

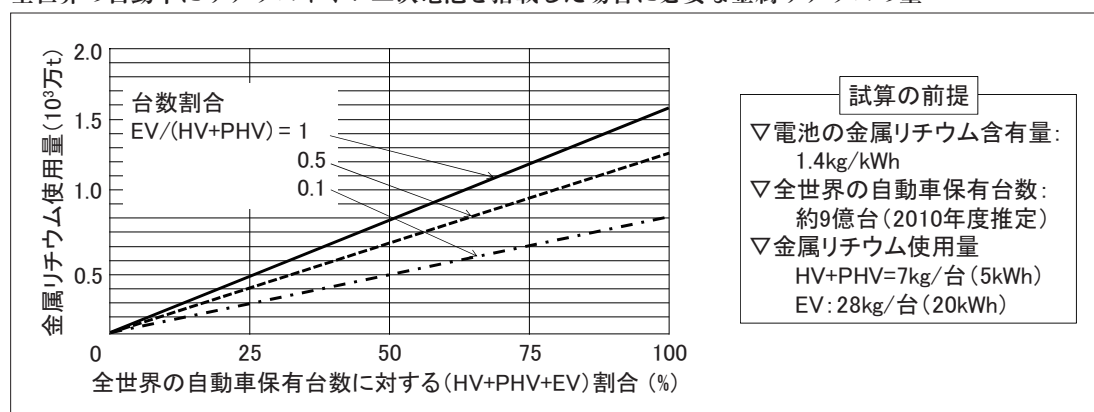
リチウム資源の供給と自動車用需要の動向

ハイブリッド自動車（HV）・プラグインハイブリッド自動車（PHV）・電気自動車（EV）の導入が、環境政策の後押しもあり、世界的に急拡大しつつある。特に PHV や EV を普及させることによる CO₂ 削減効果は大きい。これらの自動車には高性能な二次電池の搭載が必須であり、2030 年頃まではリチウムイオン電池の需要が急激に増大すると予想されている。また、その後に登場すると期待されている革新的蓄電池の候補においても、多量の金属リチウムが必須と考えられている。現在の全世界の自動車保有台数の半数をリチウムイオン二次電池搭載車に置き換えると仮定すると、自動車用の需要だけでも、世界の推定埋蔵量に近いレベルの金属リチウムが必要という試算結果になる。

採掘効率が高いリチウム資源としては塩湖のかん水資源と鉱物資源があり、かん水資源はチリ・ボリビア・中国・アルゼンチンなど、鉱物資源は米国・コンゴ・ロシアなどの限られた大陸地域に偏在している。リチウム資源量はレアメタルのなかでは比較的豊富であるが、偏在による供給不安、資源産出国の資源政策や輸出制限、それらによる価格の高騰が懸念されており、今後の自動車需要による急激な需要増加により、リチウム資源争奪戦が激化する可能性がある。日本は現在、世界最大の輸入国であるが、リチウム粗原料の輸入は少数の資源産出国に過度に依存しており、今後は資源確保の分散化が不可欠である。

リチウム粗原料としては、かん水から化学的に安定な炭酸リチウムを生産するプロセスが主流である。生産までに約 1 年の期間が費やされており、二次電池用材料の需要状況に柔軟に対応してリチウム粗原料を供給するためには、製造プロセス期間の大幅な短縮が求められる。また、海水中にも微量ではあるが大量の金属リチウムが存在し、長期的視点では、採算がとれるコストでの海水からの金属リチウム回収技術の研究開発が必要と考えられる。また、リチウムフリーの二次電池の研究開発にも注目していく必要があるだろう。

全世界の自動車にリチウムイオン二次電池を搭載した場合に必要な金属リチウムの量



科学技術動向研究センターにて作成

リチウム資源の供給と 自動車用需要の動向

河本 洋
客員研究官

玉城わかな
ナノテクノロジー・材料ユニット

1 はじめに

化石燃料エンジンと電動モータを併用するハイブリッド自動車(HV)、搭載された二次電池を外部電源から充電できるHVであるプラグイン・ハイブリッド自動車(PHV)、電気自動車(EV)のいずれにおいても、駆動電源として軽量・小型化された二次電池が必要である。これらの二次電池搭載車の導入促進を図り、CO₂排出量を大幅に削減していくことが緊急の課題となっている¹⁾。

