

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289293

研究課題名(和文) イオン液体を利用した環境調和型CO₂吸収分離再生プロセスの開発研究課題名(英文) Development of environmentally friendly CO₂ absorption, separation, and regeneration process using ionic liquids

研究代表者

児玉 大輔 (KODAMA, Daisuke)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：50307807

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：イオン液体-二酸化炭素系における溶解メカニズムについて、構造が異なる様々なイオン液体を合成し、カチオンとアニオンがガス溶解度に及ぼす影響について明らかにした。イオン液体の輸送現象解明について、温度や組成の依存性を解明した。イオン液体に二酸化炭素が溶解した際の熱物性は、イオン液体の構造や圧力によって溶解エンタルピーが異なる一方、他の方法で実測した二酸化炭素溶解度データと一致した。また、NMR測定やMDシミュレーションにより、イオン液体と分子性液体混合物のミクロ構造を詳細に把握した。さらに、二酸化炭素物理吸収モデルを構築し評価した結果、温度を低下させることで吸収液流量を低減できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：On the dissolution mechanism in the ionic liquid - carbon dioxide system, various ionic liquids with different structures were synthesized and the effect of cation and anion on gas solubility was clarified. We clarified the dependence of temperature and composition on the transport phenomenon of ionic liquid. Thermophysical properties when carbon dioxide was dissolved in the ionic liquid differed from the dissolution enthalpy due to the structure and pressure of the ionic liquid, but were consistent with the carbon dioxide solubility data measured by the other methods. The micro structure of ionic liquid and molecular liquid mixture was also grasped in detail by NMR measurement and MD simulation. Furthermore, it was found that the absorption liquid flow rate can be reduced by lowering the temperature as a result of constructing the physical absorption model of carbon dioxide.

研究分野：化学工学

キーワード：イオン液体 シミュレーション 二酸化炭素 ガス吸収・分離 平衡物性 輸送物性 再生プロセス 溶液構造

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策技術の一つとして、大規模固定発生源の排出ガスに含まれる二酸化炭素を大気中に拡散させることなく分離回収し、地中や海洋に隔離貯留する技術開発が進められている。このような大規模技術を実現するためには、分離回収コストを大幅に削減することが重要である。現在、アルカノールアミン類などを用いる化学吸収法が商用プラントとして一部稼働しているが、吸収液の再生コストが 50%を占め、エネルギー消費が極めて著しい。コスト削減のため、室温程度で駆動可能な低エネルギー再生型吸収液の開発が望まれている。

イオン液体(IL: Ionic Liquid)は、蒸気圧がほぼゼロとみなすことができ、熱及び化学的安定性に優れ、従来の溶媒には無い様々な特長を持つことから最近注目されている。このイオン液体を利用し、二酸化炭素の分離回収状態を常圧から高压へ変換できれば、吸収液の再生に蒸留操作などを一切必要とせず、従来の吸収液再生エネルギーコストを大幅に削減できる。

イオン液体を利用し二酸化炭素を分離回収した後、地中や海洋に隔離貯留する CCS (Carbon-dioxide Capture and Storage)プロセスを設計する際、イオン液体の二酸化炭素吸収特性を詳細に把握しておく必要がある。イオン液体-ガス系の研究は、イミダゾリウム系イオン液体を主な対象として欧米で精力的に進められているが、国内では、私の研究グループが、イオン液体-二酸化炭素系の pVT や溶解度などについての研究を開始し始めたばかりで、まだ十分とは言えない。今後さらに低エネルギー再生型ガス吸収液の開発を進めるだけでなく、実用化に向け、プロセスシミュレーションの実施やベンチスケールでの実証試験を早急に検討する必要がある。

