

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02639

研究課題名（和文）特殊な電圧プロファイル下の電気透析による6リチウム同位体濃縮技術の研究

研究課題名（英文）Research of lithium-6 isotope enrichment technology by electro dialysis under special voltage profile

研究代表者

佐々木 一哉（Sasaki, Kazuya）

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70631810

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：我々の過去の研究で高い同位体濃縮率を実現した特殊な電圧プロファイルを印加する電気透析によるリチウム同位体濃縮において、大きな同位体濃縮率を得る機構の解明に向けて研究した。同位体濃縮は、表面の吸着解離と電解質中のイオン移動の二つの過程で生じ、低温ほど後者における寄与率が増大することが判明した。6Liと7Liの移動速度の温度依存性を調査し、移動の活性化エネルギーに違いがあることを解明した。この結果から、低温ほど同位体濃縮率が大きくなることが判明した。更には、スケード装置を試作して同位体濃縮率の時間経過も調べた結果、同位体比は時間経過に伴い天然同位体比に向かって徐々に低下することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

質量数6のリチウム同位体（6Li）を90%以上に濃縮するための技術を開発するための有望な技術の一つであるリチウムイオン伝導性固体電解質を隔膜とする電気透析技術を高度化し、あるいはカスケード化することで実用化するために必要な、基礎的知見を獲得した。本技術は、21世紀中ごろに実用化が望まれている核融合炉発電における最大の課題の一つである6Li同位体濃縮率を高めたリチウムを提供するという社会的意義がある。また、電気透析時の同位体による挙動の違いを解明するという点で学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In the lithium isotope enrichment by electro dialysis applying a special voltage profile that achieved high isotope enrichment in our past research, we studied to clarify the mechanism of obtaining a large isotope enrichment.

It was found that isotope enrichment occurs in two processes, surface adsorption-dissociation and ion migration in the electrolyte, and the contribution rate of the latter increases at lower temperatures. We investigated the temperature dependence of the migration rate of 6Li and 7Li and clarified that there is a difference in the activation energy of migration. From this result, it was found that the lower the temperature, the higher the isotope enrichment rate. Furthermore, as a result of investigating the time course of the isotope enrichment rate by making a prototype scale device, it was confirmed that the isotope ratio gradually decreased toward the natural isotope ratio with the passage of time.

研究分野：核融合

キーワード：リチウム 同位体濃縮 電気透析 核融合

1. 研究開始当初の背景

世界的にエネルギー消費量が急増しており、豊富なエネルギー資源を用い、安全、経済的かつ安定に発電する技術の開発が重要度を増している。新たな発電技術の開発は、発電方式の多様性を拡大するため、エネルギー安全保障の観点でも極めて重要である。熱核融合炉発電は、21世紀中葉の商用発電を目標とし、1985年頃から国際熱核融合炉実験炉計画などの世界的規模のプロジェクトを中心とした多くの共同研究が進められている。この熱核融合炉発電では、二重水素(D)と三重水素(T)を直接燃料とする核融合反応を用いる。Dは海水中に重水として無尽蔵に存在し、重水と軽水との沸点や電気分解エネルギーの違いを利用して経済的かつ容易に獲得することができる。Tは、自然界にはほとんど存在しないが、十分な資源量があるリチウムに中性子を反応させて熱核融合炉内で製造することができることを考慮すると、Tも無尽蔵に獲得できるといえる。すなわち、熱核融合炉発電は理想的な発電方式である。

熱核融合炉内の熱収支と物質収支を維持しながら中性子とリチウムとの核反応でTを製造し続けるには、天然比で約7.6%しか存在しない質量数6のリチウム同位体(${}^6\text{Li}$)の比率を90%以上まで濃縮する必要がある。質量数7の同位体(${}^7\text{Li}$)との反応は中性子反応断面積が ${}^6\text{Li}$ の場合より3桁小さく、反応が生じ難く(T生成効率が小さく)、一方でその反応が生じると大きな吸熱反応が故に核融合プラズマの温度を低下させるからである。すなわち、如何にして ${}^6\text{Li}$ 濃度を高めるかが、熱核融合炉発電の実現における最大の課題である。

