

# 海水, かん水からのリチウムの吸着回収技術

大井 健太<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

海水中の希薄成分を回収する技術の開発は, 石油ショックなどエネルギー資源問題が顕在化した1970年代からウラン, リチウムを中心に活発に行われた。しかし, 1990年代後半には資源の価格が下がり海水希薄資源採取は経済的ではないと判断され, 限られた研究機関で技術開発を継続するのみとなった。2000年代後半になると, アジアを中心とする国々の経済発展, 資源ナショナリズムの台頭などが重なり, 石油を始めとするエネルギー資源や希少金属の価格が高騰し, 海水資源が再び脚光を浴びようになっている。特に, 次世代自動車として電気自動車が有力視されるようになり, 電池用リチウムの確保が大き

な課題となり海水からのリチウム採取が再び注目されるようになっていいる。

ここでは, リチウム資源と生産法を概説するとともに, 特に吸着法に絞って, 海水リチウム回収の現状と課題, 塩湖かん水からのリチウム吸着回収試験結果について紹介する。

## 2. リチウム資源と生産法

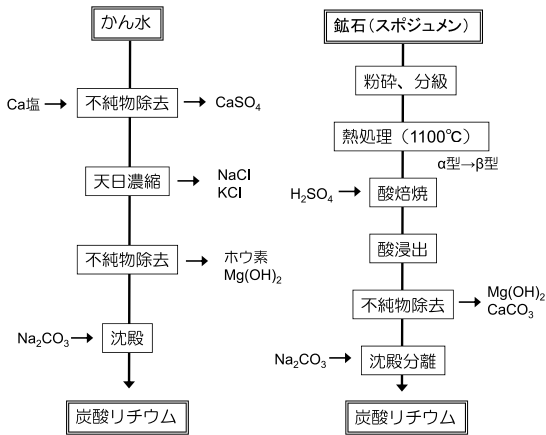
リチウムは比較的潤沢な資源であり, いわゆる枯渇資源と呼ばれるものとは区別する必要がある。リチウム資源としては, 塩湖かん水と鉱石が重要である(第1図)。鉱石資源としては, スポジューメン, ペタライトなどが存在し, かん水資源としては塩湖かん水, 天



第1図 世界のリチウム資源。

1) 産総研 評価部

キーワード: リチウム回収, 海水, かん水, 吸着システム, 吸着剤



第2図 リチウムの生産プロセス。

然ガスかん水、地熱水などが知られる。リチウム資源の埋蔵量は、鉱石系、かん水系ともに1,000万トンを超えている。

かん水および鉱石からのリチウム生産の一般的なプロセスを第2図に示す。

かん水からは、天日濃縮法でリチウムが生産される。かん水を濃縮するとNaCl、KCl、複塩などの無機塩類が晶析してくるが、リチウム塩は溶解度が高いため溶液相に残存しリチウムの濃厚溶液ができる。この濃厚溶液からマグネシウム、ホウ素などの不純物を除去し、最終的に炭酸リチウムとして沈殿させ生産する。アタカマ湖では肥料として重要なカリウム塩生産の副産物として炭酸リチウムが生産されている。

鉱石資源の場合、リチウム鉱石(スポジューメン)を1,100°Cで熱処理し結晶構造を $\alpha$ 型から $\beta$ 型に変えた後、硫酸焙焼、酸浸出によってリチウムを溶液相に溶出させる。溶出液から不純物を除去し、次いで炭酸リチウムとして沈殿させる。グリーンブッシュ鉱山では、タンタル生産の際に得られるスポジューメンを輸出し、そこからリチウム生産が行われている。生産価格を比較すると、アタカマ湖など塩湖かん水からの生産が安価であり、かん水からのリチウム生産が今では主流となっている。

### 3. 海水からのリチウムの回収

#### 3.1 意義

海水は低濃度であるがリチウムを含んでいる。塩湖かん水、鉱石などリチウム資源が豊富であるにもか

かわらず、海水からのリチウム回収技術の開発を行う意義はどこにあるのだろうか。

かん水資源の課題としては以下の3点が上げられる。

- ①資源が比較的偏在している。
- ②組成が多様である。
- ③環境への負荷が大きい場合がある。

第1の課題としては、有望なかん水資源が南アメリカ、中国に集中していることが上げられる。何らかの理由で生産に支障が生じたとき、直ちに供給が逼迫するおそれがある。第2には、塩湖かん水は、塩化物系、硫酸塩系、炭酸塩系かん水と多様であり、全てに同じ回収プロセスや回収条件を適用できない。かん水組成が塩湖ごと、あるいは同じ塩湖内でも場所や時間で変動すること、かん水濃縮に影響する水蒸発速度が地域で異なることも大きな変動要因となる。例えば、最も大きな埋蔵量のウユニ塩湖は硫酸塩系かん水であり、硫酸イオンやマグネシウムイオンの分離が大きな技術課題となっている。第3に、リチウム回収の際に塩を大量に含むCaSO<sub>4</sub>やMg(OH)<sub>2</sub>廃棄物が排出され、リチウム生産の拡大にともなって廃棄物の蓄積が大きな環境負荷になるおそれがある。

