

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：73903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05159

研究課題名(和文) イオン液体の調湿機構解明による省エネ・イオン液体調湿空調機の開発

研究課題名(英文) Development of ionic liquids for energy-saving type air conditioning system; origin of the moisture absorption capability of ionic liquids

研究代表者

伊藤 敏幸 (ITO, TOSHIYUKI)

公益財団法人豊田理化学研究所・フェロー事業部門・フェロー

研究者番号：50193503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：省エネ液式調湿空調機開発のために吸湿性イオン液体のデザインを検討した。系統的にアルキル置換基を変化させた第4級アンモニウム、イミダゾリウム、ピラゾリウム、124-トリアゾリウム、123-トリアゾリウムカチオンのジメチルリン酸塩を合成し、強力な吸湿力と優れた水蒸気交換効率を示す新たなイオン液体を見いだした。さらに、124-トリアゾリウム塩ではイオン液体が形成するナノ集合体内の極性ドメインに水分子が蓄積しイオン液体の吸湿性能がイオン液体のナノ集合体の構造に起因することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液式調湿空調機は現在主流のコンプレッサー型空調機に較べて80%以下の消費電力で運転できる省エネ性能に加えて換気を行いつつ運転ができる。ところが現行の液式調湿空調機は調湿材として塩化リチウム水溶液を使用しているために普及が進んでおらず、塩化リチウムに替わる調湿材を開発することが地政学的観点からも求められていた。本研究では液式調湿空調機の調湿材に適したイオン液体の開発を目指して研究を進め、塩化リチウムを凌駕する調湿機能を持つイオン液体を見だし、さらに従来未解明であったイオン液体の調湿機能の起源がイオン液体が形成するナノ集合体の構造に起因することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have been deeply interested in their moisture absorption capability because this makes ILs possible candidates for desiccants for the liquid desiccant-type air conditioners (LDAC). To gain insights into the origin of ILs' dehumidification capability (DC), we systematically synthesized various types of ILs by combining dimethylphosphonium anions with various types of alkyl group-substituted cations and found that the DC was vary with the alkyl substituent of the cations. Among tested ILs, the best IL afforded 14-times higher DC (mol) than that of the popular solid desiccants CaCl₂. We conducted small- and wide-angle X-ray scattering (SWAXS) analysis of 8 types of 1,2,4-triazolium dimethylphosphate and established that water from air is absorbed mainly into polar regions of nanostructured ILs. MD simulation experiments suggest that the introduction of an appropriate alkyl side chain in the cationic moiety can be the key to the design of efficient desiccant ILs for LDAC

研究分野：有機合成化学，イオン液体

キーワード：イオン液体 調湿材 液式調湿空調機 調湿機構解明 小角X線散乱スペクトル MDシミュレーション

1. 研究開始当初の背景

省エネは創エネと同等の価値を持ち、省エネ空調機の開発は環境保全技術の観点からも重要な課題である。液式調湿空調機は現在主流のコンプレッサー型空調機に較べて 80%以下の消費電力で運転できる省エネ性能に加えて、換気を行いつつ調湿空調を行うという特長を持つため、新型コロナウイルスなどの室内感染を防ぐために有効な空調機である。ところが現行の液式調湿空調機は、金属腐食性が極めて大きい塩化リチウム 30%水溶液を調湿材に使用しているため、配管やセンサーにチタン等の特殊な材料が不可欠であり、このため高価な製品となり普及が進んでいなかった。しかも、リチウムは産出国が偏在しているため元素戦略の観点からも塩化リチウムに替わる新たな調湿材が求められていた。イオン液体は常圧で 100°C以下の融点を持つ熔融塩であり、分子液体、液体金属に続く第 3 の液体と呼ばれ水蒸気や二酸化炭素などの気体を吸収する機能が知られている。従って吸湿性が高いイオン液体は液式調湿空調機用の調湿材になると期待される。

イオン液体を調湿材に用いる空調機の動作原理を図 1 に示す。冷却したイオン液体「冷イオン液体（ドライ）」を外気と接触させると、外気の湿気がイオン液体に吸収されると同時に外気が冷却され、生じた「ドライ冷氣」を室内に導入すれば室内の冷房と除湿が同時に実現する(図 1, 左)。湿気を吸収した「イオン液体（ウエット）」はヒートポンプを介して加熱して「ホットイオン液体（ウエット）」とし、導入外気（あるいは室内の温空気）と接触させて湿気を