2. 研究の目的

地球温暖化対策技術の一つとして、大規模固定発生源から二酸化炭素を分離回収し隔離貯留する技術開発が進められているが、現状の技術では吸収液再生時におけるエネルギー消費が著しい。そこで本研究では、安価で低粘性のガス吸収液(イオン液体)を合成し、ガス溶解メカニズムを解明するとともに、熱力学物性推算モデルやマイクロ構造解析からガス吸収効果や平衡物性と輸送物性との関連性を明らかにする。また、プロセスシミュレーションや二酸化炭素吸収分離再生試験を実施し、環境調和型 CO_2 吸収分離再生プロセス実現を目指す。さらに、イオン液体混合溶液のマクロ相分離を用い、溶媒特性や機能を制御し、微粒子製造や分離精製など特異的な場としての応用を試み、グリーン・イノベーションの推進に寄与することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) イオン液体-二酸化炭素系の溶解メカニズム解明

二酸化炭素吸収・再生時の粘度が化学吸収法と同程度の低粘性、吸収特性を有したイオン液体を合成した。二酸化炭素共存下におけるイオン液体の pVT 、溶解度などを測定することにより、ガス吸収特性データのマクロ的なガス吸収効率について考察した。

(2) イオン液体の輸送現象解明

幅広い温度、圧力条件下において、合成したイオン液体の粘度を測定した。また、二酸化炭素共存下におけるイオン液体の粘性率変化から、平衡物性と輸送物性との関連性について解明した。

(3) イオン液体-二酸化炭素系の熱力学物性推算モデル構築

溶液構造の分子動力学計算や溶媒分子の量子化学計算、ガス吸収時における過剰エンタルピー測定などに基づき、平衡物性と輸送物性との関連性について考察した。

(4) イオン液体-二酸化炭素系のマイクロ構造解析

イオン液体と分子性液体からなる混合溶液の構造を NMR 化学シフトや密度及び粘度データなどから解析し、イオン液体と二酸化炭素との相互作用について考察した。

(5) イオン液体-二酸化炭素系のプロセスシミュレーション

プロセスシミュレータにより、イオン液体を利用した二酸化炭素物理吸収プロセスの評価を進め、スケールアップの検討を進めた。

4. 研究成果

(1) イオン液体-二酸化炭素系の溶解メカニズム解明

イオン液体-二酸化炭素系におけるカチオンとアニオンの構造相違が溶解度に及ぼす影響について検討した結果、カチオンのアルキル鎖やアニオンのパーフルオロアルキル鎖の伸張に伴い、二酸化炭素溶解度が増大すること明らかにした。一例として、図 1 に、イミダゾリウム系イオン液体に対する二酸化炭素溶解度の測定結果を示す。各イオン液体の二酸化炭素溶解度は、アニオンが $[\text{BF}_4]^-$ 、 $[\text{NFBS}]^-$ 、 $[\text{TFSA}]^-$ 、 $[\text{BETA}]^-$ と変化するごとに増加した。特に、 $[\text{BF}_4]^-$ は、他のアニオンより 30%程度低くなった。 $[\text{TFSA}]^-$ や $[\text{BETA}]^-$ のような対称構造を持つアニオンは、非対称構造を持つアニオンである $[\text{NFBS}]^-$ より構造の自由度が高く、二酸化炭素の入り込む空隙が大きいため、溶解度が高いと考えられる。一方、四面体構造を持つ $[\text{BF}_4]^-$ は、アニオンサイズが小さく、構造の自由度も低いため、溶解度が低下したと考えられる。

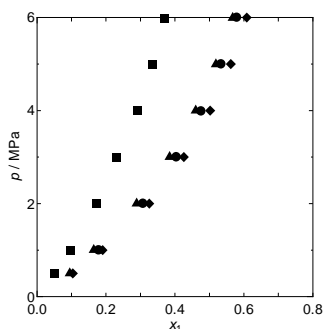


図 1 イミダゾリウム系イオン液体の二酸化炭素溶解度 (313.15 K)

