

## 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 25 年 3 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2012

課題番号：20246140

研究課題名（和文） イオン液体を用いた次世代エネルギー変換・貯蔵デバイスの開発

研究課題名（英文） Development of energy conversion and storage devices of the next generation using ionic liquids

研究代表者

萩原 理加（HAGIWARA RIKA）

京都大学・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）：高い導電率、優れた電気化学的安定性を有するイオン液体を開発し、それを電解質として用いた中温度無加湿作動型燃料電池、電気化学キャパシタ、中温度作動型リチウム二次電池、ナトリウム二次電池を開発した。

研究成果の概要（英文）：Ionic liquids with high conductivity and excellent electrochemical stability have been developed and successfully applied for the electrolytes of fuel cells operating at middle-ranged temperatures without humidification, electrochemical capacitors, rechargeable lithium and sodium batteries operating at middle-ranged temperatures.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2009 年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2010 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2011 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2012 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
総計	35,300,000	10,590,000	45,890,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：化学・基礎科学・物理化学・複合化学・機能物質科学

キーワード：イオン液体、燃料電池、キャパシタ、リチウム二次電池、ナトリウム二次電池

## 1. 研究開始当初の背景

近年、固体高分子形燃料電池、車載用・電力貯蔵用高性能二次電池、キャパシタ等の次世代エネルギー変換・貯蔵デバイスの開発が、エネルギー問題や環境問題の解決に向けて国家的緊急課題として位置づけられており、これらを実現する新たな電解質として「イオン液体」が注目されてきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、研究代表者らが独自に開発してきた「フルオロハイドロジェネート系イオン液体」および「アルカリ金属イミド系イオン液体」に関する研究をさらに発展させ、従来

より格段に性能の優れた「燃料電池」、「電気化学キャパシタ」、「金属リチウム二次電池」、「ナトリウム二次電池」という次世代エネルギー変換・貯蔵デバイスを実現することを目的とした。

## 3. 研究の方法

イオン液体はアルキルアミン等を四級化して得られるハライド塩のイオン交換等により合成し、十分に精製したものについて密度、粘性率、導電率などの物性測定を行い、電気化学窓の測定を行い、電気化学デバイスに適したイオン液体の選定を行なった。さらにこれらを電解質とした無加湿作動型燃料電池、電気化学キャパシタ、中温作動型金属リチウ

ム二次電池、ナトリウム二次電池などを試作し、その性能の評価を行なった。

#### 4. 研究成果

(1)①フルオロハイドロジェネート系イオン液体の無加湿燃料電池への応用

従来の EMIm(FH)<sub>n</sub>F 系と比較して酸素還元反応が進行しやすい EMPyr(FH)<sub>n</sub>F 系に注目し、回転リングディスク電極を用いてカソード反応を詳細に検討した。さらにフルオロハイドロジェネート系イオン液体燃料電池は無加湿状態で再現性のある安定した出力が得られるようになり、今後コンポジット膜や MEA の作製法の改善により順調な性能向上が期待される。

(1)②フルオロハイドロジェネート系イオン液体の電気化学キャパシタへの応用

EMIm(FH)<sub>n</sub>F 系については 2.1 V、10 サイクルで 99%を達成した。アニオンの HF 組成を制御することにより広範囲の温度領域での作動が可能になった。

(2)①アミド系イオン液体の金属リチウム二次電池への応用

Li/(Li,K,Cs)/TFSA/LiFePO<sub>4</sub> 電池の 170°Cでの作動を検討し、レート特性が優れていることを確認した。Li/(Li,K,Cs)FSA/LiFePO<sub>4</sub> 電池の 40-50°Cでの良好な充放電挙動を確認した。将来の価格低下が見込める(Li,K)二元系塩を用いて高エネルギー密度化し、室温より高い温度環境での特殊用途への応用が期待できる。

(2)②アミド系イオン液体のナトリウム二次電池への応用

二元系(Na,Cs)TFSA を用いて、150°Cにおいて Na/ Na,Cs)TFSA /NaCrO<sub>2</sub> 電池が可逆性良く作動することを確認した。イミド系イオン液体のナトリウム二次電池への応用では資源的に豊富な(Na,K)二元系塩を用いた電池が良好に作動することが示され、現在企業との共同研究より実用化へ向けた研究に発展しており、新たな国家プロジェクトも開始されている。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 26 件)