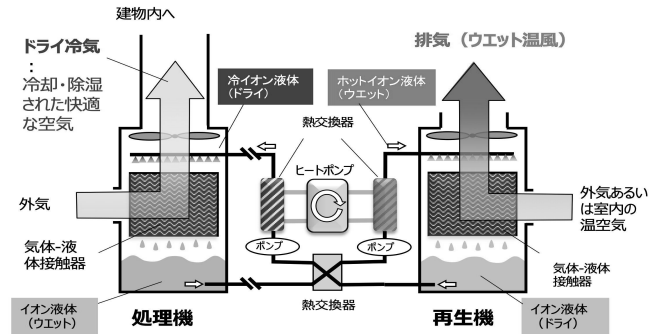


図 1. イオン液体調湿空調機のアイディア

外気あるいは室内の温空気に移してウエット温風として排気する(図 1, 右)。水分含量が減少した「イオン液体（ドライ）」は熱交換器で冷却することで「冷イオン液体（ドライ）」となり、このサイクルを繰り返すと換気しつつ除湿冷房が可能になる。冬季は処理機と再生機を入れ替れば加温暖房空調機として機能する(図 1)。このために高い吸湿性と共に、外気との接触で容易に水蒸気を吸放出できるイオン液体の開発が必要になる。ところが、イオン液体水溶液の調湿機能とイオン液体の構造相関を系統的に調べた研究例は少なく、イオン液体の水蒸気吸放出機構の解明には到っていなかった。

2. 研究の目的

調湿空調機に使用するためには、吸湿性能に加えて水溶液の水蒸気吸放出機構を解明する必要がある。イオン液体水溶液が外気との接触で水蒸気を吸放出する現象は学術的にも興味深い。本研究ではイオン液体水溶液の水蒸気吸放出機構を解明し、液式調湿空調機に適したイオン液体のデザイン指針を確立することで、省エネ空調機であるイオン液体調湿空調機を開発することを目的に研究を行った。

3. 研究の方法

申請者の従来の研究でジメチルリン酸あるいはジエチルリン酸アニオンを持つイオン液体が安定性と吸湿性に優れていることがわかった。そこで、本研究においてはカチオン構造と調湿機能の関係に焦点を当ててイオン液体の吸湿機構の解明し、液式調湿空調機に活用できるイオン液体のデザイン指針を構築すべく第 4 級アンモニウムカチオンのモノカチオン、ジカチオン、環状第 4 級アンモニウムカチオン、ならびにトリカチオン計 30 種、さらに、系統的にアルキル置換基を変化させたイミダゾリウム、ピラゾリウム、1,2,4-トリアゾリウム、1,2,3-トリアゾリウムカチオンについてジメチルリン酸およびジエチルリン酸アニオンを組合わせて合計 48 種のイオン液体を合成し、水蒸気吸収能 (DC) と各イオン液体水溶液の平衡水蒸気圧の温度変化を測定した。さらに、イオン液体の水蒸気吸放出機構の要因としてイオン液体の集合状態に着目し、1,2,4-トリアゾリウムイオン液体について小角 X 線散乱スペクトル分析 (SWAXS)、ならびに MD-シミュレーション実験を行った。

4. 研究成果

ジエチルリン酸塩とジメチルリン酸塩では吸湿能力に明確な差は認められなかったが、吸湿能はカチオン構造に大きく依存することがわかった。リン酸アニオンをジメチルリン酸アニオンに固定した場合、モノカチオン性の第 4 級アンモニウム塩においては、吸湿能はカチオン部のサイズに依存しアルキル鎖が長くなると吸湿能が低下した。ところが両末端にトリメチルアン

モニウム基をメチレン鎖で繋いだジカチオン性第 4 級アンモニウム塩では、カチオン間のアルキル基のメチレン鎖長が長くなるにつれて吸湿性能 (DC) が向上することがわかった。一方、環状第 4 級アンモニウム塩であるピペリジニウム塩とモルホリニウム塩では、モルホリニウム塩の DC が若干高いことがわかった。これら環状アンモニウム塩のモル当たり DC はジカチオン性塩より劣るが、グラムあたりではジカチオン性アンモニウム塩と同等であり、塩化カルシウムと比較すると 1.5 倍高い値を示した。低温(25°C)における平衡水蒸気圧が低いほど水蒸気吸収力が大きく、高温 (50°C) における平衡水蒸気圧が大きいほど外気との接触で容易に水蒸気を放出することができるため ΔVP_{50-25} で水蒸気交換能力を評価できる。そこで、次に合成した第 4 級アンモニウムリン酸ジメチルおよびリン酸ジエチル塩の 80%水溶液について各温度における平衡水蒸気圧を測定し ΔVP_{50-25} 値を調べた。その結果、第 4 級アンモニウム＝ジメチルリン酸イオン液体の水溶液 6 種が現行の調湿材である塩化リチウム水溶液を凌駕する優れた水蒸気交換能力を示すことがわかった。