●: [Emim][TFSA], ▲: [Emim][NFBS],
◆: [Emim][BETA], ■: [Emim][BF₄]

また、カチオンのアシル鎖伸張が、二酸化炭素吸収に及ぼす効果を検証するため、図 2 に示す *N,N*-dimethylacetamidium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide ([DMAH][TFSA])、*N,N*-dimethylpropionamidium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide ([DMPH][TFSA]) の二酸化炭素溶解度を測定した。

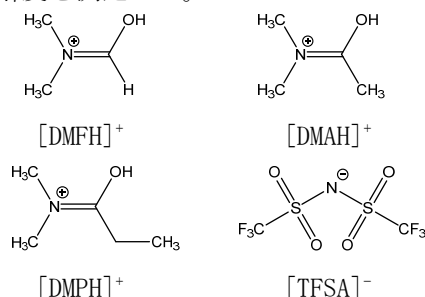


図 2 イオン液体の化学構造

図 3 に、プロトン性アミド型イオン液体の二酸化炭素溶解度を示す。4 MPa 付近では、[DMAH][TFSA] < [DMPH][TFSA] < [DMFH][TFSA] の順に溶解度が増加した。この序列は、各イオン液体のモル体積と van der Waals 体積から算出した free volume の序列と一致した。

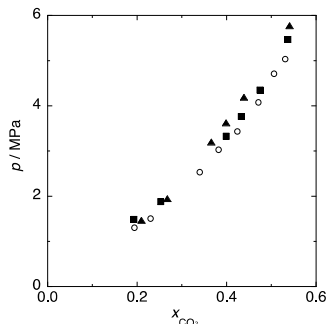


図 3 プロトン性アミド型イオン液体の二酸化炭素溶解度 (313.15 K)

▲: [DMAH][TFSA], ■: [DMPH][TFSA]
○: [DMFH][TFSA]

(2) イオン液体の輸送現象解明

一例として、図 4 に、ホスホニウム系イオン

液体 [P₄₄₄1][Me₂PO₂] と水からなる混合溶液の粘度の測定結果を示す。図中の実線は(1)の VFT (Vogel-Fulcher-Tammann) 式、破線は(2)の Arrhenius 式による相関結果である。

$$\eta = A \exp\left(\frac{B}{T - T_0}\right) \quad (1)$$

$$\eta = A' \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2)$$

試料溶液の粘度は、イオン液体の濃度増加に伴い増加し、全組成において負の温度依存性を示した。相関結果は、VFT 式の方が Arrhenius 式より良好であった。VFT 式の B は x_{IL} の増加に伴い増加する傾向を示し、 T_0 は x_{IL} の増加に伴い減少した。

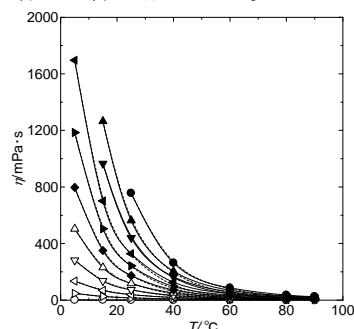


図 4 ホスホニウム系イオン液体水溶液粘度の温度依存性

●: $x_{IL} = 1.00$, ▲: 0.90, ▼: 0.80,
▲: 0.70, ▼: 0.60, ◆: 0.50, △:
0.40, ▽: 0.30, △: 0.20, ▽: 0.10,
○: 0.00

(3) イオン液体-二酸化炭素系の熱力学物性推算モデル構築

一例として、図 5 に、313.15 K、3.0 MPa における [Emim][TFSA] の CO₂ 溶解エンタルピーの測定結果を示す。

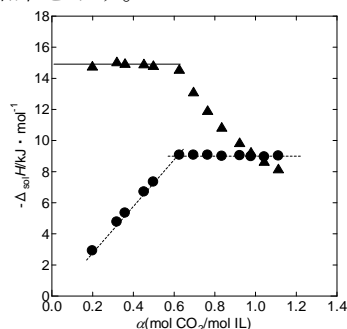


図 5 [Emim][TFSA] の CO₂ 溶解エンタルピー (313.15 K、3.0 MPa)

