新聞, 朝刊, 12面 2009. 10. 12.

解説

石川正司, 山縣雅紀, 他3名: ハロゲンレドックス反応を利用したキャパシタ型蓄電デバイスの開発, 電池技術, 23, 134, 2011. 12. 2.

受賞関連

- ①山崎穰輝: 「電池技術委員会賞」, 2011. 10. 19, 対象となった業績「山崎穰輝 他: ハロゲン化物のレドックスを利用した電気化学キャパシタの充放電挙動, 第51回電池討論会, 2010. 11. 11, 愛知県産業労働センター, 愛知」.
- ②研究者所属機関別論文発表件数ならびに研究者別論文発表件数ランキングにおいて関西大学ならびに石川正司が第1位, 2011. 2, 発表媒体「直井勝彦他: 平成22年度特許出願技術動向調査報告書, 特許庁」.
- ③石川正司: 「平成24年度文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)」, 2012. 4. 17, 対象となった業績「材料界面の積極的制御による蓄電デバイス高性能化の研究」.

ホームページ

関西大学学術情報データベース:
<http://gakujo.kansai-u.ac.jp/profile/ja/da93ad8rb8c00fa7HW7f16kobc.html#18>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 正司 (ISHIKAWA MASASHI)
関西大学・化学生命工学部・教授
研究者番号: 30212856

(2) 研究分担者

山縣 雅紀 (YAMAGATA MASAKI)
関西大学・化学生命工学部・助教
研究者番号: 80527119