これらの二次電池搭載車は当初想定されていたよりも急激に普及しつつあり、これに伴って、高出力・大容量の二次電池としてリチウムイオン電池の需要が、2030年頃ま

で大幅に増大していくと予想される。二次電池の電極・電解質には多量の金属リチウムが必須であり、急激な金属リチウムの需要増に対処するために、リチウム粗原料の安定的供給が不可欠である。レアメタルの一鉱種である金属リチウムは世界的に比較的豊富に賦存すると見られているが、二次電池での需要が急増した場合、資源国の資源政策・輸出制限や偏在などに起因するリチウム粗原料の需給バランスの崩れが懸念される。日本ではリチウム鉱物はほとんど産出されない。日本のリチウム粗原料の輸入量は世界最大であり、しかも、その多くを南米諸国からの輸

入に依存している。

本稿では、二次電池搭載車の普及動向と搭載される二次電池用の金属リチウムの必要量を見積もるとともに、リチウム資源の埋蔵量と供給量の現状および資源国の資源ナショナリズムとリチウム資源獲得競争の状況を紹介する。また、リチウム粗原料の安定供給を狙いとした中長期の方向性としてリチウム回収プロセス技術の研究開発について、また長期的視点では金属リチウムを使用しない二次電池の研究開発の必要性についても言及する。

2 今後の需要予測

2-1

二次電池搭載車の普及動向と 二次電池の方向性

現在、日本・中国・米国・欧州・韓国などの様々な国の自動車メーカーが二次電池搭載車の市場導入

を始めており、拡大計画を次々と発表している^{1, 2)}。今後はこれまで搭載されていなかったHVでもリチウムイオン電池の採用が本格的に進み、HV・PHV・EVの全てにおいてリチウムイオン電池が採用されると予想される。

日本政府は「低炭素社会づくり行動計画」(2008年7月閣議決定)に

おいて、2020年までに国内新車販売台数に占めるHV・PHV・EVなどの二次電池搭載車の合計台数を最多量で約50%とする目標を設定している。図表1に、経済産業省が「次世代自動車戦略2010」においてとりまとめた、2020年および2030年におけるHV・PHV・EVの普及目標を示す³⁾。環境政策の

図表1 経済産業省「次世代自動車戦略2010」における、
2020年および2030年の二次電池搭載車の普及目標（新車販売台数割合）

自動車の種類		民間努力ケース				政府目標			
		2020年		2030年		2020年		2030年	
二次電池 搭載車	HV	10～15%	20%未満	20～30%	30～40%	20～30%	20～50%	30～40%	50～70%
	PHV EV	5～10%		10～20%		15～20%		20～30%	
従来車		80%以上		60～70%		50～80%		30～50%	

文献³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

後押しもあり、日本においても急速に二次電池搭載車の普及が進むと考えられる⁴⁾。

車載用二次電池のなかでは、重量または体積当たりの出力密度およびエネルギー密度^{注)}の点から、現在のところリチウムイオン電池が最も優れた性能を有しており、2030年頃まではリチウムイオン電池が主流であると予想されている。図表2に、研究開発されている二次電池の作動電圧と放電容量密度の関係を示す⁵⁾。将来的に、出力密度とエネルギー密度がさらに大幅に向上した二次電池の登場も期待されている。これらの候補としては、電解質も固体である全固体

リチウムイオン電池、リチウムイオンキャパシター、リチウムイオン電池とリチウムイオンキャパシターのハイブリッド電池、金属—空気電池、多価カチオン電池などがある。高出力で最も大容量化を達成可能とされている候補は、無機系材料で電極・電解質を構成する全固体リチウムイオン電池、負極に金属リチウムを使用する金属—空気電池である。