- ① Atsushi Fukunaga, Toshiyuki Nohira, Yu Kozawa, Rika Hagiwara, Shoichiro Sakai, Koji Nitta and Shinji Inazawa, “Intermediate-temperature ionic liquid NaFSA-KFSA and its application to sodium secondary batteries” J. Power Sources, 査読有, 209, 52-56,

DOI:10.1016/j.jpowsour.2012.02.058 (2012)

- ② Pisit Kiatkittikul, Toshiyuki Nohira and Rika Hagiwara, “Nonhumidified fuel cell using N-ethyl-N-methylpyrrolidinium fluorohydrogenate ionic liquid-polymer composite membranes” J. Power Sources, 査読有, 220, 10-14, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.07.124 (2012)
- ③ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira and Rika Hagiwara, “New inorganic ionic liquids possessing low melting temperatures and wide electrochemical windows: Ternary mixtures of alkali bis(fluorosulfonyl)amides” Electrochim. Acta, 査読有, 66, 320-324, DOI:10.1016/j.electacta.2012.01.097 (2012)
- ④ Kazuhiko Matsumoto, Takaaki Oka, Toshiyuki Nohira and Rika Hagiwara, “Polymorphism of Alkali Bis(fluorosulfonyl)amides (M[N(SO<sub>2</sub>F)<sub>2</sub>], M = Na, K, and Cs)” Inorg. Chem., 査読有, 52(2), 568-576, DOI: 10.1021/ic3010486 (2013)
- ⑤ Ryosuke Taniki, Kazuhiko Matsumoto and Rika Hagiwara, “Trialkylsulfonium Fluorohydrogenate Giving the Highest Conductivity in Room Temperature Ionic Liquids” Electrochem. Solid-State Lett., 査読有, 15(4), F13-F15, DOI: 10.1149/2.025204es1 (2012a)
- ⑥ Ryosuke Taniki, Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, Kan Hachiya, Takashi Morinaga and Takaya Sato, “Highly Conductive Plastic Crystals Based on Fluorohydrogenate Anions” J Phys Chem B, 査読有, DOI:10.1021/jp311558h (2012b)
- ⑦ Fei Xu, Kazuhiko Matsumoto and Rika Hagiwara, “Phase behavior of 1-dodecyl-3-methylimidazolium fluorohydrogenate salts (C<sub>12</sub>MIm(FH)<sub>n</sub>F, n = 1.0-2.3) and their anisotropic ionic conductivity as ionic liquid crystal electrolytes” J Phys Chem B, 査読有, 116(33), 10106-10112, DOI:10.1021/jp30522 (2012)
- ⑧ Takayuki Yamamoto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Atsushi Fukunaga,