次に、より単純な構造を取ると期待される系統的にアルキル置換基を変化させたイミダゾリウム、ピラゾリウム、1,2,4-トリアゾリウム、1,2,3-トリアゾリウムカチオンとジメチルリン酸からなるイオン液体について吸湿性能 (DC) を調べた結果、3-メチルイミダゾリウム塩および1,2,3-トリアゾリウム塩においては、カチオンのアルキル置換基が疎水性になると吸湿性が低下したが、ピラゾリウムならびに1,2,4-トリアゾリウム塩では、アルキル基が長くなり疎水性が増大すると吸湿力が上がるという興味深い結果が得られた。なかでも疎水性の長鎖テトラデカニル基を持つ1,2,4-TZ-1,14,ならびに疎水性で嵩だかいシクロヘキシルメチル基を持つ1,2,4-Tz-1,c6 が極めて強力な DC を示し、これらのイオン液体のモルあたり DC は、吸湿剤として広く使用されている塩化カルシウムに較べて 10 倍以上大きな値を示した。また、ピラゾリウムならびに1,2,4-トリアゾリウムイオン液体 8 種が塩化リチウム水溶液を凌駕する優れた水蒸気交換能力を示すことがわかった。

イオン液体は特有のナノ集合体を形成し、その構造が水分濃度で変化することも知られていた。水溶液中の界面活性剤ナノ粒子の構造推定には小角 X 線散乱スペクトル (SWAXS) 分析が有効であることが知られている。そこで、1,2,4-トリアゾリウム＝リン酸ジメチルイオン液体の集合体構造に着目し、各種の1,2,4-トリアゾリウム＝リン酸ジメチルについて SWAXS 分析を行い、同時に MD シミュレーション実験でイオン液体の吸湿性の起源を探った。

1-オクチル-4-メチル-1,2,4-トリアゾリウム＝ジメチルリン酸 (TZ8) について、異なる水分濃度の TZ8 水溶液の SWAXS 分析と MD シミュレーション実験を行った結果、TZ8 単独では bicontinuous microemulsion と名付けられたナノ構造体 (B form) を取ることがわかり、これに水を加えていくと構造変化が起こり、60%水溶液(モル濃度 χ 値 0.08) まで水を加えると micelle 様集合体 (M form) に構造が変化した。トリアゾリウムカチオンとジメチルリン酸アニオンで形成される極性ドメイン部に水分子が捕捉され集積するために極性ドメイン部分が拡大して構造変化を引き起こしたと推察された。そこで、TZ8 の 80 質量%水溶液の MD シミュレーション実験を行ったところ、水分子は極性ドメイン領域に取り込まれることが明確に示唆された。図 2 は TZ8 (80 質量%水溶液) の MD シミュレーションのスナップショットであり、酸素原子を赤、炭素原子を緑で示している。オクチル基が van der Waals 力で絡みつき、赤色の酸素原子からなる極性ドメインをとり囲むケージ構造が形成されており、このケージ内に水分子が取り込まれている様子が認められる。このことは TZ8 の大きな吸湿力は極性ドメイン構造の安定さに起因することを示唆している。そこで、残る 7 種の 1,2,4-トリアゾリウム塩についても各水分濃度における集合構造を調べた結果、1,2,4-トリアゾリウム塩イオン液体では、lamellar (L form), hexagonal cylinder (H form), B form, micelle 様集合体 (M form), および無定型 (N form) の集合状態を取り、これら集合体の構造はカチオン構造と水分濃度に依存することがわかり、B form もしくは L form 中の極性ドメインに水分子が集積するため、B form と L form が安定なイオン液体が大きな吸湿性を示すことが明らかになった。イオン液体が特有のナノ構造体を形成することは知られていたが、その構造がイオン液体のどのような機能に関連しているかについては未解明であった。本研究はイオン液体の吸湿性能が、イオン液体のナノ集合体構造に起因することを明らかにした最初の例である。