急激な需要増が想定されているリチウムイオン電池においても、将来的に有望と期待される電池においても、いずれにも大量の金属リチウムが必須であり、今後の急激な金属リチウムの需要増は不可

避であると考えられている。また、自動車用以外の大容量リチウム二次電池の用途が拡大することも確実視されている。

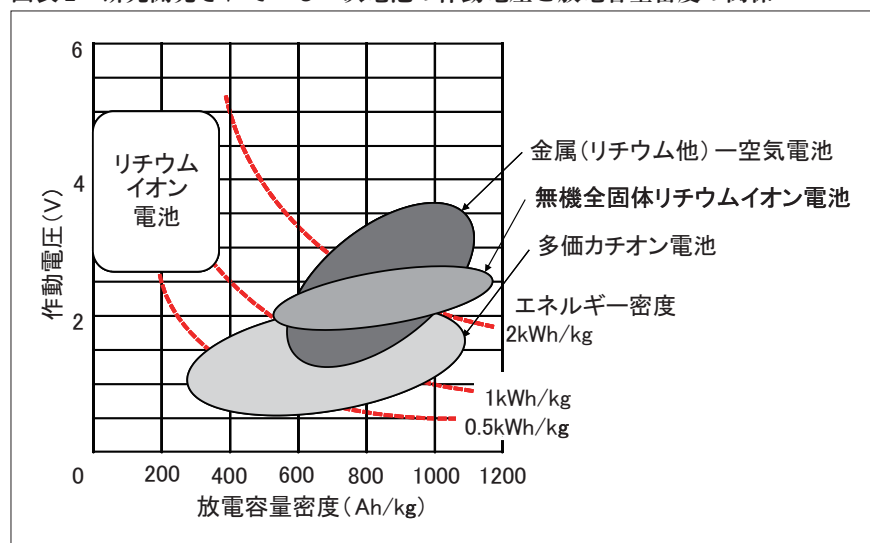
2-2

自動車用のリチウム資源需要に関する予測

金属リチウムはリサイクルできるため、用途が携帯型の電子機器などに限れば量的にはそれほど心配ないと、以前は考えられていた。しかし、HV・PHV・EVのようなリチウム電池搭載車における二次電池用金属リチウムの需要は、電子機器などの必要量とは桁違いに大きい。

イリノイ工科大学による、リチウム電池搭載車における二次電池用金属リチウムの需要試算によれば、2015年において、HV・EV販売台数が250万台、炭酸リチウム使用量が4.54kg/1台として、炭酸リチウム量が1.1万t必要とされている。一方、世界最大のリチウム資源供給会社であるSQM (Sociedad Quimicay Minera de Chile)社(チリ)によれば2020年で2～7万t、世界3位のChemetall (chemetall GmbH)社(ドイツ)によ

