

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17073013

研究課題名（和文）電気化学デバイス用イオン液体の機能発現に関する研究

研究課題名（英文）Functional ionic liquids for electrochemical devices

研究代表者

萩原 理加 (HAGIWARA RIKKA)

京都大学・大学院エネルギー科学研究科・教授

研究者番号：30237911

研究成果の概要（和文）：本研究により液体状態で不揮発性のフルオロハイドロジェネート塩を与えるカチオンがアンモニウム塩を中心に数多く見つかかり、これらを電解質に応用した電気化学キャパシタは低温を含めた広い温度範囲で高容量を示した。またこの塩は中温無加湿作動型燃料電池用電解質として使用できることが実証された。混合アルカリ TFSA 熔融塩を用いた Li/LiFePO₄ 電池は 170 °C の運転温度で非常に高いサイクル安定性ならびに放電容量を示した。NaTFSA-CsTFSA 二元系熔融塩を用いた Na/NaCrO₂ 電池では、ほぼ一段の平坦部が現れる充放電曲線を示した。

研究成果の概要（英文）：Electrochemical capacitors using fluorohydrogenate ionic liquids exhibit excellent performance in a wide temperature range especially below room temperatures down to -40 °C. DMI_m(FH)_{2,3}F has given the highest capacitance of 178 F g⁻¹ at room temperature and a wide temperature range of operation above and below 0 °C. A fuel cell using fluorohydrogenate salts as the electrolyte has demonstrated to operate at 120 °C under unhumidified condition. A lithium/LiFePO₄ battery using mixed alkali TFSA salts as the electrolyte has exhibited capacity of 90 mAhg⁻¹ at 5C rate. Na/NaCrO₂ secondary battery with NaTFSA-CsTFSA binary molten salt has shown an excellent performance with a potential plateau at 2.8 V vs Na⁺/Na at a rate of 10 mA (g-NaCrO₂)⁻¹.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------|------------|
| 2005年度 | 8,300,000 | 0 | 8,300,000 |
| 2006年度 | 8,300,000 | 0 | 8,300,000 |
| 2007年度 | 8,300,000 | 0 | 8,300,000 |
| 2008年度 | 16,721,000 | 0 | 16,721,000 |
| 2009年度 | 5,000,000 | 0 | 5,000,000 |
| 総計 | 46,621,000 | 0 | 46,621,000 |

研究分野：化学

科研費の分科・細目：化学・基礎化学・物理化学・複合化学・機能物質化学

キーワード：イオン液体、熔融塩、電気化学、イオン導電性、粘性率、燃料電池、キャパシタ、リチウム電池

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは本プロジェクト開始当時までにそれまでに比べ格段に粘性率が低く導電率が高い新しいイオン液体、1エチル3メチルイミダゾリウムフルオロハイドロジェネート (EMIm(FH)_{2.3}F) の開発に成功していた。この液体は室温付近を中心に広い液体温度領域を有し、100 mS_{cm}⁻¹ という、飽和食塩水に匹敵する、イオン液体の中では今日でも最高のイオン導電率を有する。これらのイオン液体を用いた電気化学キャパシタ用電解液、燃料電池用電解質、電解フッ素化、フッ素化試薬などを開発するためには、その物性データを集積し、高導電率、高耐電圧、化学的安定性などの機能発現の機構を明らかにし、適切な塩の設計を行う必要があった。特に、電気化学デバイスの種類や用途によっては上述のアルキルイミダゾリウムフルオロハイドロジェネートの熱的、電気化学的安定性はまだ充分なものではなく、さらなる改良が必要であった。