鉱石資源の課題としては以下の2点が上げられる。

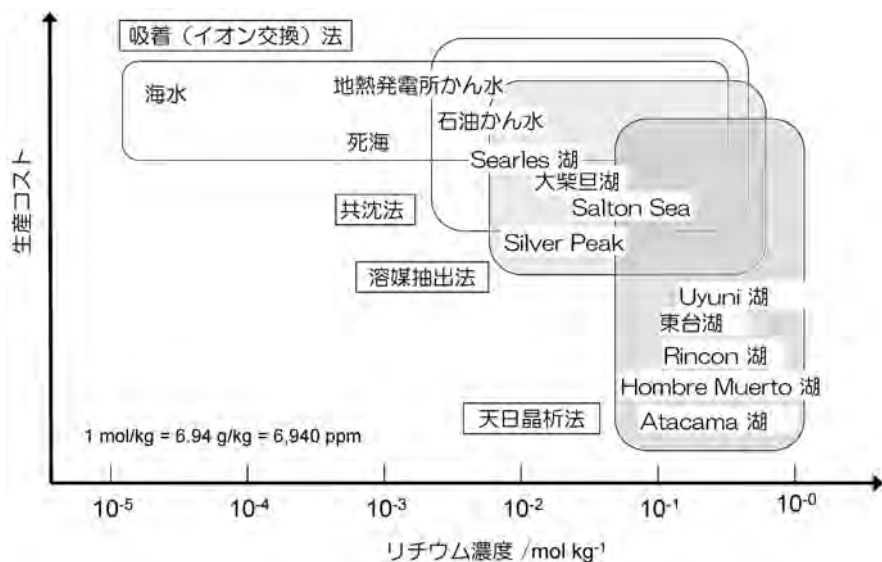
- ①エネルギー多消費型。
- ②炭酸リチウムの質(推定)。

鉱石を1100°Cに加熱処理する必要があることが価格上昇の要因となっている。また、溶出に硫酸を使っているため炭酸リチウム中に硫酸イオンが混入しやすく、電池級の高純度炭酸リチウムの生産を困難にしているものと推定される。

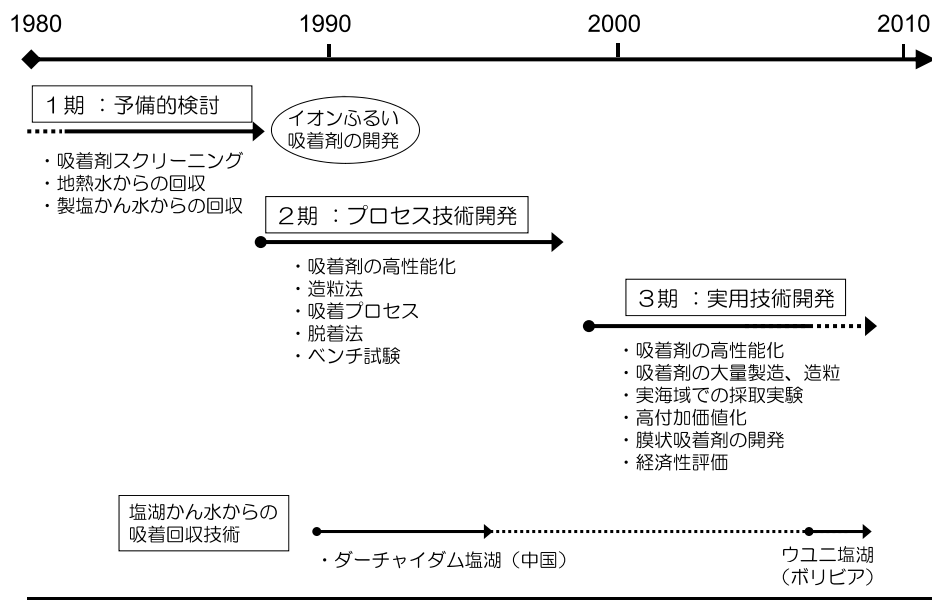
海水は、リチウム濃度が低い欠点があるが、組成が安定していること、また、産業現場近くで生産できる利点を持つ。短期的な事業化は困難であるが、リチウム供給先の多様化に向け中長期的に取り組むべき資源と考えている。

#### 3.2 海水、かん水からのリチウム回収技術

海水、かん水等の溶液系資源からの回収法はリチウム濃度で異なってくる。回収方法をリチウム濃度で分類すると第3図のようになる。縦軸は回収価格の目安を示している。500ppm(1ppm=1mg/kg=0.144mmol/kg)以上の高濃度リチウム含有かん水では天日濃縮法が最も経済的である。太陽エネルギーを利