●: [Emim][TFSA] 1 モルあたり
▲: CO₂ 1 モルあたり

CO₂ 溶解エンタルピーは、モル流量比 α が 0.7 まで一定値で推移した後、[Emim][TFSA] が CO₂ で飽和したため、緩やかに減少した。なお、この変曲点から、CO₂ 溶解度を算出可能であり、他の方法で決定した CO₂ 溶解度と良好に一致

した。また、カチオン構造の相違 ([Emim]と [Bmim]) によるエンタルピー差を検討した結果、アルキル側鎖を伸張することにより、イオン液体と CO₂ の相互作用が弱くなるため、[Bmim][TFSA]が低くなった。

(4) イオン液体-二酸化炭素系のマイクロ構造解析

[Bmim][TFSA]にジグライムを添加した混合溶液の構造について、NMR 化学シフト測定及び MD シミュレーションした結果、ジグライム酸素原子が混合物中の [Bmim]⁺ のイミダゾリウム水素原子と接触することを示した。 x_{diglyme} が 0.9 まで増加しても、イミダゾリウムの水素原子と [TFSA]⁻ の酸素原子との接触は残っているが、ジグライムの酸素原子と [Bmim]⁺ の水素原子の配位数は、 x_{diglyme} と共に増加した。

(5) イオン液体-二酸化炭素系のプロセスシミュレーション

[DMFH][TFSA]を例に、CO₂ 物理吸収モデルを構築し、プロセスシミュレータで評価した。一例として、図 6 に、吸収液流量と温度の CO₂ 回収率への影響について示す。CO₂ 回収率 90vol%において、吸収液を 298 K から 263 K まで冷却すると、吸収液流量を 62.2%削減可能であることがわかった。

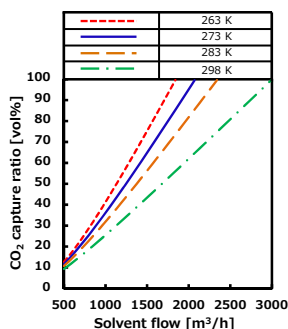


図 6 [DMFH][TFSA] 流量と CO₂ 回収率

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 3 件) 全て査読有

- [1] M. Watanabe, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, Density, Viscosity, and Electrical Conductivity of Protic Amidium Bis(trifluoromethane-sulfonyl)amide Ionic Liquids, *J. Chem. Eng. Data*, 61 (2016), 4215-4221 DOI: 10.1021/acs.jced.6b00575
- [2] M. Watanabe, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, CO₂ absorption properties of imidazolium based ionic liquids using a magnetic suspension balance, *Fluid Phase Equilib.*, 420 (2016) 44-49 DOI: 10.1016/j.fluid.2015.12.055
- [3] 栃木勝己, 松田弘幸, 栗原清文, 児玉大輔, 滝島繁樹, イオン液体系の熱物性と

その利用, 化学工学論文集, 40 (2014) 347-365

DOI: 10.1252/kakoronbunshu.40.347

〔学会発表〕(計 39 件)