2. 研究の目的

上述のような研究背景から、本研究ではフルオロハイドロジェネート系のイオン液体の合成ならびに諸物性のデータの系統的な集積、液体塩ならびにその固体の構造解析による機能発現メカニズムの探求、熱的、電気化学的安定性の改善や、新しい機能の導入などを目的とした。さらに平成 19 年度からは新たにリチウム、ナトリウム二次電池用の電解質として、パーフルオロアルキルスルホン酸アミドアニオンやフルオロスルホン酸アミドアニオンを対アニオンとする混合アルカリ金属アミド塩の開発を新しいテーマとして加え、以後あわせて研究を遂行した。

3. 研究の方法

原料である塩化物、臭化物塩とフッ化水素の反応によりフルオロハイドロジェネートイオン液体を合成し、その密度、粘性率、導電率、熱物性、イオンの自己拡散係数、電気化学窓などを所定の方法にて測定した。物性値によっては温度依存性を検討した。また x 線回折による固体、液体の構造を調べ、分子動力学計算などの結果と合わせて検討を行った。アニオン中の HF 組成をかえて熱測定を行い、状態図の作成を行った。混合アルカリ金属塩系では熱測定の結果をもとに状態図を作成し、混合系では共晶温度を決定しまた粘性率や導電率、電気化学窓やカソード限界反応の解析等を行った。これらのイオン液体を電解質に用いたキャパシタ、燃料電池、リチウム二次電池、ナトリウム二次電池などを作製し、その性能試験を行った。

4. 研究成果

フルオロハイドロジェネートイオン液体は液体状態で系に中性の単分子あるいはオリゴマーの遊離 HF が事実上存在せず、従って解離圧が無視できるくらい小さく、液体状態の塩をロータリーポンプの最高到達真空下に長時間置いても HF を失って固化することがない。このような塩を与えるカチオンが本研究により新たに、アンモニウム塩を中心に数多く見つかり、これらの塩について多くの場合、あくまで常温付近であるが、真空下で安定に存在する塩の組成式が Cat⁺(FH)_{2.3}F⁻ と表されることが確認された。構成アニオンである (FH)₂F⁻ (C_{2v}) や (FH)₃F⁻ (D_{3h}) (Fig.1) は、これまで IR による同定に拠っていたが、本研究において、ジメチルイミダゾリウム塩の単結晶構造解析に成功し、塩中でのこれらのアニオンの構造が再確認された。Cat⁺(FH)_{2.3}F⁻ は (FH)₂F⁻ : (FH)₃F⁻ = 7:3 の組成になるアニオン混合の塩とみなせる。量子化学計算の結果から、これらの結晶構造中のイオン間相互作用エネルギーの大きさは距離に反比例しており、静電相互作用が支配的であることが示された。また、カチオン-アニオン間の局所的な水素結合は方向性が乏しく、従来から知られている一般的な水素結合とは異なるものであった。EMIm(FH)_{2.3}F について複数のグループが分子動力学計算を行っており、これらのイミダゾリウム系のイオン液体の固体結晶中で見られるカチオンの層状構造やイミダゾリウム環の 2、4、5 位付近へのアニオンの配位が残存するイオン液体の局所構造がモデルが、イオン液体の高エネルギー X 線回折で得られている動径分布関数を精度よく再現する結果となった。このほか、フルオロハイドロジェネートアニオンを対アニオンとする塩では、イミダゾリウムカチオンの一方のアルキル側鎖 (C₁₀以上) を伸ばして得られるイオン液晶や、アルキル側鎖の短いピロリジニウムカチオンの塩の HF 組成を減じて得られる柔軟性結晶相など、液相と固相の中間相を示す塩も本研究により数多く発見され、新たな展開を見せている。

電気化学デバイス用電解質への応用研究としては、EMPy_r(FH)_{1.7}F-HEMA (モル比 9:1) 複合化電解質膜を用いた燃料電池無加湿下で発電を行い、最大出力密度は 75 mW cm⁻² を得た。また、PTFE フィルターを担体とし、BMaoePy_r(FH)_{2.3}F を重合させることにより作られた電解質膜を用いた無加湿下発電では、298 K において最高出力密度 8.9 mW cm⁻² を得た。電気二重層キャパシタ用電解質として最