第3図  
リチウム濃度による生産技術の分類。



第4図  
リチウム吸着回収研究の経緯(産総研)。

用するため回収価格は低くなるが、かん水の組成や現地の気象条件で価格は変動する。硫酸イオン、マグネシウムイオンを大量に含む場合、あるいは水の蒸発速度の遅い地域では回収価格は上昇する。

比較的高濃度(50~200ppm)のリチウムを含むかん水では経済的な回収法は明確に絞られていない。天日濃縮法では大量の水を蒸発させる必要があり効率的ではない。溶媒抽出法や共沈法などの化学分離法が検討されているが、経済性や環境負荷の観点か

ら必ずしも適切なプロセスとはなっていない。

低濃度(20ppm以下)のかん水や海水では、天日濃縮法、溶媒抽出法、共沈法はさらに経済的ではなく、吸着法が唯一のリチウム回収法となる。海流など自然の流れを利用できれば、海水のポンプアップの費用がかからず生産価格を抑えて回収できる。また、吸着剤のリチウムに対する選択性が十分高ければ、共存成分の分離などの前処理をせず、直接リチウムのみを回収できる利点もある。吸着法での回収では、リ

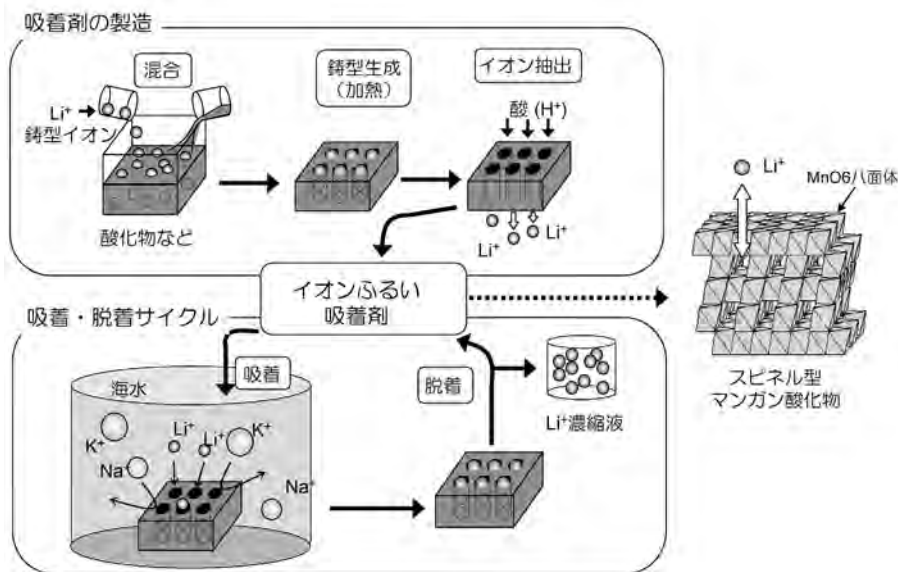
チウムイオンに対し著しく高い選択性を示す吸着剤の存在が必須となる。

### 3.3 海水リチウム回収研究の経緯

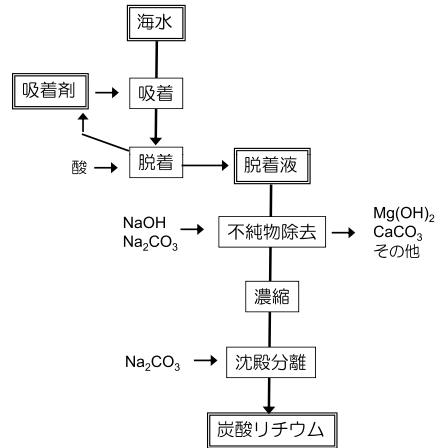
工業技術院四国工業技術研究所（現：産業技術総合研究所四国センター）におけるリチウム回収技術の研究経緯は第4図のようにまとめられる。研究は、第1期：吸着剤の探索，第2期：プロセス技術の開発，第3期：実用化に向けた技術開発の3つの段階に分かれる。第1期末（1980年代半ばまで）にリチウムに対し著しく高い選択吸着性を示すイオンふるい吸着剤が開発され、それ以降、海水リチウム回収技術の開発が本格的に進んだ。第2期では海水からのリチウム回収を技術面から検証することに主眼がおかれた。リチウム回収ベンチ試験を通して海水からのリチウム回収が技術的に可能であることを実証した。第3期では、実用化に向けて大量のリチウムを経済的に回収する技術開発を中心に進めている。ただ、2005年以降、四国センターのミッションが海洋資源開発から健康工学研究に変更されたため、海水リチウム回収研究はあまり進んでいない。