- [1] 渡邊正輝, 佐藤佳代子, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, プロトン性アミド型イオン液体の二酸化炭素溶解度に及ぼすアシル鎖の影響, 第 37 回日本熱物性シンポジウム, 2016 年 11 月 29 日, 岡山国際交流センター (岡山)
- [2] 廣田光, 渡邊正輝, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, 水口洋平, 渡邊努, 大原宣彦, 四級ホスホニウム系イオン液体の二酸化炭素吸収特性, 化学工学会福島大会 2016 (3 支部合同大会), 2016 年 11 月 25 日, コラッセふくしま (福島)
- [3] H. Kikuchi, T. Yama, D. Kodama, M. Kurosaka, T. Maeda, T. Makino, M. Kanakubo, Y. Mizuguchi, T. Watanabe, Density and viscosity of aqueous solutions of phosphonium-based ionic liquids, 11th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2016), 2016 年 10 月 5 日, パシフィコ横浜 (横浜)
- [4] M. Kanakubo, T. Makino, T. Umecky, M. Watanabe, D. Kodama, CO₂ solubility and transport properties in ionic 100liquids (招待講演), 11th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2016), 2016 年 10 月 3 日, パシフィコ横浜 (横浜)
- [5] M. Watanabe, K. Sato, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, CO₂ solubility and transport properties in protic amidium ionic liquids, 平成 28 年度化学系学協会東北大会, 2016 年 9 月 11 日, いわき明星大学 (いわき)
- [6] 佐藤佳代子, 渡邊正輝, 児玉大輔, 松田弘幸, 栗原清文, 牧野貴至, 金久保光央, イミダゾリウム系混合イオン液体の CO₂ 吸収特性, 化学工学会第 48 回秋季大会, 2016 年 9 月 7 日, 徳島大学 (徳島)
- [7] 渡邊正輝, 佐藤佳代子, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, プロトン性アミド型イオン液体の CO₂ 吸収特性, 化学工学会第 48 回秋季大会, 2016 年 9 月 7 日, 徳島大学 (徳島)
- [8] 児玉大輔, 松田圭悟, 牧野貴至, 金久保光央, イオン液体を利用した環境調和型 CO₂ 吸収分離再生プロセスの開発(招待講演), 化学工学会第 48 回秋季大会, 2016 年 9 月 7 日, 徳島大学 (徳島)
- [9] 児玉大輔, イオン液体を利用した地球温暖化防止対策技術 (招待講演), 産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所・一般公開 2016, 2016 年 7 月 30 日, 産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所 (郡山)