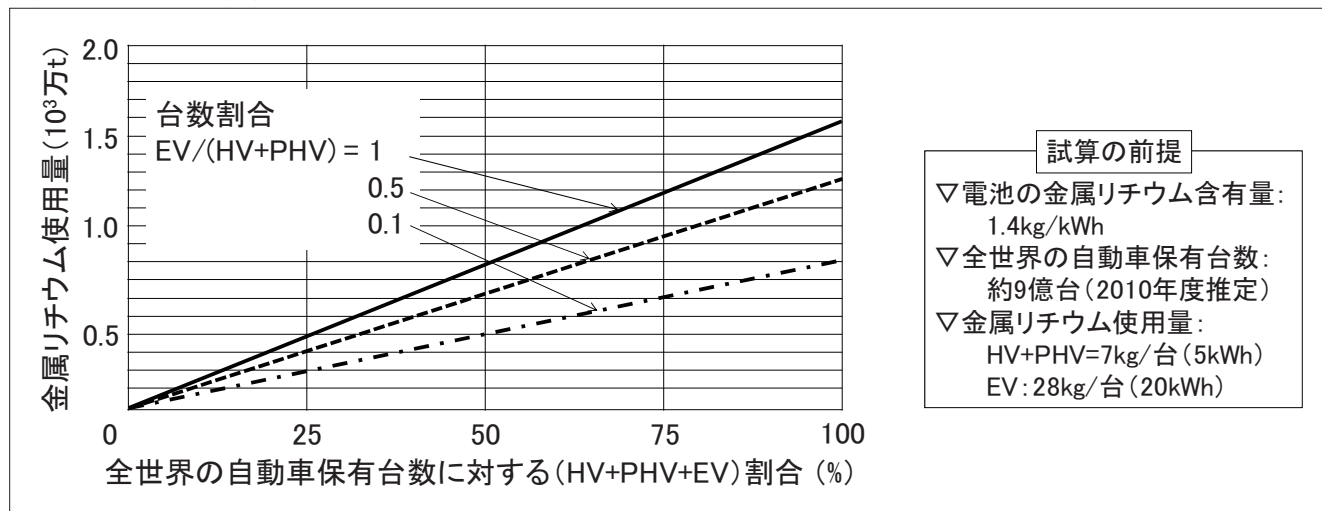
図表2 研究開発されている二次電池の作動電圧と放電容量密度の関係



参考文献⁵⁾掲載図を科学技術動向研究センターにて再構成

注：出力密度とは、電池の重量または体積当たりの電流と電圧との積であり、エネルギーを短時間で放出する能力を表す。エネルギー密度は、重量または体積当たりの放電容量である放電容量密度と作動電圧の積である。二次電池搭載車の動力性能を向上するためには電池セルの出力密度を大きくする必要があり、一方、走行距離を延ばすためにはエネルギー密度を高めることが要求される¹⁾。

図表3 全世界の自動車にリチウムイオン二次電池を搭載した場合に必要な金属リチウムの量



科学技術動向研究センターにて作成

れば2020年で3～6万tなどと試算されている。これらはすべて、HV・PHV・EVの導入台数が急速に増大していても、200年以上のリチウム資源埋蔵量があるとの楽観的試算結果である^{6, 7)}。なお、炭酸リチウム5.3kgからは金属リチウム1kgを生産できる。

本稿で筆者らは、環境政策を推し進めるという立場から、全世界の自動車にリチウムイオン二次電池を搭載していく場合に必要な金属リチウムの量の試算を試みた。2010年度推定値として、全世界の

自動車保有台数は約9億台である。リチウムイオン二次電池搭載車の金属リチウム使用量をHVおよびPHVでは7kg/台(搭載二次電池容量5kWhの場合)、EVでは28kg/台(搭載二次電池容量20kWhの場合)、リチウムイオン電池の金属リチウムの含有量を1.4kg/kWhとする。これらの前提のもとに、全世界の自動車保有台数に対するHV・PHV・EVの割合と金属リチウム使用量の関係を、HVおよびPHV台数に対するEV台数の比をパラメータにして試算した結果が、図

表3である。仮に全世界の自動車保有台数の50%を環境低負荷自動車(HV + PHVとEVをそれぞれ50%の割合とする)にすると、約790万tの金属リチウムが必要ということになる。この金属リチウム量は、次章で示す金属リチウムの推定埋蔵量に迫る量になる。この領域における我が国の今後の優位性維持と強化を考えるならば、リチウム粗原料の安定確保は極めて重要な課題であると言える。

3 把握しうるリチウム資源の埋蔵量と供給量

産業上様々な用途に少量ずつ用いられるが、生産量あるいは供給量が少なく量的に希少な非鉄金属であり、経済的あるいは技術的に必要とされる量が入手しにくい金属をレアメタルと呼んでいる。金属リチウムは31鉱種のレアメタルの一鉱種とされているが、地殻の元素重量%であるクラーク数は $6 \times 10^{-3}\%$ で、レアメタルのなかでは比較的豊富な資源である。このため、供給面・価格面などの視点でリスクの高い金属として認識されていなかった^{8, 9)}。しかし、リ