ここでは、リチウム選択吸着剤、海水からのリチウム回収システムについて今までの成果を中心に紹介する(大井ほか, 2003 ; 大井, 2008)。

### 3.4 海水からのリチウム生産プロセス



第6図 鋳型反応によるイオンふるい吸着剤の合成と吸脱着反応。



第5図 海水からのリチウム吸着回収プロセス。

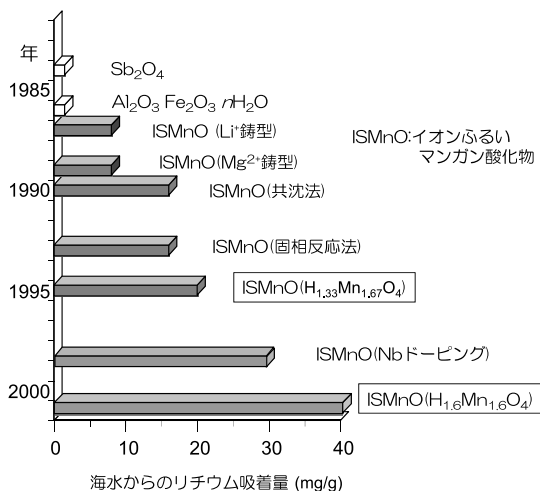
海水からのリチウム吸着回収プロセスを、第5図に示す。

脱着処理以降のプロセスは、鉱石からリチウムを酸溶出した後のプロセスとよく似ており、従来法を応用できる。したがって、海水からのリチウム吸着回収法の開発では、選択吸着剤の開発、吸着回収システムの開発、脱着法の開発が重要な技術要素となる。

### 3.5 選択吸着剤の開発

吸着剤の開発については1970年代～1980年代にかけて活発な研究が進められた。海水に対しては、





第7図 リチウム吸着剤の高性能化。

現在、イオンふるい吸着剤の一種であるスピネル型マンガン酸化物が最も有望な吸着剤となっている。イオンふるい吸着剤はイオン鑄型反応によって合成される。吸着剤の合成と吸脱着反応を第6図に模式的に示す。酸化物などの無機化合物中にあらかじめリチウムイオンを導入し、加熱処理によって固め鑄型を生成させる。その後、骨格構造をあまり変えないで導入したイオンを抽出してイオンふるい吸着剤が合成される。導入イオンが抜けた後に微細な空隙(アトムホール)が形成される。この空隙はあらかじめ導入したイオンを受け入れるのに最適な構造をしており、そのイオンを選択的に取り込むことができる。

リチウムイオンふるい吸着剤を海水に入れるとリチウムイオンを選択的に吸着する。反応は $H^+/Li^+$ イオン交換反応が進むため、弱アルカリ性の海水中ではリチウム吸着反応が進む。海水からリチウムを吸着させた後、吸着剤を酸溶液に入れると $Li^+/H^+$ 交換反応が進み、リチウムが酸溶液中に脱着される。この吸着・脱着サイクルを繰り返すことで海水中のリチウムを連続的に回収できる。

イオンふるい吸着剤の性能は合成条件で変化する。1990年代はスピネル型マンガン酸化物系吸着剤の高性能化が進んだ(第7図)。

海水から約40mg/gという高い吸着性能を示す吸着剤の開発に成功している(大井, 2008)。 $LiMnO_2$ を400℃で加熱処理し前駆体( $Li_{1.6}Mn_{1.6}O_4$ )を合成し、さらに酸処理すると高性能吸着剤( $H_{1.6}Mn_{1.6}O_4$ )が得

第1表 海水からの金属イオン吸着性。

吸着イオン	吸着量 (mg/g)	海水中濃度 (mg/cm <sup>3</sup> )	濃縮係数 (cm <sup>3</sup> /g)
Li	41	0.00017	240,000
Na	7.6	10.8	0.70
K	0.6	0.39	1.5
Mg	1.5	1.29	1.2
Ca	3.8	0.41	9.3