も大きな容量を与えたのは DMI(FH)_{2.3}F であり、178 F g⁻¹であった。FHIL を用いた EDLC は低温を含めた広い温度範囲で高容量を示すことがわかった。中温作動型リチウム二次電池用の TFSA 溶解塩(モル分率 $x_{LiTFSA} = 0.20$ 、 $x_{KTFSA} = 0.10$ 、 $x_{CsTFSA} = 0.70$) を用いた二電極式の Li/LiFePO₄ 電池において、充放電レート 1 C で 40 サイクル目以降、充放電容量の減少はほとんど見られず、非常に高いサイクル安定性を示した。また、5 C レートで 90 mA h g⁻¹ の放電容量を示した。導電率が高く粘性率の低い、 $x_{NaTFSA} = 0.10$ の組成を持つ NaTFSA-CSTFSA 二元系溶解塩を用いた Na/NaCrO₂ 電池では、充放電レート 10 mA (g-NaCrO₂)⁻¹ で 2.8 V vs. Na⁺/Na においてほぼ一段の平坦部が現れる充放電曲線となった。10 サイクル後の充電容量ならびに放電容量はそれぞれ 83.4、83.1 mA h (g-NaCrO₂)⁻¹ となり、可逆的な充放電が可能であった。

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 55 件)

- ① Kazuhiko Matsumoto and Rika Hagiwara, "A new series of ionic liquids based on the difluorophosphate anion" *Inorganic Chemistry*, 査読有, **48**, 7350-7358 (2009).
- ② Keigo Kubota, Kenichiro Tamaki, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto and Rika Hagiwara, "Electrochemical properties of alkali bis(trifluoromethylsulfonyl)amides and their eutectic mixtures" *Electrochimica Acta*, 査読有, **55**, 1113-1119 (2009).
- ③ Shunsuke Kanematsu, Kazuhiko Matsumoto and Rika Hagiwara, "Electrochemically stable fluorohydrogenate ionic liquids based on quaternary phosphonium cations" *Electrochemistry Communications*, 査読有, **11**, 1312-1315 (2009).
- ④ Atsushi Watarai, Keigo Kubota, Masaki Yamagata, Takuya Goto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Koichi Ui, Naoki Kumagai "A rechargeable lithium metal battery operating at intermediate temperatures using molten alkali bis(trifluoromethylsulfonyl)amide mixture as an electrolyte" *J. Power Sources*, 査読有, **183** (2008) 724-729.
- ⑤ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto, Rika Hagiwara "Novel inorganic ionic liquids possessing low melting temperatures and wide electrochemical windows: Binary mixtures of alkali bis(fluorosulfonyl)amides" *Electrochem. Commun.*, 査読有, **10**(2008), 1886-1888.
- ⑥ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto, Rika Hagiwara "Ternary (trifluoromethyl sulfonyl)amides" *J. Chem. & Eng. Data*, 査読有, **53**(2008) 2144-2147.