- [10] T. Makino, T. Umecky, M. Watanabe, D. Kodama, M. Kanakubo, CO₂ absorption in ionic liquids under high-pressure conditions (招待講演), International Symposium on Solubility Phenomena and Related Equilibrium Processes (ISSP 17), 2016年7月26日, Geneva (Switzerland)
- [11] 佐藤佳代子, 矢吹律子, 菅原稔也, 児玉大輔, 松田弘幸, 栗原清文, イミダゾリウム系混合イオン液体の二酸化炭素溶解度, 分離技術会年会 2016, 2016年5月28日, 日本大学 (習志野)
- [12] M. Kanakubo, T. Makino, T. Umecky, M. Watanabe, D. Kodama, Transport and Volumetric Properties in Binary Systems of CO₂ and 1-Alkyl-3-methylimidazolium Ionic Liquids, 14th International Conference on Properties and Phase Equilibria for Product and Process Design (PPEPPD 2016), 2016年5月24日, Porto (Portugal)
- [13] M. Watanabe, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, Density, Viscosity, Electrical Conductivity, and CO₂ Solubility in Protonic Amidium Ionic Liquids, 14th International Conference on Properties and Phase Equilibria for Product and Process Design (PPEPPD 2016), 2016年5月24日, Porto (Portugal)
- [14] 児玉大輔, ガス吸収液 (イオン液体) を利用した CO₂ 分離回収技術, CO₂ 分離・回収セミナー「CO₂ 分離・回収技術の材料設計, 高効率化, 各種応用」, 2016年5月16日, 技術情報協会 (五反田)
- [15] 渡邊正輝, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, プロトン性アミド型イオン液体の密度・粘度・電気伝導度, 化学工学会第81年会, 2016年3月15日, 関西大学 (吹田)
- [16] 金久保光央, T. Sonnleitner, R. Buchner, 児玉大輔, 牧野貴至, 土井寛之, 梅林泰宏, 渡邊正義, LiTf₂N-ジグライム溶液の誘電緩和スペクトル, 第6回イオン液体討論会, 2015年10月26日, 同志社大学 (京都)
- [17] 山拓司, 李賀, 児玉大輔, U. Y. Qazi, 黒坂万里子, 前田哲彦, 牧野貴至, 増田善雄, 金久保光央, 水口洋平, 渡邊努, リン系イオン液体水溶液の密度、粘度、熱物性, 第6回イオン液体討論会, 2015年10月26日, 同志社大学 (京都)
- [18] 山拓司, 李賀, 児玉大輔, U. Y. Qazi, 黒坂万里子, 前田哲彦, 牧野貴至, 増田善雄, 金久保光央, 水口洋平, 渡邊努, ホスホニウム系イオン液体水溶液の密度、粘度、熱物性, 第38回溶液化
- 学シンポジウム, 2015年10月22日, 高知市文化プラザかるぽーと (高知)
- [19] 中村彪, 遠藤康裕, 児玉大輔, 曾谷知弘, 松尾成信, 牧野貴至, 金久保光央, 313.15 K における二酸化炭素+アルコール混合物の密度・粘度・ガス溶解度測定, 第36回日本熱物性シンポジウム, 2015年10月21日, 東北大学 (仙台)
- [20] 菅原稔也, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, イミダゾリウム系イオン液体の CO₂ 溶解エンタルピー, 第36回日本熱物性シンポジウム, 2015年10月19日, 東北大学 (仙台)
- [21] 渡邊正輝, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, シアノ系イオン液体の二酸化炭素吸収特性, 化学工学会第47回秋季大会, 2015年9月11日, 北海道大学 (札幌)
- [22] 児玉大輔, イオン液体を利用した CO₂ 吸収分離再生プロセスの開発 (招待講演), 第20回東北ジョイント夏季セミナー, 2015年9月1日, ホテル秋田屋 (青森)
- [23] M. Kanakubo, T. Sonnleitner, R. Buchner, D. Kodama, T. Makino, H. Doi, Y. Umebayashi, M. Watanabe, Concentration Dependence of Physicochemical Properties in Diglyme-Lithium Bis(trifluoromethanesulfonyl)amide Solutions, 34th International Conference on Solution Chemistry, 2015年8月31日 Prague (Czech Republic)
- [24] M. Watanabe, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, CO₂ absorption properties of imidazolium based ionic liquids using a magnetic suspension balance, 7th international symposium on "Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation (MTMS'15)", 2015年8月6日, 福岡大学 (福岡)
- [25] A. Nakamura, Y. Endo, D. Kodama, S. Matsuo, T. Sotani, T. Makino, M. Kanakubo, Compact apparatus for high-pressure vapor-liquid equilibrium, density, and viscosity measurements, 7th international symposium on "Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation (MTMS'15)", 2015年8月6日, 福岡大学 (福岡)
- [26] T. Sugawara, D. Kodama, T. Makino, M. Kanakubo, Solubility and enthalpy data of CO₂ in 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide and 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)amide, 7th international symposium on "Molecular Thermodynamics and