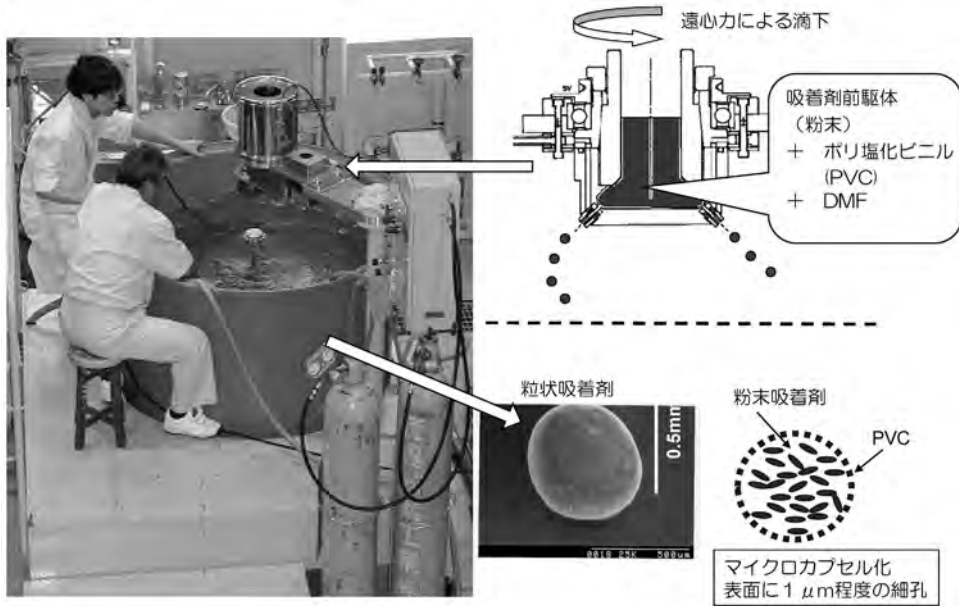
られる。海水からの各種成分の吸着性をまとめると、第1表のようになる。

リチウム以外の成分に対する吸着量はいずれも10 mg/g以下となっている。吸着量を海水中の濃度で割り濃縮係数を計算すると、リチウムの濃縮係数は240,000に達するのに対し、他の成分では10以下となる。ナトリウムが大量に含まれているにもかかわらず、海水中のリチウムに対し特異的な選択吸着性を示す吸着剤であることがわかる。リチウム吸着量は $Li_2O$ 含量として8.8%に達しており、鉱石のリチウム含量に匹敵する。すなわち、吸着剤を海水に接触させるだけでリチウム鉱石を人工的に作ることができる。

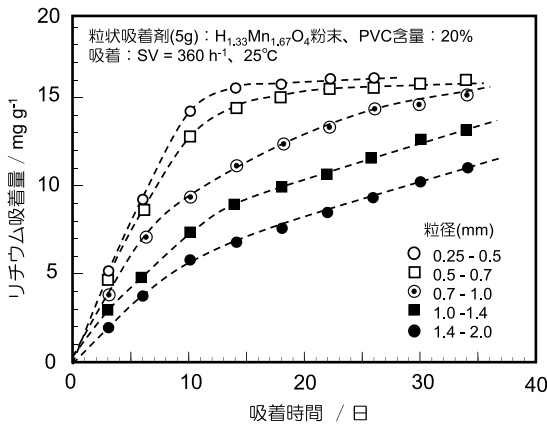
海水のリチウム濃度が著しく低いので、吸着量を高めるためには吸着剤を大量の海水と接触させる必要がある。海水を高速度で大量に流すと吸着剤(粉末)が吸着槽から流出するおそれがあり、それを防ぐためには吸着剤を成形する必要がある。粒状、膜状、繊維状の成形法が検討されているが、まだ、適切な成形法は確立していない。現状で有望と考えられる成形法はポリ塩化ビニル(PVC)をバインダーとして用いる溶媒置換法による造粒である。第8図に示した大量造粒装置を用いれば100kg単位で吸着剤を造粒することができる。造粒体はマイクロカプセル化しており、機械的強度が高く、酸処理時にも安定という利点がある。しかしながら、PVCが吸着剤粉末の表面に付着しリチウム吸着量や吸着速度を低下させる。造粒時にPVCを溶かすためのジメチルフォルムアミド(DMF)やカプセル化のための水を大量に使用し高価格となる、などの課題がある。

### 3.6 吸着・脱着プロセスの開発

粒状吸着剤を用いる吸着法としては一般にカラム法が用いられる。海水リチウム回収では通水速度が速いため、吸着剤が浮き上がり流動床が形成される。



第8図 吸着剤の大量造粒試験。



第9図 粒状吸着剤によるカラム吸着実験結果。

粒状吸着剤を用いてカラム吸着したときの吸着量の経時変化を第9図に示す(宮井ほか, 1996)。吸着速度は粒径に依存し、粒子が小さくなるほど速くなる。一方、粒子が小さくなると浮き上がりやすくなるため吸着剤層(流動床)の厚さが増し、吸着剤がカラムから飛び出るおそれが高くなる。吸着速度と吸着剤の浮き上がりを勘案すると0.7~1mm程度の粒径が適切である。

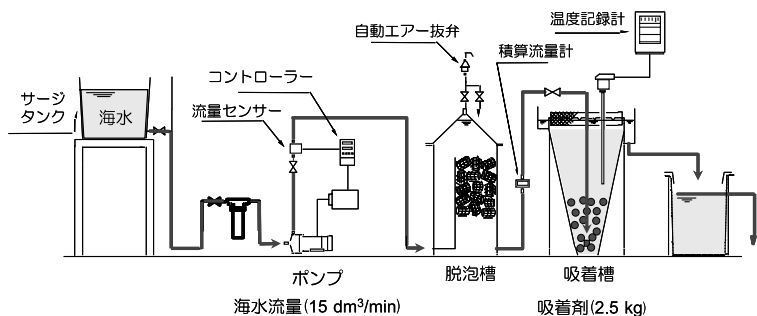
脱着は基本的に酸溶液で行われる。リチウムの脱着性能は酸濃度に依存するが、0.5M程度の濃度であ