チウム資源においては、限られた地域で需要のほとんどが生産されるという偏在性によるリスクと、独占的供給による需給のアンバランスや価格変動が懸念されている。

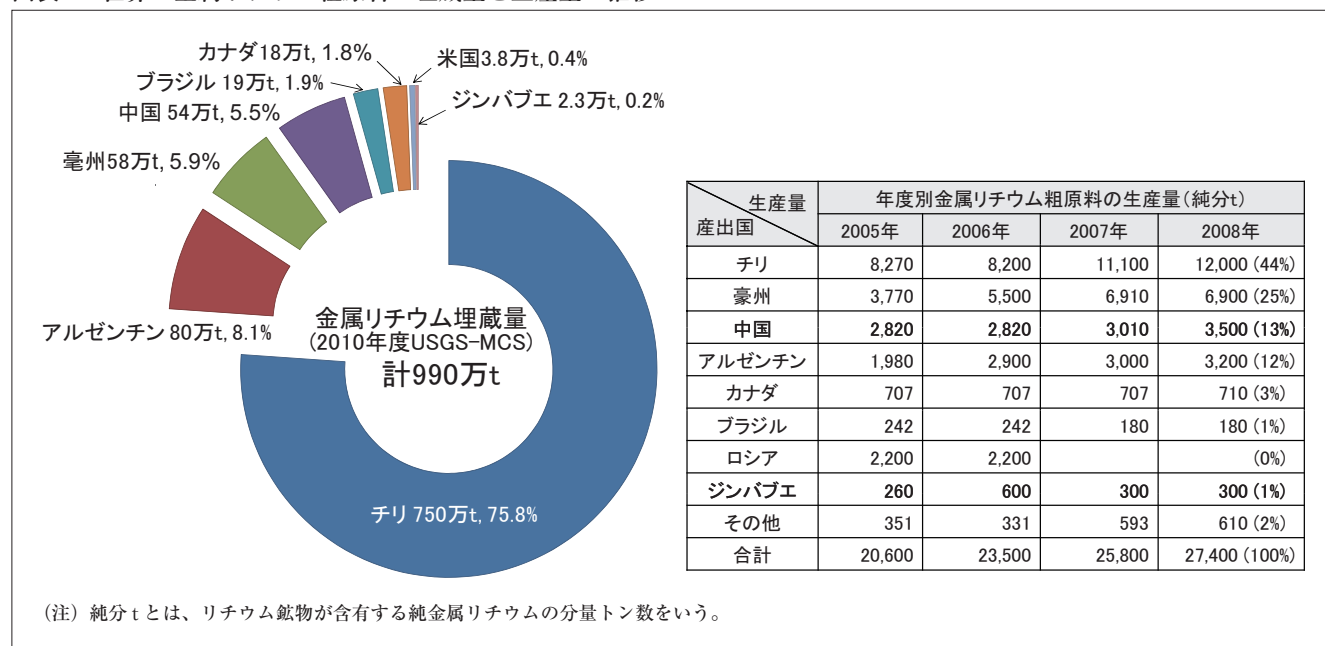
3-1

リチウム資源の偏在と生産状況

リチウム資源としては大別して、塩湖かん水系資源と鉱石系資源がある。上述したようにリチウムは

珍しい元素ではないが、採掘効率が高く採算がとれるという意味においては、リチウム資源は限られた大陸地域に偏在している。塩湖かん水資源としては、チリ・ボリビア・アルゼンチンの順に埋蔵量が多く、これら3カ国で世界の約80%を占めると見なされている。一方、鉱石系資源では米国・コンゴ・ロシアの順に埋蔵量が多く、米国だけで全体の約50%を占めるとされている⁷⁾。しかし、これらの埋蔵量はあくまでも推定値であり、しかも各種調査機関でリチウ

図表4 世界の金属リチウム粗原料の埋蔵量と生産量の推移

参考文献^{10～13)} 掲載データを基に科学技術動向研究センターにて作成

ム埋蔵量の推定値は大きく異なっており、今後もデータの更新が続くと考えられる。

図表4に、米国地質調査所(USGS: United States Geological Survey)が2010年1月に発行した「MCS (Mineral Commodity Summaries) 2010」などによる世界の金属リチウム粗原料の埋蔵量と¹⁰⁾、¹²⁾、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC: Japan Oil, Gas and Metals National Corporation)の「鉱物資源マテリアルフロー2009」による金属リチウム粗原料の生産量の推移を示す¹³⁾。現在、明確になっている範囲で世界の金属リチウムの埋蔵量は990万tであり、そのうち、チリの金属リチウム埋蔵量が750万tで約76%を占めている。埋蔵量2位も南米のアルゼンチンである。