- ⑦ Shinji Kohara, Masaki Takata, Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, Kentaro Suzuya, Hidetoshi Morita, Joan E. Siewenie, Chris J. Benmore "Very strong hydrogen bonds in a bent chain structure of fluorohydrogenate anions in liquid Cs(FH)_{2.3}F" *J. Chem. Phys.*, 査読有, **129**(2008) 014512/1-014512/6.
- ⑧ Rika Hagiwara, Kenichiro Tamaki, Keigo Kubota, Takuya Goto, Toshiyuki Nohira "Thermal of (trifluoromethylsulfonyl) amides," *J. Chem. & Eng. Data*, 査読有, **53**(2008) 355-358.
- ⑨ S. Shiraishi, T. Miyauchi, R. Sasaki, N. Nishina, A. Oya, R. Hagiwara, Electric Double Layer Capacitance of Activated Carbon Nanofibers in Ionic Liquid: EMImBF₄, *Electrochemistry*, 査読有, **75**, 619-621 (2007).
- ⑩ Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, Zoran Mazej, Primoz Benkic and Boris Zemva, Crystal structures of frozen room temperature ionic liquids, 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMImBF₄), hexafluoroniobate (EMImNbF₆) and hexafluorotantalate (EMImTaF₆), determined by low-temperature X-ray diffraction, *Solid State Sciences*, 査読有, **9**, 761 (2007).
- ⑪ Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara and Osamu Tamada, Coordination environment around the lithium cation in solid Li₂(EMIm)(N(SO₂CF₃)₂)₃ (EMIm=1-ethyl-3-methylimidazolium): Structural clue of ionic liquid electrolytes for lithium batteries, *Solid State Sciences*, 査読有, **8**, 1103-1107 (2006).
- ⑫ Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, Zolan Mazej, Primoz Benkic and Boris Zemva "Crystal structures of frozen room temperature ionic liquids, 1-ethyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate (EMImBF₄), hexafluoroniobate (EMImNbF₆) and hexafluorotantalate (EMImTaF₆), determined by low-temperature X-ray diffraction" *Solid State Sciences*, 査読有, **8** (10) 1250-1257
- ⑬ Tetsuya Tsuda, Charles L. Hussey, Toshiyuki Nohira, Yoshihiro Ikoma, Kasumi Yamauchi, Rika Hagiwara and Yasuhiko Ito, Anodic hydrogen electrode reaction in aluminum chloride-1-ethyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquids, *Electrochemistry*, 査読有, **73**(8), 644-650 (2005).
- ⑭ Soshi Shiraishi, Naoya Nishina, Asao Oya and Rika Hagiwara, Electric double layer capacitance of activated carbon fibers in ionic liquid: EMImBF₄, *Electrochemistry*, 査読有, **73**(8), 593-596 (2005).
- ⑮ Yuria Saito, Kenichi Hirai, Kazuhiko