- Molecular Simulation (MTMS'15)", 2015年8月6日, 福岡大学(福岡)
- [27] 廣田光, 渡邊正輝, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, 水口洋平, 杉矢正, リン系イオン液体の密度・粘度・CO₂溶解度, 分離技術会年会 2015, 2015年5月29日, 明治大学(川崎)
- [28] 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, 松田圭悟, イオン液体を利用した環境調和型 CO₂ 吸収分離再生プロセスの開発(招待講演), 分離技術会年会 2015, 2015年5月29日, 明治大学(川崎)
- [29] 金久保光央, 牧野貴至, 児玉大輔, イオン液体を用いたガス分離プロセスの開発(招待講演), 日本材料学会・極限環境フォーラム, 2015年5月23日, 山形大学(米沢)
- [30] D. Kodama, M. Watanabe, T. Shimomura, T. Makino, M. Kanakubo, Effect of Anions on CO₂ Solubility of Ionic Liquids Using a Magnetic Suspension Balance, 2014 AIChE Annual Meeting 2014年11月17日, Atlanta (USA)
- [31] D. Kodama, Y. Endo, T. Shimomura, T. Makino, M. Kanakubo, Physicochemical Properties of Diglyme-Lithium Salt Solution, 10th International Conference on Separation Science and Technology (ICSST14), 2014年11月1日, 奈良県新公会堂(奈良)
- [32] 中村彪, 遠藤康裕, 児玉大輔, 曾谷知弘, 松尾成信, 牧野貴至, 金久保光央, 高圧下における密度・粘度・ガス溶解度測定装置の開発, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月19日, 九州大学(福岡)
- [33] 渡邊正輝, 木村剛, 下村拓也, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, 磁気浮遊天秤を用いたイオン液体の CO₂ 溶解度に及ぼすアニオン効果の検証, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学(福岡)
- [34] 西海英雄, 遠藤康裕, 新井浩也, 下村拓也, 児玉大輔, イミダゾリウム系イオン液体-CH₃OH溶液へのCO₂溶解度と溶解モデル, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学(福岡)
- [35] 山拓司, 遠藤康裕, 下村拓也, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, イミダゾリウム系イオン液体+アルコール混合溶液の密度・粘度・CO₂溶解度, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学(福岡)
- [36] 菅原稔也, 下村拓也, 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, イミダゾリウム系イオン液体の CO₂ 吸収特性と溶解エンタルピー, 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学(福岡)
- [37] 児玉大輔, イオン液体を用いた新規ガス吸収プロセス設計のための物性測定(招待講演), 化学工学会第46回秋季大会, 2014年9月18日, 九州大学(福岡)
- [38] D. Kodama, H. Arai, Y. Endo, T. Shimomura, T. Makino, M. Kanakubo, CO₂ absorption properties of glyme-lithium salt mixtures, nd International Conference on Ionic Liquids in Separation and Purification Technology (ILSEPT), 2014年6月30日, Toronto (Canada)
- [39] 児玉大輔, 遠藤康裕, 新井浩也, 下村拓也, 牧野貴至, 金久保光央, 松田圭悟, イオン液体を利用した二酸化炭素物理吸収・分離再生プロセスの構築, 分離技術会年会 2014, 2014年5月30日, 名古屋大学(名古屋)
- [図書] (計3件)
- [1] 児玉大輔, 牧野貴至, 金久保光央, シーエムシー出版, イオン液体研究最前線と社会実装, 2016, 335 (237-243)
- [2] 児玉大輔, 辻智也, 分離技術会, 化学工学物性測定マニュアル, 2015, 200 (87-93)
- [3] 児玉大輔, 下村拓也, 牧野貴至, 金久保光央, 分離技術会, 分離技術のシーズとライセンス技術の実用化, 2014, 160 (40-44)
- [その他]
- 研究室ホームページ
<http://ch.ce.nihon-u.ac.jp/kako/index.htm>
 研究室 Facebook
<https://www.facebook.com/EnvironmentalChemicalEngineeringLab.NihonUniv>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 児玉 大輔 (KODAMA, Daisuke)
 日本大学・工学部・准教授
 研究者番号: 50307807
- (2) 研究分担者
 松田 圭悟 (MATSUDA, Keigo)
 山形大学・理工学研究科・准教授
 研究者番号: 60415792
- 牧野 貴至 (MAKINO, Takashi)
 国立研究開発法人産業技術総合研究所・その他部局等・主任研究員
 研究者番号: 70455153
- (3) 連携研究者
 金久保 光央 (KANAKUBO, Mitsuhiro)
 国立研究開発法人産業技術総合研究所・その他部局等・グループ長
 研究者番号: 70286764