近年、チリの隣国であるボリビアで世界最大級とされるリチウムを多く含む塩湖かん水が発見されている。ボリビア西部のウユニ(Uyuni)塩湖には世界のリチウム埋蔵量の50%が存在すると言われており、現在その品位についての調査が進められている。ボリビアの埋蔵量は明確ではなく、まだ全

体の埋蔵量には集計されていないが、今後、リチウム資源の南米偏在化はより顕著になると考えられている。

3-2

リチウム粗原料の流通状況

リチウム粗原料の流通形態は多種にわたっている。リチア雲母などベグマタイト銻を含む銻石の他に、スポンジウメンベタライト、炭酸リチウム、水酸化リチウム、金属リチウムなどがある。流通量としては、炭酸リチウムの形態が圧倒的に多い。しかし、これらの中で貿易統計において輸出入の流通量が判明しているのは、水酸化リチウムのみである。その他の形態については正確に状況が把握できておらず、ヒアリングなどによって需要側の推計が行われている。

図表4に示したように、2008年の世界の金属リチウム粗原料生産量は約2.74万tであったが、2009年には最大の輸出国であるチリから炭酸リチウムが2.5万t輸出されたと推定されている。このうち、

日本・韓国・中国の3カ国への炭酸リチウム輸出量が全体の約50%を占め、特に約25%が日本向けであったと言われている。ただし、近年は韓国向け輸出割合も上昇傾向にある¹²⁾。

リチウム資源を供給する会社としては、SQM社、Sons of Gwalia Ltd. (豪州)、Chemetall社、GEA Group AG (ドイツ)、FMC Lithium社(米国)、Potash Corp of Saskatchewan Inc. (カナダ)、Yara International ASA社(ノルウェー)などがある。しかし、SQM社、Chemetall社、FMC Lithium社の上位3社が世界のリチウム粗原料シェアの約70%を握り、これらの企業の価格支配力が非常に強い。中でも、プライスリーダーとなっているのがSQM社である。例えばSQM社は、リチウム粗原料の需要が急速に増加して価格高騰が起った2009年末に、突然の値下げを発表し、結果的に需要と供給のバランスが大きく崩れた。この値下げは「新たな需要喚起」という名目であったが、弱小銻山会社の振り落としに狙いがあったとの憶測もなされている。2010年現在、SQM社による価格決定での流通が行われていると

言っても過言ではない。

リチウム粗原料は、銅・ニッケル・鉛地金など7種類を上場する世界的な非鉄金属取引所 London Metal Exchange (LME) には上場されておらず、公表され世界指標となる価格は存在していない。それぞれのリチウム粗原料価格は SQM 社の言い値もしくは鉱山会社と商社間で取り決められた価格であり、日本国内では商社が公表した上・下半期または四半期の購入価格や中国国内市場における炭酸リチウム価格が指標となっている。この価格は2009年6月以降一度も下がることなく2010年8月まで高値で推移しており、価格高騰傾向

が続いている。

国際的に比較できる価格指標としては、後追いデータであるが、国連貿易データベース (UN comtrade DB : United Nations Commodity Trade Statistics Database) を利用した輸出入価格の推移がある¹⁴⁾。図表5および図表6に、UN comtrade DB より算出した水酸化リチウムの貿易価格の推移と流通量を示す。前述したように、リチウム粗原料の流通で正確に把握できるのは、今のところ、水酸化リチウムのみである。図表5からみても、2005年以降、リチウム資源価格が全体的に上昇していると推測される。また、図表6によ