Matsumoto, Rika Hagiwara and Yoshihiro Minamizaki, Ionization state and ion migration mechanism of room temperature molten dialkylimidazolium fluorohydrogenates, *Journal of Physical Chemistry B*, 査読有, **109**, No.7, 2942-2948 (2005).

- ⑩ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Kazuhiko Matsumoto and Yuko Tamba, A fluorohydrogenate ionic liquid fuel cell operating without humidification, *Electrochemical and Solid-State Letters*, 査読有, **8**, No. 4, A231-A233 (2005).
- ⑪ Rika Hagiwara, Yoji Nakamori, Kazuhiko Matsumoto and Yasuhiko Ito, The effect of the anion fraction on the physicochemical properties of EMIm(HF)_nF (n = 1.0-2.6), *Journal of Physical Chemistry B*, 査読有, **109**, No. 12, 5445-5449 (2005).

[学会発表] (計 151 件)

- ① Kazuhiko Matsumoto and Rika Hagiwara, "New ionic liquids based on the difluorophosphate anion" 19th International Symposium on Fluorine Chemistry (Jackson Hole, Wyoming USA, Aug. 23-28, 2009)
- ② Yusaku Nishimura, Tetsuo Nishida, Caetano R. Miranda, Yasuhiro Fukunaka, Toshiyuki Nohira and Rika Hagiwara, "The Electrochemical Formation Mechanism of Silicon in Non-Aqueous Solvents" 216th Electrochemical Society Meeting (Vienna, Austria, Oct. 4-9, 2009)
- ③ Kazuhiko Matsumoto, Ryosuke Taniki, Fei Xu and Rika Hagiwara, "Mesophase Behavior of Fluorohydrogenate Salts" 3rd Congress on Ionic Liquids (Cairns, Australia, May 31 - Jun 4, 2009)
- ④ Yusaku Nishimura, Toshiyuki Nohira, Tetsuo Nishida, Caetano R. Miranda, Yasuhiro Fukunaka and Rika Hagiwara, "The Electrodeposition Mechanism of Silicon in a Room-Temperature Ionic Liquid" 3rd Congress on Ionic Liquids (Cairns, Australia, 31 May - 4 Jun, 2009)
- ⑤ Toshiyuki Nohira, Kouji Ogasawara, Takashi Hayashida and Rika Hagiwara, "Unhumidified Fuel Cells Operating at Intermediate Temperature Using Fluorohydrogenate Ionic Liquids" 3rd Congress on Ionic Liquids (Cairns, Australia, May 31 - Jun 4, 2009)
- ⑥ Toshiyuki Nohira, Kouji Ogasawara, Takashi Hayashida and Rika Hagiwara, "Fluorohydrogenate Ionic Liquid Fuel Cells Operating at Intermediate Temperature under Unhumidified Condition" The 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (Yokohama, Japan, Aug. 2-6, 2009)
- ⑦ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Kazuhiko Matsumoto, Shinji Kohara "Fluorohydrogenate ionic liquids-
- their unique features and new applications-" 2008 Joint Symposium on Molten Salts (Kobe, Japan, October 19-23, 2008)
- ⑧ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto, Rika Hagiwara "Binary mixtures of MFSI (M = Li, Na, K, Rb, Cs) as new inorganic ionic liquids" PRiME 2008 (Hawaii, USA, October 12-17, 2008)
- ⑨ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto, Atsushi Watarai, Tetsuya Fujimori, Keigo Kubota, Masaki Yamagata, Koichi Ui, Naoaki Kumagai "Molten alkali bis (trifluoromethylsulfonyl)amides and their application to rechargeable lithium batteries" PRiME 2008 Meeting (Hawaii, USA, Oct 12-17, 2008)
- ⑩ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Kazuhiko Matsumoto, Shinji Kohara "Fluorohydrogenate ionic liquids - their unique features and new applications-" 2008 Joint Symposium on Molten Salts (Kobe, Japan, October 19-23, 2008)
- ⑪ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto, Rika Hagiwara "Physicochemical properties of mixed alkali metal FSI salts" 2008 Joint Symposium on Molten Salts (Kobe, Japan, October 19-23, 2008)
- ⑫ Rika Hagiwara, "Recent studies on fluorohydrogenate ionic liquids," 234th ACS National Meeting (Boston, USA, Aug. 19-23, 2007)
- ⑬ Rika Hagiwara, Kazuhiko Matsumoto, Shinji Kohara and Yuria Saito, "Ionic Liquid Fluorohydrogenates-Difference form the conventional fluoride-HF systems," 2nd International Congress on Ionic Liquids (Yokohama, Japan, Aug. 5-10, 2007)
- ⑭ Keigo Kubota, Kenichiro Tamaki, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto and Rika Hagiwara, "Physicochemical Properties of Ternary MTFSI (M=Li, Na, K, Cs) Mixed Salts," 2nd International Congress on Ionic Liquids (Yokohama, Japan, Aug. 5-10, 2007)
- ⑮ Masaki Yamagata, Soichiro Konno and Rika Hagiwara, "New Series of Room-temperature fluorohydrogenate Ionic Liquids with N-Heterocyclic Cations," 2nd International Congress on Ionic Liquids (Yokohama, Japan, Aug. 5-10, 2007)
- ⑯ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Takashi Shimada, Takashi Fujinaga and Soichiro Konno, "Ionic liquid fluorohydrogenates and their applications," ECS 210th Meeting (Cancun, Mexico, Oct. 29-Nov. 3, 2006)
- ⑰ Je Seung Lee, Toshiyuki Nohira and Rika Hagiwara, "Ionic Liquid Composite Polymer Electrolyte Membranes for the Unhumidified Intermediate Temperature Fuel Cell," ECS 210th Meeting (Cancun,