れば速やかに進む。ただ、酸処理時に吸着剤が少し溶解するという課題がまだ完全には解決していない。現状で3%程度の溶解損失が起こる(宮井ほか, 1996)。吸着剤の溶解損失量はリチウム回収価格に大きく影響するため、酸処理時の溶解損失量の低減は実用化に向けて重要な課題である。吸着剤の製造方法や製造条件、脱着時の条件など総合的に検討し、溶解損失量を0.1%程度まで低減することを目標としている。

リチウムの大量回収を技術的に検証するために、海水からのリチウム吸着ベンチ試験を行った(宮井ほか, 1996)。吸着試験装置の模式図とリチウム回収試験結果を第10図に示す。流動床を安定に形成させるため円錐形のカラムを用いた。吸着、脱着、濃縮、分離試験を行い、純度99.1%の炭酸リチウムを海水基準で22%の収率で回収できることを実証した。事業化に向けての課題としては、粒状吸着剤の漏れ出しの防止、吸着剤の繰り返し安定性の向上、リチウム回収率の向上、が上げられた。

### 3.7 海水リチウム吸着装置の開発

海水リチウムの効率的な回収に向けいくつかの吸着装置が試験されている。浮体式吸着装置(第11図左)は、船舶を用いたリチウム回収システムを想定し



海水からのリチウム吸着実験結果

	元素	濃度 (mg/kg)	吸脱着繰り返し回数	Li 吸着量 (mg/g)	脱着液Li濃度*3 (mg/dm³)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 生成量 (g)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 純度 (%)	Li 回収率 (%)
海水*1	Li	0.17	7回	11 *2	1,600 *3	750	99.1	脱着液基準: 83 海水基準: 22
	Na	10,800						
	K	390	吸着剤: 2.5 kg	海水*3: 4,200 m³	脱着液*3: 100dm³			
	Mg	1,290						
	Ca	380						
	Cl	19,350						

\*1 吸着実験：空間速度 100/h、28日、  
脱着実験：バッチ式 (0.5M HCl)溶液 30dm³) 4時間、酸を補充して2回繰り返す。  
\*2 繰り返し吸脱着実験値の平均、\*3 積算値

第10図  
海水からのリチウム吸着ベンチ試験装置と試験結果。

浮体式吸着装置



回収された  
高純度塩化リチウム



(株)横田工業商会提供

流動床式カラム式吸着装置



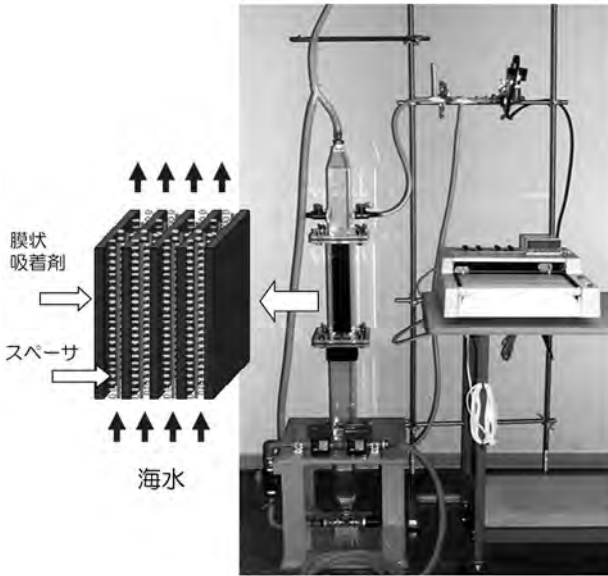
(株)横田工業商会提供

第11図  
浮体式吸着装置と流動床式カラム吸着装置。

て試作された装置である。底面から海水が導入され、吸着床を通過した後、上部から排出される構造となっている。広島大学、民間企業、産総研で共同研究を行い、吸着剤200kgを吸着槽に入れ、炭酸リチウムを年間100kgレベルで回収できるめどをたてた。

流動床式カラム吸着装置(第11図右)は、発電所温排海水からのリチウム回収を想定して試作されたも

のである。中国地域の地域コンソーシアム研究開発事業として、広島大学、広島地区の民間企業を中心に、他地域の民間企業、公設研、産総研が加わり研究コンソーシアムを組み2003年度～2004年度に実施した(斎藤ほか, 2008)。発電所温排海水から低コストでリチウムを回収する技術の確立を目指して、粒状吸着剤の大量製造技術、発電所温排海水を利用した吸着