リチウム同位体濃縮に関しては、米国、中国あるいはインドなどが確立していると推察される水銀アマルガム法が唯一の実用的技術だが、日本を含む殆どの国では有害金属である水銀を使用するプロセスは工業化できない。吸着法、クラウンエーテル法などの技術も研究されてきたが、濃縮比率が小さく高コストであり、実現は困難である。そこで、環境負荷が小さく、経済性に優れ、高い濃縮比率を有する革新的リチウム同位体濃縮技術の開発が切望されている。

研究代表者は、これまでの研究で、特殊な電位プロファイルの下で電気透析を行い、1段の同位体濃縮比率として1.11を達成した。この濃縮比率は、リチウム同位体濃縮を目的とした多くの既往の研究をはるかに凌駕するほど大きく、唯一実用化されている水銀アマルガム法の濃縮比率1.06の約2倍に相当する。これは、わずか24段のカスケード化で ${}^6\text{Li}$ を90%以上に濃縮する可能性を示唆する値である。水銀アマルガム法が複雑で長い工程のバッチ処理を理論上の最短でも43回繰り返す必要があることと比較すると、本研究の方法の利点は極めて大きい。リチウム同位体濃縮技術は、将来の基幹発電技術となりうる熱核融合炉発電への燃料供給技術として、エネルギー安全保障の点からも、日本が独自に確立し、所有すべき重要な技術である。研究代表者の考案による本同位体濃縮技術に関する研究を更に進め、原理を解明しながら技術を高度化して完成させることは重要な学術的意義を有する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、下記の3項目を実施することで、熱核融合炉用に要求される ${}^6\text{Li}$ 濃度90%以上を達成せしめる高効率なリチウム同位体濃縮技術の基礎を確立することである。

- ・これまでの研究で実現した極めて高い同位体濃縮比率を可能にしている原理を解明する。
- ・同位体濃縮方法と条件を最適化し、更に高い同位体濃縮比率と濃縮速度を達成する。
- ・この濃縮操作の多段直列(カスケード化)時の濃縮速度低下への対策を確立して、本技術の実用性を実証する。

3. 研究の方法

原理の解明とさらに高い同位体濃縮率実現のための検討は、単段での実験研究で実施した。

La_{0.57}Li_{0.29}TiO₃緻密焼結体を電解質隔膜とし、両表面に対称に格子状の白金電極をペースト焼き付け法で形成した。隔膜でアノード側とカソード側の槽を分離し、それぞれに、水酸化リチウム水溶液と純水を入れた。電極間に直流電源を用いて2.0 Vを印加し、カソード側溶液からアノード側溶液へリチウムイオンを移動させた。電圧は、一定の大きさを連続で印加したり、一定時間電圧を印加しない時間帯を挟んだ間欠的印加をしたりした。移動前後のリチウムの同位体濃度をICP-MSで分析した。温度依存性は、セル全体をウォーターバスに入れ、ウォーターバス温度の制御によって溶液と隔膜の温度を制御した。温度ごとの移動量をアレニウスプロットして、同位体ごとのイオン移動における活性化エネルギーを求めた。

また、濃縮操作の多段直列(カスケード化)時の濃縮速度低下への対策の確立と本技術の実用性の実証は、溶液槽と電解質隔膜を直列に、“溶液槽 / 電解質隔膜(1段目) / 溶液槽 / 電解質隔膜(2段目) / 溶液槽 / 電解質隔膜(3段目) / 溶液槽 / 電解質隔膜(4段目) / 溶液槽”のように直列に5槽を直列に接続した4段のカスケード装置を試作して実施した。カスケード装置では、電極は電解質隔膜表面から離間した溶液中に配置した。それぞれの電極間に、直流電源を用いて、2.0 Vずつ連続で印加した。最も高電位側の溶液槽に、水酸化リチウム水溶液を入れ、他の溶液槽には超純水を入れた。長時間電圧を印加し、各溶液槽中のリチウム同位体濃度の時間変化をICP-MSで分析した。