- Shoichiro Sakai, Koji Nitta and Shinji Inazawa, "Charge-discharge behavior of tin negative electrode for a sodium secondary battery using intermediate temperature ionic liquid sodium bis(fluorosulfonyl)amide-potassium bis(fluorosulfonyl)amide" *Journal of Power Sources*, 査読有, 217(0), 479-484, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.05.110 (2012)
- ⑨ Toshiyuki Nohira, Tatsuya Ishibashi, and Rika Hagiwara. "Properties of an Intermediate Temperature Ionic Liquid Natfsa-Cstfsa and Charge-Discharge Properties of Nacro2 Positive Electrode at 423 K for a Sodium Secondary Battery." *J. Power Sources*, 査読有, 205, 506-09, DOI:10.1016/j.jpowsour.2011.11.086 (2012)
- ⑩ Takeshi Enomoto Shunsuke Kanematsu Katsuhiko Tsunashima Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, "Physicochemical properties and plastic crystal structures of phosphonium fluorohydrogenate salts", *Physical Chemistry and Chemical Physics*, 査読有, 13, 12536-12544, DOI:10.1039/clcp20285e (2011)
- ⑪ Yuta Tani, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, "Solubility and diffusion coefficient of oxygen in EMPyr(FH)1.7F room temperature ionic liquid at 297-373 K" *Electrochim. Acta*, 査読有, 56, 3852-3856, DOI:10.1016/j.electacta.2011.02.038 (2011)
- ⑫ Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, "Ionic liquids based on fluoro- and oxofluorocomplex anions" *Yoyuen oyobi Koon Kagaku*, 査読有, 54(1), 29-36(2011)
- ⑬ Atsushi Senda, Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, "Effects of the cationic structures of fluorohydrogenate ionic liquid electrolytes on the electric double layer capacitance" *Journal of Power Sources*, 査読有, 195(13), 4414-4417, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2010.01.055 (2010)
- ⑭ Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, "Electrochemical Properties of the Ionic Liquid  
1-Ethyl-3-methylimidazolium Difluorophosphate as an Electrolyte for Electric Double-Layer Capacitors" *Journal of the Electrochemical Society*, 査読有, 157(5), A578-A581, DOI: 10.1149/1.3336831 (2010)
- ⑮ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, "Thermal Properties of Alkali Bis(fluorosulfonyl)amides and Their Binary Mixtures" *Journal of Chemical & Engineering Data*, 査読有, 55(9), 3142-3146, DOI: 10.1021/je9010932 (2010)
- ⑯ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, "Thermal Properties of Alkali Bis(pentafluoroethylsulfonyl)amides and Their Binary Mixtures" *Journal of Chemical & Engineering Data*, 査読有, 55(7), 2546-2549, DOI: 10.1021/je9010932 (2010)
- ⑰ Fei Xu, Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, "Effects of Alkyl Chain Length on Properties of 1-Alkyl-3-methylimidazolium Fluorohydrogenate Ionic Liquid Crystals" *Chemistry--A European Journal*, 査読有, 16(43), 12970-12976, DOI: 10.1002/chem.201001364 (2010)
- ⑱ Rika Hagiwara, "Development and application of high functional ionic liquid" (Academic Award), *Electrochemistry (Tokyo, Japan)*, 78(7), 626(2010)
- ⑲ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Hajime Matsumoto, "Thermal Properties of Alkali (Fluorosulfonyl)(trifluoromethylsulfonyl)amides" *Chemistry Letters*, 査読有, 39(12), 1303-1304, DOI: 10.1246/cl.2010.1303 (2010)
- ⑳ Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, "A new series of ionic liquids based on the difluorophosphate anion" *Inorganic Chemistry*, 査読有, 48, 7350-7358, DOI: 10.1021/ic9008009 (2009)
- ㉑ Shunsuke Kanematsu, Kazuhiko Matsumoto, Rika Hagiwara, "Electrochemically stable fluorohydrogenate ionic liquids based on quaternary phosphonium cations", *Electrochemistry Communications*, 査読有, 11, 1312-1315, DOI: 10.1016/j.elecom.2009.05.002 (2009)
- ㉒ Keigo Kubota, K. Tamaki, Toshiyuki

- Nohira, Takuya Goto, Rika Hagiwara, "Electrochemical properties of alkali bis(trifluoromethylsulfonyl)amides and their eutectic mixtures" *Electrochimica Acta*, 査読有, 55, No. 3, 1113-1119, DOI: 10.1016/j.electacta.2009.09.024 (2010)
- ②③ Atsushi Watarai, Keigo Kubota, Masaki Yamagata, Takuya Goto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Koichi Ui and Naoaki Kumagai, "A rechargeable lithium metal battery operating at intermediate temperatures using molten alkali bis(trifluoromethylsulfonyl)amide mixture as an electrolyte" *Journal of Power Sources*, 査読有, 183, 724-729, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.05.054 (2008)
- ②④ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto and Rika Hagiwara, "Novel inorganic ionic liquids possessing low melting temperatures and wide electrochemical windows: Binary mixtures of alkali bis(fluorosulfonyl)amides" *Electrochemistry Communications*, 査読有, 10, 1886-1888, DOI: 10.1016/j.elecom.2008.10.001 (2008)
- ②⑤ Keigo Kubota, Toshiyuki Nohira, Takuya Goto and Rika Hagiwara, "Ternary Phase Diagrams of Alkali Bis(trifluoromethylsulfonyl)amides" *Journal of Chemical & Engineering Data*, 査読有, 53, 2144-2147, DOI: 10.1021/jc800292f (2008)
- ②⑥ Rika Hagiwara, Kenichiro Tamaki, Keigo Kubota, Takuya Goto and Toshiyuki Nohira, "Thermal Properties of Mixed Alkali Bis(trifluoromethylsulfonyl)amides" *Journal of Chemical & Engineering Data*, 査読有, 53, 355-358, DOI: 10.1021/jc700368r (2008)
- [学会発表] (計 21 件)
- ① Rika Hagiwara, Toshiyuki Nohira, Takayuki Yamamoto, Koma Numata, Astushi Fukunaga, Shoichiro Sakai, Koji Nitta, Shinji Inazawa, Bis(fluorosulfonyl)amide salts as the electrolytes for rechargeable sodium batteries, 21st Winter Fluorine Conference (Florida, U. S. A., January 13-18, 2013)
- ② 山本貴之, 野平俊之, 萩原理加, 福永篤史, 酒井将一郎, 新田耕司, 稲澤信二, NaFSA-KFSA イオン液体を用いた Na 二次電池用 Sn-Na 合金負極の平衡電位と合金相に関する検討, 電気化学会第 53 回電池討論会(ヒルトン福岡シーホーク, 福岡, 11/14-16, 2012)
- ③ Pisit Kiatkittikul, Jumpei Yamaguchi, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Yoshinobu Tsujii, Takaya Sato, A Non-humidified Fuel Cell Using Fluorohydrogenate Ionic Liquid-Polymer Composite Membrane Prepared by Living Radical Polymerization, ECS meeting 222nd Prime (Hawaii, U. S. A., 7-12 October, 2012)
- ④ Rika Hagiwara, A Novel Rechargeable Sodium Battery Using a Mixed Molten Amide Electrolyte, 4th Asian and 44th Symposium on Molten Salt Chemistry (Miyagi, Japan, 23-27 September, 2012)
- ⑤ P. Kiatkittikul, J. Yamaguchi, T. Nohira, R. Hagiwara, Y. Tsujii, T. Sato, Performance and stability improvement of a non-humidified fuel cell using N-ethyl-N-methylpyrrolidinium fluorohydrogenate ionic liquid-polymer composite membrane, International Fuel Cell Workshop 2012 (Yamanashi, Japan, 2-3 August, 2012)
- ⑥ Atsushi Fukunaka, Sodium secondary batteries using binary molten (Na, K)FSA, The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan, September 11-16, 2011)
- ⑦ Pisit Kiatkittikul, Ryosuke Taniki, Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Rika Hagiwara, Yoshinobu Tsujii, Takashi Morinaga, Takaya Sato, Dialkylpyrrolidinium Fluorohydrogenate Ionic Liquid-Polymer Composite Membranes for a Non-humidified Fuel Cell, The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (Niigata, Japan, September 11-16, 2011)
- ⑧ Rika Hagiwara, Rechargeable Alkaline Metal Batteries of Mixed Amide Salts, 米国電気化学会第 220 回大会 (Boston, USA, October 11, 2011)
- ⑨ 萩原理加, 混合アルカリアミド塩を用いた二次電池, 電池技術委員会新電池構想