第12図 層間平行流吸着装置。

システム、高純度の塩化リチウムの製造技術の開発を進めた。実際の火力発電所の温排海水を利用してパイロット試験を実施し、良好な流動状態と目標吸着量を達成している。また、1.7kgの高純度塩化リチウムの回収に成功している。吸着から脱着、濃縮、析出までを一連の工程としてまとめ、高純度塩化リチウムが効率的に生産できることを実証した。

実海域は、海水の流れは速いものの圧力損失がそれほど大きくない、そこで低い圧力差でも利用可能な装置として膜状吸着剤を用いる層間平行流吸着装置(第12図)を試作し、海水から吸着実験を行った(梅野ほか, 2005)。膜状吸着剤を溶媒置換法で製造し、吸着剤とスペーサを交互に積層した吸着カセット

を製作した。スペーサの種類を変えて吸着実験を行い、圧力損失と吸着性能との関係を求めた。低い圧力損失と高い吸着性能の達成を目標としていたが、圧力損失とリチウム吸着性能は正の相関となってしまう、所期の目標性能までには至っていない。今後の改良が期待される。

開放型の回収法として粒状吸着剤をポリエチレンメッシュの袋に入れ、沖の鳥島、西表島付近でリチウム回収実験が行われている(黒川ほか, 2008)。産総研からは粒状吸着剤を提供している。沖の鳥島海域での実験では、通常のカラム吸着よりも高い吸着性能がみられた。これは、海水が乱流となり、海水と吸着剤の接触効率が高まったためと考えられる。一方、西表島海域での実験では、流れの速い表層ほどリチウム吸着量が大きく、海水の流れがリチウム吸着速度に大きく影響することが明らかになっている。

### 3.8 技術の達成度

第3期における要素技術の達成度を第2表に示す。吸着剤の製造については大量製造技術も含めてほぼ目標を達成しているが、成形法、吸着装置、脱着プロセス、回収システムについては、技術開発をさらに進め、性能を高める必要がある。特に重要な課題としては、吸着剤の安定性の向上、および低水圧でも効率的にリチウム回収できる低コストな吸着装置(開放型)の開発が上げられる。

なお、経済性については、詳細な計算ができるまでには至っていないが、粗い計算では、現状のリチウム生産価格の数倍以上の価格となる(信川ほか, 1998)。特に、吸着剤の製造費用と繰り返し使用時

第2表 第3期の目標と現状。

要素技術	第3期目標	現状	提案技術
吸着プロセス ・吸着剤	吸着量40mg/g 製造100kg/月	○ ○	・2段階鋳型法 ・蒸気反応法
・成形	製造100kg/月 吸着量20mg/g.20日	○ △	・遠心式大量造粒 ・膜状、糸状成形
・装置	水頭差50cm 採取率70%	△ △	・低水圧吸着装置 ・開放型吸着装置
脱着プロセス	酸使用量低減 吸着剤溶解量<1%	○ △	・多段脱着法 ・2価金属導入法
採取システム	Li大量採取 Li純度(99.99%)	△ △	・実海域プラント ・Na, K吸着除去



第3表 ダーチャイダム塩湖かん水からのリチウム回収実験結果.

	元素	濃度 (mg/dm <sup>3</sup> )	吸脱着繰り返し回数	Li吸着量 (mg/g)	脱着液Li濃度* <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 生成量 (g)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 純度 (%)	Li回収率 (%)
ダーチャイダム湖 (模擬かん水) <sup>*1</sup>	Li	220	7回 吸着剤： 260g	20.8* <sup>2</sup> かん水* <sup>3</sup> ： 266dm <sup>3</sup>	5,800* <sup>2</sup> 脱着液* <sup>3</sup> ： 5.9dm <sup>3</sup>	110* <sup>4</sup>	99.3	脱着液基準： 70 かん水基準： 39
	Na	84,000						
	K	6,500						
	Mg	22,000						
	B	1,300						
SO <sub>4</sub>	4 48,000							

\*1 吸着：模擬かん水，空間速度10/h，脱着：硫酸溶液，空間速度5/h，室温

\*2 繰り返し吸脱着実験値の平均，\*<sup>3</sup> 積算値，\*<sup>4</sup> 積算値（濃縮は加熱濃縮と電気透析を併用）



写真1 ダーチャイダム塩湖.