4. 研究成果

電解質へ印加する電圧の大きさを変えた場合のCFの変化を調べた。CFの印加電圧依存性を図1に示す。黒丸(●)は電圧を連続的に印加した場合であり、白丸(○)は電圧を間欠的に印加した場合である。連続的な印加電圧では、印加電圧が小さいほど、CFは大きかった。これは、なお、電気透析でのリチウム移動では、溶液の電気分解反応が同時に生じなければならない。したがって、リチウム移動を生じさせる印加電圧には、溶液の電気分解を引き起こすための最低値が存在する。その値は、アノードとカソードの電極近傍におけるpHで決定される。アノード(一次)側溶液とカソード(二次)側溶液の電極近傍のpHが同一ならば、標準状態では1.23 V以上の電圧が必要だが、実際にはさらに小さな電圧でも移動が生じた。本研究では、小さな電圧でもリチウムイオンが移動する現象を、両電極近傍の局所的なpHの値が溶液の平均pHと異なることで説明できることも明らかにした。一方、間欠的な印加では、1.0 V以上の大きな電圧範囲では、CFに明確な電圧依存性はなかった。電解質のアノード側に吸着したリチウムイオンは、カソード側表面に向かう静電引力によって引き付けられ続けるので、表面から解離しにくい。解離が生じなければ、電解質表面から電解質内部へ固溶したリチウムイオンの吸着サイト(電解質表面の空きサイト)へは溶液中の天然の同位体比のリチウムイオンが吸着するので、表面に吸着するリチウムの同位体比は徐々に⁷Liリッチとなる。間欠的な電圧印加ではより大きなCFを得られるのは、この現象による電解質表面へ吸着しているリチウムの同位体比の変化に起因していることは、以前の研究で説明したとおりである。印加電圧が大きいほど、静電引力が大きいので解離しないリチウムイオンの割合は大きくなり、結果として図1の●で示したような印加電圧依存性が生じた。これに対し、間欠的な印加電圧では、電圧を印加していない間に吸着イオンの大半が解離するので、電圧印加の再開時には常に天然同位体比のリチウムが吸着する。その結果として、間欠的な電圧印加ではCFが印加電圧の大きさに依存しなかったと考えられる。以上の結果から、印加電圧の大きさは、電解質内部のイオン拡散速度の同位体間差ではなく、電解質表面に吸着しているイオンの同位体比を変化させると推定できる。つまり、印加電圧が小さいほどリチウム移動速度が小さくて好ましくないことを考慮すれば、CFを大きくするために電圧を間欠的に印加する実際の装置では、印加電圧をより小さくする効果はないと結論できるであろう。

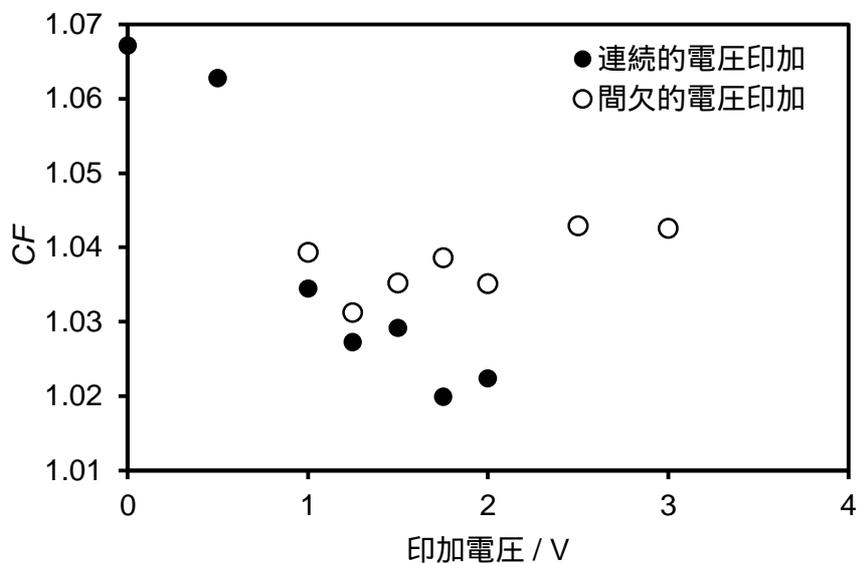


図1 CFの印加電圧依存性.