- 部会第 79 回講演会(慶応義塾大学日吉キャンパス, 東京, 11/18, 2011)
- ⑩ 萩原理加, 低融点溶解塩を用いた新しい蓄電池, 日本化学会第92回春季年会 次世代エネルギー技術～分散型エネルギー社会を目指して～, (慶応義塾大学日吉キャンパス, 東京, 3/27, 2011)
- ⑪ 谷木良輔, 松本一彦, 萩原理加, 高導電性トリアルキルスルフォニウムフルオロハイドロジェネートイオン液体, 第1回イオン液体討論会(とりぎん文化会館, 鳥取, 1/17-18, 2011)
- ⑫ 沼田昂真, 野平俊之, 萩原理加, 宇井幸一, 熊谷直昭, (Li, K, Cs)FSA 三元系無機イオン液体のリチウム二次電池への応用, 第51回電池討論会(愛知県産業労働センター, 愛知, 11/9-11, 2010)
- ⑬ Toshiyuki Nohira, Koma Numata, Tetsuya Fujimori, Rika Hagiwara, Kouichi Ui, Naoaki Kumagai, New lithium secondary batteries operating at 50-170 °C using mixed alkali amide melts as the electrolytes, The 8th Japan-France Joint Seminar on Lithium Ion Batteries(Iwate, Japan, September 6-8, 2010)
- ⑭ Rika Hagiwara, Takeshi Enomoto, Atsushi Senda, Kazuhiko Matsumoto, Toshiyuki Nohira, Structural and electrochemical studies of fluorohydrogenate ionic liquids, 16th European Symposium on Fluorine Chemistry(Ljubljana, Slovenia, July 18-23, 2010)
- ⑮ 萩原理加, フッ化物イオン液体の電解質としての可能性, 電気化学会 キャパシタ技術委員会 平成22年度第1回研究会(吹田市, 大阪, 1/12, 2010)
- ⑯ Toshiyuki Nohira, Fluorohydrogenate Ionic Liquid Fuel Cells Operating at Intermediate Temperature under Unhumidified Condition, The 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells, (Yokohama, Japan, August 2-6, 2009)
- ⑰ Keigo Kubota, Physicochemical properties of mixed MFSA (M = Li, Na, K, Rb, Cs) ionic liquids, 3rd Congress on Ionic Liquids(Cairns, Australia, May 31 - June 4, 2009)
- ⑱ Toshiyuki Nohira, Unhumidified Fuel Cells Operating at Intermediate Temperature Using Fluorohydrogenate Ionic Liquids, 3rd Congress on Ionic Liquids(Cairns, Australia, May 31 - June 4, 2009)
- ⑲ 石橋達也, 金村祥平, 野平俊之, 萩原理