れば、日本は水酸化リチウムに関してはほとんどを米国から輸入しており、チリや中国からの輸入量は多くない。このようにどの国も貿易相手や量にはかなりの差と偏りがある。

リチウム資源の埋蔵量は十分にあったとしても、資源の偏在、供給会社の寡占化、指標価格が無いことなどに起因する供給不安は今後も続くと思われる。すでに金属リチウムを多く使用する二次電池搭載車の生産が活発化しつつあり、急速な需要増による供給不足傾向が懸念されており、その不安が価格見通しを一層不透明にしているとも言える。世界中で二次電池搭載車が増加すれば、リチウム粗原料の生産量の漸増ではもう賄いきれなくなり、資源争奪戦が激化する可能性がある。

3-3

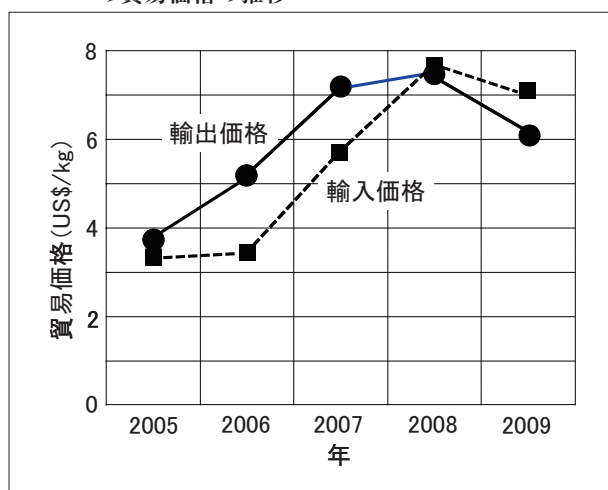
日本のリチウム粗原料の輸入量

日本の輸入量は2008年および2009年とも世界一であるが、その輸入価格は世界の平均輸入価格より常に高いと言われている。

図表7に日本のリチウム粗原料輸入量の推移を示す^{13,15)}。日本は、主たる粗原料である炭酸リチウムを主にチリからの輸入に頼っており、一部を水酸化リチウムまたは金属リチウムの形で米国などから輸入している。

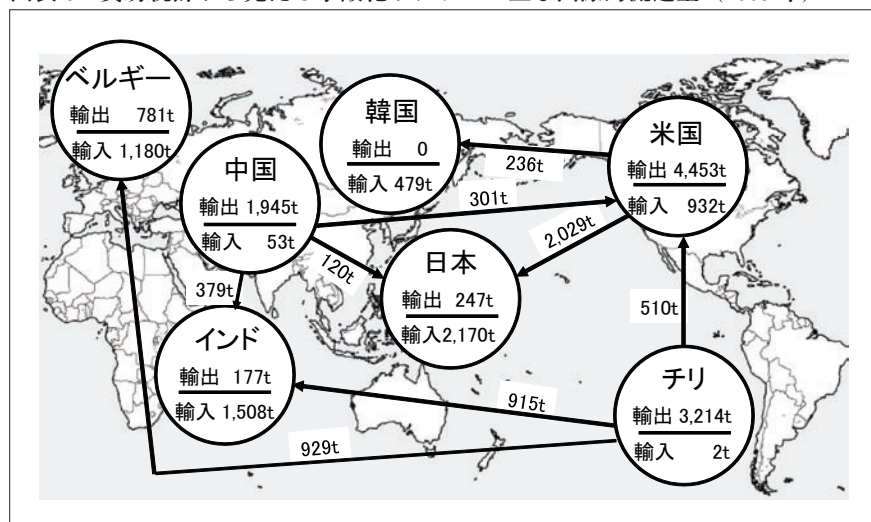
日本のリチウム粗原料輸入価格は一時よりは下落傾向にある。しかし、これは供給サイドがリチウム粗原料価格を下げることで、多額の投資が必要な日本企業による新規リチウム鉱物開発プロジェクトをけん制する動きによる、との見方がある。需要が急伸び続ける想定のもとでは、リチウム粗原料を安定調達するには、極端な南米依存を低める対策を進めておくこ