●:連続的電圧印加、○:間欠的電圧印加

異なる温度で同位体濃縮を行いCFの変化を調べた。CFの温度依存性を図2に示す。低温ほど、CFは大きかった。この間の、 ${}^6\text{Li}$ と ${}^7\text{Li}$ の移動速度のアレニウスプロットから求めた同位体ごとの移動の見かけの活性化エネルギーは、それぞれは、0.348 eVと0.351 eVであり、 ${}^6\text{Li}$ の方が約1%小さかった。この違いは、電解質材料の結晶格子における励起状態と基底状態におけるサイトの広さの違いと量子効果を考慮したゼロ点振動の大きさを考慮することで説明できることが判明した。つまり、電解質内部を移動するリチウム同位体の移動の活性化エネルギーの違いによって同位体濃縮率が変化し、低温ほど大きなCFを実現できることが判明した。

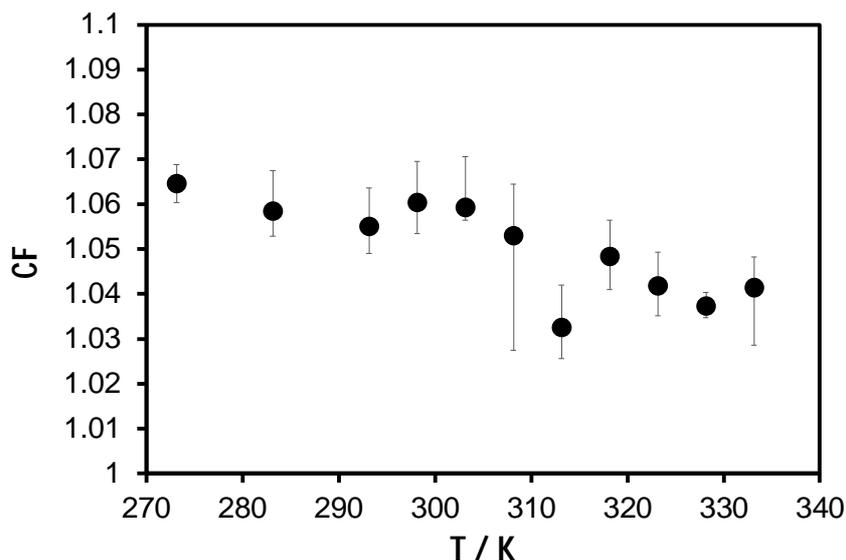


図2 CFの電解質隔膜温度依存性.

後段ほどリチウムイオン濃度が低下して濃縮速度が低下する課題に対しては、スケード装置を試作し、電圧印加開始の時期を調整することで対策ができることを確認した。今回の検討では、第二槽以降には初めに純水を入れた。電圧印加は、初めに第一段目のみに行った。その後、第二槽溶液中のリチウムイオン濃度が第一槽と同等になった後に、第二段目にも電圧印加を行った。この操作を繰り返す

ことで、各段のリチウム移動速度を同一に設定する設定によって、大きな移動速度でカスケード装置を運転できることを確認できた。

その後、各段のリチウム移動速度を同一とするこの条件にて、同位体濃縮率を調べた。結果を図3に示す。図3には、初期溶液中の同位体比からの積算CF(□)と各濃縮段におけるCF(●)とを示す。積算のCFは、初段から一定であり、最終段のみが高くなった。この間、最終の4段目のCFのみ約1.05と大きかったが、1段目から4段目までの単段のCFは、約1.03から約0.99まで後段ほど徐々に小さくなった。これは、各段のアノード側溶液中のリチウム同位体比が異なるにもかかわらずリチウム移動速度を同一にして運転したことに起因することが推定された。この結果は、槽を単純に連結するだけでは、二段分の同位体濃縮しか実現できないことを示唆する。したがって、実用的なカスケード装置では、単純な直列接続型のカスケード装置とするには各段のリチウム移動量を後段ほど小さくするように調整するか、あるいは、単純な直列接続ではなく二次側溶液中の一部を一次側に戻す循環システムを導入するか、のいずれかが必要であると判明した。