- Mexico, Oct. 29–Nov. 3, 2006)
- ⑮ R. Hagiwara, T. Nohira, T. Shimada and T. Fujinaga, “Ionic Liquid Fluorohydrogenates and Their Application to Fuel Cell,” 18th International Symposium on Fluorine Chemistry (Bremen, Germany, July 30–Aug. 4, 2006)
- ⑯ K. Matsumoto, R. Hagiwara, Z. Mazej, P. Benkič and B. Žemva, “Structural Analyses of Room Temperature Ionic Liquids Containing Fluoroanions,” 18th International Symposium on Fluorine Chemistry (Bremen, Germany, July 30–Aug. 4, 2006)
- ⑰ Rika Hagiwara and Kazuhiko Matsumoto, “Studies on some fluorocomplex salts for electrochemical applications,” ACS 231st spring national meeting (Atlanta, USA, March 26–30, 2006)
- ⑱ Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Kazuhiko Matsumoto, Takashi Shimada and Takuji Fujinaga, “Chemical and electrochemical applications of ionic liquid fluorohydrogenates,” ACS 231st spring national meeting (Atlanta, USA, March 26–30, 2006)
- ⑲ Rika Hagiwara, “Low viscous fluorohydrogenate ionic liquids and their electrochemical applications,” ACS 18th Winter Fluorine Conference (St. Petersburg, USA, Jan. 14–19, 2006)
- ⑳ R. Hagiwara, T. Nohira, K. Matsumoto, Y. Tamba, T. Shimada, Fluorohydrogenate ionic liquid fuel cell,” Pacifichem 2005 (Honolulu, USA, Dec. 14–20, 2005)
- ㉑ K. Matsumoto, R. Hagiwara, Z. Mazej, P. Benkič, B. Zemva, “Structural studies of 1-ethyl-3-methylimidazolium salts containing fluoroanions,” Pacifichem 2005 (Honolulu, USA, Dec. 14–20, 2005).
- ㉒ Rika Hagiwara, Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Youji Nakamori, Yuko Tamba, Takashi Shimada, Y. Saito and S. Kohara, “Room Temperature Molten Fluorohydrogenate – Properties and Electrolyte Applications,” The 7th International Symposium on Molten Salts Chemistry (Toulouse, France, Aug. 29–Sep. 2, 2005)
- ㉓ Rika Hagiwara, Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Yuko Tamba, Zoran Mazej, Boris Zemva, “Room temperature ionic liquid fluoride,” 17th International Symposium on Fluorine Chemistry (Shanghai, China, July 24–29, 2005)
- ㉔ “Room temperature molten fluorohydrogenates-properties and electrolyte applications-”, R. Hagiwara, K. Matsumoto, T. Nohira, Y. Nakamori, Y. Tamba, T. Shimada, Y. Saito, S. Kohara, Proc. of 7th International Conference on Molten Salt Chemistry and Technology, Toulouse, Aug. 31–Sep. 2, 2005, Vol.

2, pp. 1011–1017.

〔図書〕 (計 6 件)

- ① C. Larriba, D. Garoz, C. Bueno, I. Romero-Sanz, S. Castro, J. Fernandez de la Mora, Y. Yoshida, G. Saito, R. Hagiwara, K. Matsumoto, J. Wilkes, Ionic Liquids IV Taylor cones of ionic liquids as ion sources: The role of electrical conductivity and surface tension, in “Ionic Liquids: Not Just Solvents Anymore,” J. Brennecke, R. D. Rogers and K. R. Seddon eds., Oxford University Press, 2007, pp. 308–319.
- ② 萩原理加、野平俊之、中温無加湿作動を可能にするイオン液体燃料電池, 「化学フロンティア 17 新エネルギー最前線」、吉川暹編、化学同人、2006 年 8 月、第 7 章、pp. 55–60.
- ④ 萩原理加、フルオロハイドロジェネート系イオン液体、「イオン液体II」、大野弘幸監修、シーエムシー出版、2006 年 3 月 30 日、第 15 章 電解質としての新展開、第 3 節、pp. 179–186.
- ⑤ Rika Hagiwara, Kazuhiko Matsumoto, Novel Fluoroanion Salts, “Electrochemical Aspects of Ionic Liquids,” Hiroyuki Ohno Ed., Wiley Interscience, 2005, Chapter 18, pp. 227–235.
- ⑥ Rika Hagiwara, Kazuhiko Matsumoto, Room temperature molten salts as new electrolytes, “Fluorinated Materials for Energy Conversion,” Tsuyoshi Nakajima and Henri Groult Eds., Wiley Interscience, 2005, Chapter 16, pp. 349–368.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 8 件)