加, NaTFSI-CsTFSI 二元系溶解塩の物性とナトリウム二次電池への応用, 第49回電池討論会(堺市, 大阪, 11/5-7, 2008)

- ⑳ 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)
- ㉑ 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, PRiME2008(Hawaii, USA, October 12-17, 2008)

[図書] (計2件)

- ① イオン液体の科学-新世代液体への挑戦-, 萩原理加, イオン液体研究会監修、西川恵子・大内幸雄・伊藤敏幸・大野弘幸・渡邊正義編、丸善出版、第3章 機能化: イオン液体で何ができるか、3.1 ナノ構造設計 3.1.1 新規イオン液体と関連材料、pp.233-244(2012).
- ② Rika Hagiwara and Kazuhiko Matsumoto, Novel Fluoroanion Salts, in Electrochemical Aspects of Ionic Liquids, Hiroyuki Ohno ed., John Wiley & Sons, Inc., Chapter 19, pp. 281-291 (2011).

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

①名称: 溶解塩電池の稼働方法

発明者: 福永篤志、稲澤信二、新田耕司、酒井将一郎、沼田昂真、萩原理加、野平俊之、山本貴之

権利者: 京都大学、住友電気工業株式会社

種類: 特願

番号: 2011-228111

出願年月日: 平成23年10月17日

国内外の別: 国内

②名称: 溶解塩電池

発明者: 新田耕司、稲澤信二、真嶋正利、山口篤、酒井将一郎、福永篤志、萩原理加、野平俊之、松本一彦

権利者: 京都大学、住友電気工業株式会社

種類: 特願

番号: 2010-267261

出願年月日: 平成22年11月30日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 8 件)

①名称：溶融塩電池

発明者：新田耕司、稲澤信二、酒井将一郎、福永篤志、野平俊之、萩原理加

権利者：京都大学、住友電気工業株式会社

種類：特許

番号：特許公開 2012-182087

取得年月日：平成 24 年 9 月 20 日

国内外の別：国内

②名称：溶融塩電池

発明者：新田耕司、稲澤信二、酒井将一郎、福永篤志、野平俊之、萩原理加

権利者：京都大学、住友電気工業株式会社

種類：特許

番号：W02012/117916 A1

取得年月日：平成 24 年 9 月 7 日

国内外の別：国外

③名称：溶融塩電池

発明者：新田耕司、稲澤信二、酒井将一郎、福永篤志、萩原理加、野平俊之

権利者：京都大学、住友電気工業株式会社

種類：台湾特許

番号：201232874

取得年月日：平成 24 年 8 月 1 日

国内外の別：国内・国外

④名称：溶融塩電池

発明者：新田耕司、稲澤信二、真嶋正利、山口 篤、酒井将一郎、福永篤志、萩原理加、野平俊之、松本一彦

権利者：京都大学、住友電気工業株式会社

種類：特許

番号：W02012/073653 A1

取得年月日：平成 24 年 6 月 7 日

国内外の別：国外

⑤名称：電気二重層キャパシタ用炭素材料及びその製造方法並びに核材料を用いた電気二重層キャパシタ

発明者：白石荘志、安島大輔、萩原理加

権利者：群馬大学

種類：特許

番号：W02011/142048 A1

取得年月日：平成 23 年 11 月 17 日

国内外の別：国外

⑥名称：電気およびエネルギーシステム

発明者：福永篤志、稲澤信二、真嶋正利、新田耕司、酒井将一郎、萩原理加、野平俊之、石橋達也

権利者：京都大学、住友電気工業株式会社

種類：特許

番号：W02011/036907 A1

取得年月日：平成 23 年 3 月 31 日

国内外の別：国外

⑦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：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

⑧名称：溶融塩組成物

発明者：萩原理加、後藤琢也、野平俊之、窪田啓吾

権利者：京都大学

種類：特許

番号：JP2009/067644 A

取得年月日：平成 21 年 4 月 2 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 RIKI)

京都大学・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)

京都大学・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

後藤 琢哉 (GOTO TAKUYA)

同志社大学・工学部・准教授

研究者番号：60296754