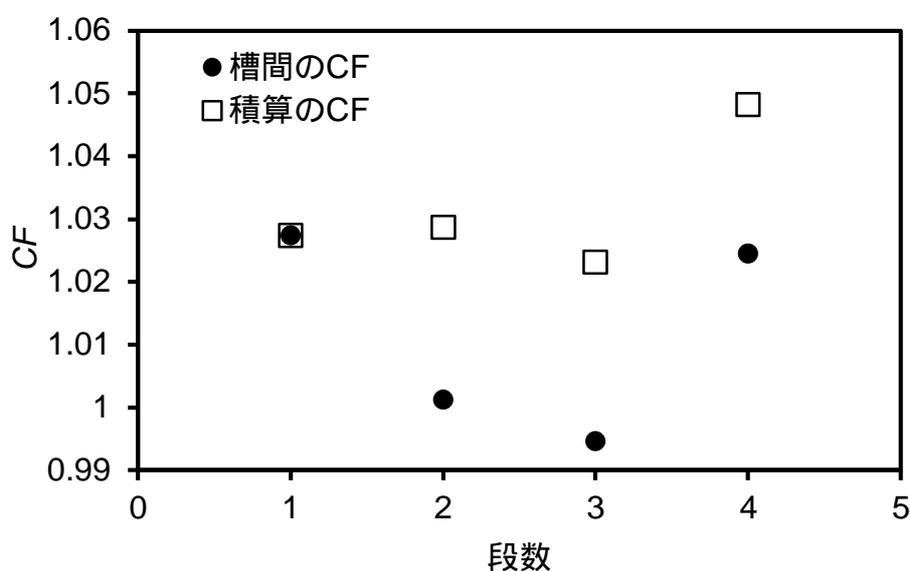


図3 直列型カスケードによるリチウム同位体濃縮率。

$CF = \text{二次側の } ^6\text{Li 濃度} / \text{一次側の } ^6\text{Li 濃度}$

●: 各段における CF, □: 初期溶液中の ^6Li 濃度を基準とした積算 CF

以上の結果をまとめると下記のようなになる。

電気透析によるリチウム同位体濃縮で大きな同位体濃縮率を得る指針を得た。まず、同位体濃縮は、表面の吸着解離と電解質中のイオン移動の二つの過程で生じ、低温ほど後者における寄与率が增大することが判明した。これは、 ^6Li と ^7Li の移動の活性化エネルギーの違いに起因することを解明した。連続通電の場合は、印加電圧が小さいほど同位体濃縮率が大きくなる傾向が確認された。一方で、間欠的な電圧印加では、同位体濃縮率に明確な電圧依存性はなかった。したがって、実際の電気透析による同位体濃縮装置を製作する際には、印加電圧をより小さくする効果はないと判明した。