- ①名称: 溶融塩組成物及びその利用
 発明者: 萩原理加、後藤琢也、野平俊之、窪田啓吾
 権利者: 国立大学法人京都大学
 種類: 特許
 番号: 特開 2009-067644
 公開年月日: 平成 21 年 4 月 2 日
 国内外の別: 国内
- ②名称: ウランの濃縮方法
 発明者: 萩原理加、松本一彦、金谷崇系
 権利者: 国立大学法人京都大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2008-331055
 出願年月日: 平成 20 年 12 月 25 日
 国内外の別: 国内
- ③名称: 燃料電池用触媒電極およびその製造方法
 発明者: 上條元久、岩崎靖和、萩原理加、野平俊之
 権利者: 日産自動車株式会社、国立大学法人京都大学
 種類: 特許
 番号: 特開 2008-177136
 公開年月日: 平成 20 年 7 月 31 日
 国内外の別: 国内

④名称：膜電極接合体、および、これを用いた燃料電池
発明者：小川弘志、竹川寿弘、萩原理加、野平俊之、嶋田 隆
権利者：日産自動車株式会社、国立大学法人京都大学
種類：特許
番号：特開 JP2007066765
公開年月日：平成 19 年 3 月 15 日
国内外の別：国内

京都大学・大学院エネルギー科学研究科・准教授
研究者番号：00303876

(3) 連携研究者
宇井 幸一 (UI KOICHI)
岩手大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60360161

⑤名称：Molten salt composition for secondary battery electrolyte,
発明者：Hagiwara, Rika; Matsumoto, Kazuhiko; Tamaki, Kenichiro; Nohira, Toshiyuki; Goto, Takuya
権利者：(米国を除くすべての指定国について) 国立大学法人京都大学、(米国についてのみ) :
Hagiwara, Rika; Matsumoto, Kazuhiko; Tamaki, Kenichiro; Nohira, Toshiyuki; Goto, Takuya
種類：特許
番号：W02006/101141A1
公開年月日：平成18年9月28日
国内外の別：国外

⑥名称：熔融塩組成物及びその利用
発明者：萩原理加、松本一彦、玉木健一郎
野平俊之、後藤琢也
権利者：国立大学法人京都大学
種類：特許
番号：特開2006-305736
公開日：平成18年3月22日
国内外の別：国内

⑦名称：燃料電池電解質および燃料電池
発明者：大井 亮、山内 昇、萩原理加、野平俊之、松本一彦、丹波悠子、伊藤靖彦
権利者：日産自動車株式会社
種類：特許
番号：特開2005-251466
公開日：平成17年9月15日
国内外の別：国内

○取得状況 (計 1 件)
名称：電気二重層キャパシタ
発明者：萩原理加、伊藤靖彦、宇恵 誠、鳥海明子
権利者：三菱化学株式会社
種類：特許
番号：特許第 4 4 5 3 1 7 4 号
取得年月日：平成 22 年 2 月 12 日
国内外の別：国内

[その他]
ホームページ等
<http://www.echem.energy.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
萩原理加 (HAGIWARA RIKA)
京都大学・大学院エネルギー科学研究科・教授
研究者番号：30237911

(2) 研究分担者
野平 俊之 (NOHIRA TOSHIYUKI)