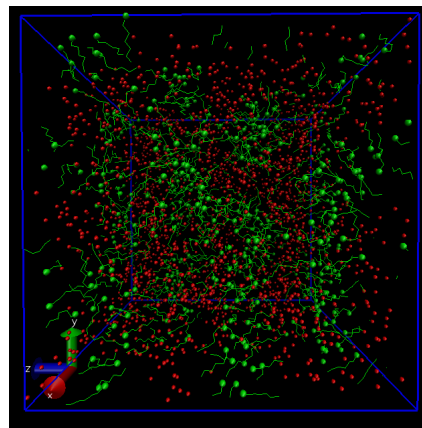


図 2. TZ8 (80 質量%水溶液) の MD シミュレーションのスナップショット。緑は炭素原子を示し、TZ8 のカチオン部に相当する。赤は酸素原子を示し、リン酸ジメチルアニオンと、イオン液体に捕捉された水分子の酸素原子を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Itoh, T.; Hayase, S.; Nokami, T.	4. 巻 23
2. 論文標題 Synthesis of selectively gem-difluorinated molecules; chiral gem-difluorocyclopropanes via chemo-enzymatic reaction and gem-difluorinated compounds via radical reaction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 e202300028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.202300028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Itoh, T.	4. 巻 23
2. 論文標題 Enzymatic Reactions using Ionic Liquids for Green Sustainable Chemical Process; Stabilization and Activation of Lipases	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 e202200275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.202200275	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi, M.; Orii, Y.; Shima, H.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Sato, D.; Matsuo, M.; Kinoshita, K.; Nokami, T.; Itoh, T.	4. 巻 10
2. 論文標題 Temperature Driven Current-Voltage Characteristics of Ionic Liquid Type Intelligent Connection Device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE J. Electron Devices Society	6. 最初と最後の頁 893-897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JEDS.2022.3199205.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuo, T.; Sato, D.; Koh, S-G.; Shima, H.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Itoh, T.; Nokami, T.; Kobayashi, M.; Kinoshita, K.	4. 巻 14
2. 論文標題 Dynamic Nonlinear Behavior of Ionic Liquid-based Reservoir Computing Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 36890-36901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmi.2c04167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Itoh, T.; Hiramatsu, M.; Kamada, K.; Nokami, T.; Nakayama, H.; Yagi, K.; Yan, F.; Kim, H-J.	4. 巻 9
2. 論文標題 Dicationic Type Quaternary Ammonium Salts as Candidates of Desiccants for an Air-Conditioning System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 14502-14514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c04971	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sato, D.; Shima, H.; Matsuo, T.; Yonezawa, M.; Kinoshita, K.; Kobayashi, M.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Miyamoto, S.; Nokami, T.; Itoh, T.	4. 巻 15
2. 論文標題 Characterization of Information-Transmitting Materials Produced in Ionic Liquid-based Neuromorphic Electrochemical Devices for Physical Reservoir Computing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 49712-49726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsemi.3c08638	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shibuya, A.; Kato, M.; Saito, A.; Manmode, S.; Nishikori, N.; Itoh, T.; Nagaki, A.; Nokami, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Glycosyl Dioxalenium Ions as Reactive Intermediates of Automated Electrochemical Assembly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Eur. J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 e202200135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.202200135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato, H.; Shima, H.; Honma, Y.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Nokami, T.; Itoh, T.; Kinoshita, K.	4. 巻 14
2. 論文標題 Control of the Data-retention Characteristics of Ionic-liquid Conducting-bridge Memory by Designing Device Structures Based on Corrosion Mechanisms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 84005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac15be	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato, H.; Shima, H.; Honma, Y.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Nokami, T.; Itoh, T.; Kinoshita, K.	4. 巻 9
2. 論文標題 Liquid-Solid Hybrid Memory Device Achieved by Unique Features of Ionic Liquids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 71013-71021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3076701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato, H.; Shima, H.; Honma, Y.; Naitoh, Y.; Akinaga, H.; Nokami, T.; Itoh, T.; Kinoshita, K.	4. 巻 3
2. 論文標題 Memristors with Controllable Data Volatility by Using Metal Ion Added Ionic Liquids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 660563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnano.2021.660563	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Itoh, T.; Takagi, Y.	4. 巻 9
2. 論文標題 12)Laccase-Catalyzed Reactions in Ionic Liquids for Green Sustainable Chemistry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sus. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 1443-1458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.0c07097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤敏幸	4. 巻 166
2. 論文標題 13)イオン液体を使用する省エネ液式デシカント空調機	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 クリエイティブ京都 M&T, Management & Technology for Creative KYOTO	6. 最初と最後の頁 19-20.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤敏幸	4. 巻 77
2. 論文標題 1,2,4-トリアゾリウムジメチルリン酸イオン液体の調湿機構の解明	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 豊田研究報告	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤敏幸	4. 巻 76
2. 論文標題 ジカチオン性ならびに トリカチオン性リン酸ジメチルイオン液体の調湿機能	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 豊田研究報告	6. 最初と最後の頁 29-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤敏幸	4. 巻 75
2. 論文標題 高い調湿機能を持つ 第4級アンモニウム塩イオン液体のデザイン	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 豊田研究報告	6. 最初と最後の頁 49-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤敏幸	4. 巻 74
2. 論文標題 液式調湿空調機の調湿材となるイオン液体デザイン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 豊田研究報告	6. 最初と最後の頁 85-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itoh, T.; Kamada, K.; Nokami, T.; Ikawa, T.; Yagi, K.; Ikegami, S.; Inoue, R.; DeYoung, A.; Kim, H-J.	4. 巻 128
2. 論文標題 On the Moisture Absorption Capability of Ionic Liquids	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.4c02289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Toshiyuki Itoh
2. 発表標題 Design of Ionic Liquids as candidates of desiccants for green sustainable air-conditioning system
3. 学会等名 EuChemSIL 2022 (Patras, Greece) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤敏幸, 野上敏材, Hyung J. Kim
2. 発表標題 環境調和型空調機用のための調湿材イオン液体のデザイン
3. 学会等名 第12回イオン液体討論会 (東京)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiyuki Itoh, Toshiki Nokami, Hyung J. Kim
2. 発表標題 Design of Ionic Liquids as desiccants for green sustainable liquid desiccant air-conditioning system (OP08-5)
3. 学会等名 9th Congress on Ionic Liquids (COIL 9) (Lyon, France) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤敏幸, 野上敏材, Hyung J. Kim
2. 発表標題 1,2,4-トリアゾリウムイオン液体の吸湿機構の解明 (2B0-01)
3. 学会等名 第13回イオン液体討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤敏幸, 野上敏材, Hyung J. Kim
2. 発表標題 1,2,4-トリアゾリウム塩イオン液体の吸湿機構 (0C-31)
3. 学会等名 第50回有機典型元素化学討論会, 大宮
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤敏幸
2. 発表標題 吸湿性イオン液体のデザイン
3. 学会等名 鳥取大学工学部附属グリーン・サステナブル・ケミストリー研究センター創立10周年記念シンポジウム(鳥取)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiyuki Itoh, Toshiki Nokami, and Hyung J. Kim
2. 発表標題 Origin of Moisture Absorbance Capability of 1,2,4-Triazolium Dimethylphosphate
3. 学会等名 Euchemisil 2024 (Santiago de Compostela, Spain)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Itoh, T.; Takagi Y.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Academic Press (Elsevier)	5. 総ページ数 562
3. 書名 "Biocatalysis in Green Solvents", Editor: P. Lozano	