カスケード装置に関しては下記の知見を得た。単純直列型カスケード装置では、各段のリチウムイオン移動速度を等しくする場合、最初及び最後の二段しか同位体濃縮が生じないことが判明した。単純直列型カスケード装置で、中間の段でも同位体比を高め続けるには、後段ほどリチウム移動速度を小さくすることが必要だと推定された。あるいは、単純な直列接続ではなく二次側溶液中の一部を一次側に戻す循環システムを導入することが必要だと判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Hirofumi Tazoe, Kazuya Sasaki,	4. 巻 171
2. 論文標題 Temperature effect on lithium isotope separation by electro dialysis using La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃ electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112577
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.fusengdes.2021.112577	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 Kazuya Sasaki, Ryosuke Hiraka, Hiroto Takahashi, Kiyoto Shin-mura,	4. 巻 170
2. 論文標題 Energy balance of lithium recovery by electro dialysis using La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃ electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112500
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.fusengdes.2021.112500	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 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件／うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Effect of applied voltage on isotope separation factor by electro dialysis using lithium ion conductive electrolyte La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃
3. 学会等名 PRiME 2020 (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Effect of electrode overpotential in secondary solution on lithium recovery rate for electro dialysis with two power supplies and three electrodes
3. 学会等名 PRiME 2020 (The Electrochemical Society) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Sogo Shinohara, Yuma Hachinohe, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Temperature dependence of isotope separation coefficient by electro dialysis using lithium ion conductor La _{0.57} Li _{0.29} TiO ₃
3. 学会等名 31th symposium on fusion technology (SOFT-31) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Sasaki, Kiyoto Shin-mura, Rio Takemura, Hiroto Takahashi, Keisuke Mukai, Ryuta Kasada, Tsuyoshi Hoshino
2. 発表標題 Elucidation of change in element density distribution in solid lithium electrolyte during electro dialysis by rf-GD-OES analysis
3. 学会等名 The 11th International Symposium of Advanced Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiyoto Shin-mura, Sogo Shinohara, Yuma Hachinohe, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Electrochemical impedance time variation of electro dialysis using lithium ion electrolyte La _{0.57} Li _{0.29} TiO ₃
3. 学会等名 71st Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE-71) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroto Takahashi, Kiyoto Shin-mura, Ryosuke Hiraka, Ryoya Tokuyoshi, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Effect of secondary solution concentration on lithium electro dialysis using lithium ion electrolyte Li _{0.29} La _{0.57} TiO ₃
3. 学会等名 71st Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE-71) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木一哉、新村潔人、向井啓祐、笠田竜太、星野毅
2. 発表標題 EPMA-SXES分析による高機能性トリチウム増殖材料用のLi系酸化物の化学的安定性解明手法の検討
3. 学会等名 ZE共同利用・共同研究_H31年度成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 篠原 爽吾, 八戸 悠真, 佐々木 一哉
2. 発表標題 リチウムイオン伝導体La _{0.57} Li _{0.29} TiO ₃ の二端子電気透析時のインピーダンスの変化
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新村 潔人, 井岡 聖一郎, 佐々木 一哉
2. 発表標題 三極式電気透析によるリチウム回収のエネルギー効率
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新村 潔人, 井岡 聖一郎, 佐々木 一哉
2. 発表標題 リチウムイオン電解質La _{0.59} Li _{0.29} TiO ₃ を用いた三極式電気透析デバイスの二次側溶液濃度の影響
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Mukai, Ryuta Kasada, Kazuya Sasaki, Satoshi Konishi
2. 発表標題 Analysis of valence electron structure of Li metal/oxides by soft X-ray emission spectroscopy
3. 学会等名 20th International Workshop on Ceramic Breeder Blanket Interactions (CBBI-20) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丹羽栄貴, 新村潔人, 本多駿資, 田副博文, 佐々木一哉
2. 発表標題 La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃ 電解質隔膜を用いる電気透析リチウム回収の特性
3. 学会等名 2022年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 進藤裕太, 新村潔人, 徳吉諒哉, 福坂岳, 丹羽栄貴, 佐々木一哉
2. 発表標題 La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃ 電解質隔膜を用いる電気透析リチウム回収におけるリチウム源溶液中共存イオンの影響
3. 学会等名 2022年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳吉諒哉, 新村潔人, 進藤裕太, 福坂岳, 丹羽栄貴, 佐々木一哉
2. 発表標題 La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃ 電解質隔膜を用いる電気透析 ⁶ Li同位体濃縮の温度依存性
3. 学会等名 2022年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Yuta Shindo, Taiyo Fukui, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Effect of Applied Voltage of Two-Power Three-Electrode Electrodialysis using Lithium-Ion Electrolyte La _{0.57} Li _{0.29} Ti ₀₃
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE-72) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Shindo, Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Taiyo Fukui, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Demonstration of Lithium Recovery from Lithium Chloride Aqueous Solution by Electrodialysis using Lithium-Ion Solid Electrolyte Li _{0.29} La _{0.57} Ti ₀₃ and Investigation of the Effect of Sodium-Ion
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (ISE-72) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Sasaki, Keisuke Mukai, Kiyoto Shin-mura, Hiroto Takahashi, Ryoya Tokuyoshi, Ikuma Takahashi, Ryuta Kasada
2. 発表標題 Analysis of element distribution changes in solid lithium electrolyte generated by electrodialysis using rf-GD-OES
3. 学会等名 The 12th International Symposium of Advanced Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Shindo, Kiyoto Shin-mura, Ryoya Tokuyoshi, Kazuya Sasaki
2. 発表標題 Recovery rate depending on the type of lithium source solution during lithium recovery by electrodialysis
3. 学会等名 32nd symposium on fusion technology (SOFT-32) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計15件

産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-117141	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-082480	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-120997	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-139450	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-061425	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置、多段式リチウム同位体濃縮装置、およびリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人、徳吉諒哉	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-061400	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/25527	出願年 2021年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/020226	出願年 2022年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PTC/JP2022/028416	出願年 2022年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/032300	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人、徳吉諒哉	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2023/012998	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 リチウム回収装置およびリチウム回収方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2023/013395	出願年 2023年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/25527	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、PTC/JP2022/028416	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 リチウム同位体濃縮装置および多段式リチウム同位体濃縮装置、ならびにリチウム同位体濃縮方法	発明者 佐々木一哉、新村潔人	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-061400	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
研究分担者	向井 啓祐 (Mukai Keisuke) (70807700)	京都大学・エネルギー理工学研究所・助教 (14301)	

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
---------	---------