に必要となる吸着剤補給費用がリチウム生産価格に大きく影響する。吸着剤の製造価格の低減と安定性の向上が大きな課題となる。

#### 4. 塩湖かん水からのリチウムの吸着回収実験

塩湖かん水は、既に一部でリチウム生産が進んでおり、新たな塩湖での事業化が期待される資源である。天日濃縮法で生産するのが最も効率がよいが、共存成分が多い塩湖やリチウム濃度が低い塩湖などでは生産価格が上昇し、天日濃縮法の適用が難しい例も多い。そのような塩湖を対象に吸着法によるリチウム回収を検討している。リチウム濃度がやや低い例としては中国のダーチャイダム(大柴旦)塩湖、共存塩が多い例としてウユニ塩湖かん水が検討されている。

ダーチャイダム塩湖かん水(写真1)からのリチウム回収プロジェクトは、通商産業省(現経済産業省)の委託事業(国際共同研究事業)として新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、民間企業2社、産総研が共同で6年間(1989年～1994年)研究を進め



写真2 ウユニ塩湖からのかん水採取風景.

た(NEDO, 1994)。ダーチャイダム塩湖は中国のツァイダム盆地にあり、リチウム濃度が200ppmと比較的低く、また硫酸イオン濃度が高いことなどから天日濃縮は困難な塩湖である。ダーチャイダム塩湖かん水からのリチウム吸着回収実験の結果を第3表に示す。かん水基準で40%弱の収率で純度99.3%の炭酸リチウムが生産できた。

ボリビアのウユニ塩湖(写真2)はリチウム埋蔵量が500万トン以上といわれ、将来的に最も重要な資源の一つに位置づけられる。ただ、硫酸イオン濃度、マグネシウム濃度が高いため、既に事業化しているアタカマ塩湖の技術をそのまま適用できない。また、雨期と乾期があり蒸発速度がアタカマ湖に比べ遅い課題がある。

ウユニ塩湖かん水からのリチウム回収プロジェクトは、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の“現場ニーズ等に対する技術支援事業”として共同スタディを進めた民間企業からの委託研究として実施した(JOGMEC・三菱商事, 2010)。その他に民間企業、民間研究機関、公的研究機関、産総研が参画し、産総研は吸着剤の提供、かん水の分析を担当した。他機関で吸着回収ベンチ試験装置の開発と回収実験を行い、炭酸リチウムを収率70%程度で効率的に回収できることを明らかにしている。

## 5. 今後の方向性

海水、かん水からのリチウム吸着回収法の現状と今後の方向は以下のようにまとめられる。

海水リチウム回収は技術的に可能であるが、事業化のためには回収コストをさらに下げる必要があり吸着剤、吸着システムを中心とした技術開発が今後も重要である。特に、外海域でも使える柔軟で頑健、かつ低価格な吸着装置の開発が必要である。

海水リチウム回収が資源価格という外的要因に大きく左右される点を考えると、短期的に実用化を目指すのではなく、資源の安定確保という政策的観点か

ら中長期的に技術開発を着実に進めるべきである。

かん水資源からのリチウム回収は資源確保という点で極めて重要な課題である。先行技術に対し省エネルギー、省資源、低環境負荷等で優れた新分離技術を開発し、資源国と連携し資源開発を進めることで国際貢献を果たすことが重要である。

## 文 献

- JOGMEC・三菱商事(2010):平成20年度現場ニーズ等に対する技術支援事業「かん水からのリチウム回収システム開発に関する共同スタディ」報告書(印刷中)
- 黒川 明・中澤直樹・石田 洋・林 正敏(2008):海水中希少金属の捕集実験, 土木学会海洋開発論文集, Vol.24, pp.309-314.
- 宮井良孝・大井健太・加納博文・馮 旗・加藤俊作(1996):マンガン酸化物系吸着剤による海水からのリチウム採取に関する研究, 四国工業技術研究所研究報告, No.28, pp.1-67.
- NEDO(1994):平成5年度“かん水中の有価資源回収技術に関する研究協力(中華人民共和国)報告書.
- 大井健太・坂根幸治・宮井良孝・高木憲夫・ラメシュ・チトラカー・梅野 彩・金洋 洙(2003):海水溶存物質利用の開発と展望-特に海水リチウム採取技術について-, 海洋開発ニュース, Vol.31, No.1, pp.2-7.
- 大井健太(2008):海水希薄資源の回収-現状と課題-, 海水誌, Vol.62, No.2, pp.85-89.
- 斎藤公男・信川 壽・佐藤正夫・米倉信義・坂根幸治・西川信二郎・野口千年(2008):海水リチウム生産パイロットプラントについて, 日本海水学会第56年会研究技術発表会講演要旨集, pp.16.
- 信川 壽・北村 充・ZHOU, G.・小田 薫・大井健太(1998):海水中に溶存するリチウム採取システムについて, 日本造船学会論文集, No.183, pp.309-313.
- 梅野 彩・坂根幸治・大井健太(2005):膜状吸着剤による海水からのリチウム吸着システム, 海水誌, Vol.59, No.5, 320-325.

Ooi Kenta (2010): Recovery of Lithium from Seawater or Brine by Adsorption Method.

<受付:2010年4月2日>