1. 著者名 伊藤敏幸, 野上敏材	4. 発行年 2022年
2. 出版社 CMC出版	5. 総ページ数 321
3. 書名 「新材料・新素材シリーズ, イオン液体の実用展開へ向けた最新動向」監修: 大内幸雄	

1. 著者名 西川恵子・伊藤敏幸・大野弘幸	4. 発行年 2021年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 154
3. 書名 化学の要点シリーズ37, イオン液体, 日本化学会編集	

1. 著者名 Itoh, T.	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer/Nature	5. 総ページ数 151
3. 書名 "Encyclopedia of Ionic Liquids", Section 8 (Ionic Liquids in Biomass and Biomolecules), Editor: S-J. Zhang, Section Editors: T. Itoh and J. Sun	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 調湿材および装置	発明者 伊藤敏幸, 井上僚, 安藤達弥, 池上周司	権利者 公益財団法人豊 田理化学研究 所, ダイキン工
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-129089	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 調湿材および装置	発明者 伊藤敏幸，井上僚， 安藤達弥，池上周司	権利者 公益財団法人豊 田理化学研究 所，ダイキン工
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-101625	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 調湿材および装置	発明者 伊藤敏幸，井上僚， 安藤達弥，池上周司	権利者 公益財団法人豊 田理化学研究 所，ダイキン工
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-6519	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 調湿材および装置	発明者 伊藤敏幸，井上僚， 安藤達弥，池上周司	権利者 公益財団法人豊 田理化学研究 所，ダイキン工
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-6519	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	Hyung J. Kim	Carnegie Mellon University	