図表5 UN comtrade DB より算出した水酸化リチウムの貿易価格の推移



参考文献¹⁴⁾ 掲載データを基に科学技術動向研究センターにて作成

図表6 貿易統計から見える水酸化リチウムの主な国際的流通量 (2009年)



参考文献¹⁴⁾ 掲載データを基に科学技術動向研究センターにて作成

図表7 日本のリチウム粗原料輸入量の推移

リチウム粗原料	財務省貿易統計・年度別輸入量(t)				主な輸入相手国(2008年)	主な用途
	2005年	2006年	2007年	2008年		
炭酸リチウム	10,001	14,521	13,553	13,194	チリ 83% 米国 9% 中国 5%	二次電池電極・電解質材 耐熱ガラス添加材
水酸化リチウム	1,503	2,138	2,747	2,408	米国 92% 中国 5% チリ 4%	二次電池電極・電解質材 (高純度リチウム原料) グリス添加材
金属リチウム	162	153	142	134	米国 54% 中国 32% ロシア 11%	一次電池電極材 合成ゴム製造触媒 金属還元剤

参考文献^{13、15)} 掲載データを基に科学技術動向研究センターにて作成

とが必要であり、同時に資源需要 が必要がある。
を先取りした資源開発も考えてい

4 各国のリチウム資源政策の動きと資源獲得競争の状況

リチウム資源量は比較的豊富に賦存するが、偏在故の供給不安、資源産出国の採掘・輸出制限や資源ナショナリズムなどによる価格の高騰と、今後の金属リチウム需要の急激な増加にはリチウム粗原料の供給不足が懸念される¹⁶⁾。現在の最大輸入国である我が国は、リチウム資源産出国の資源政策、寡占的な生産企業、最新のリチウム粗原料の価格推移などの動向を特に注視していかなければならない。

4-1

チリの資源政策動向

現時点でリチウム資源の埋蔵量および生産量が第1位のチリでは、政府部局・鉱業冶金研究所などの政府系機関で構成されるリチウム委員会を組織して、技術面・法制度面・民間企業の参入の仕方などを含むリチウム資源政策について

検討が始まった。

2010年8月、チリ鉱業省、チリ鉱業協会(SONAMI)、SQM社およびSCL社(Chemetall社の子会社)により、リチウム資源採掘の自由化に係るセミナーが開催された。ここでは、鉱業大臣および上院議員などの政府関係者と、SQM社やSCL社のほかFORD社などの関連産業も含めた民間企業との間で意見交換が行われたが、チリ政府側が提案したリチウム資源採掘規制に対して、民間企業側は激しく反対している。鉱業大臣は、「政府の役割はインセンティブを与える社会政策を促進させることである」と発言し、上院議員らは「リチウム資源採掘の自由化促進、リチウム関連製品の研究開発促進のために新たな機関を設置する必要がある」との見解を述べた。リチウム資源採掘の自由化については、社会全体の利益を考えるとあくまでも憲法の枠内で考えるべきとの慎重論が展開された。さらに上院議員からは、「政府が企業とのコネクション

を構築することが将来的に国の利益に繋がる」との発言があった。一方、SQM社は「リチウムを戦略的鉱物とする理由はなく、チリ以外に採掘規制を検討している国も存在しない。採掘規制を行うと、自動車業界はチリのリチウム市場について信頼性を確信できなくなる」と主張した。Chemetall社の関係者もメディアに対し、上記のSQM社と同様な発言をしており、「チリ政府がリチウム資源採掘規制を継続実施するならば、同社はチリ以外でも事業を拡張する意向がある」とコメントしている¹⁷⁾。

4-2

中国のリチウム資源確保の動き

現時点でリチウム資源埋蔵量が世界第4位の中国では、2009年では、金属リチウム生産量が1,000t、炭酸リチウムなどの生産量が3万t、リチウムイオン電池用正極

材料の生産量が2万tと推定されている¹⁸⁾。

2010年7月に政府系団体である中国有色金属工業協会がリチウム産業分会の設立を政府に申請した。中国の金属リチウムおよびリチウム加工製品企業は50社程度存在すると見られるが、これらのうち40社の金属リチウム関係企業がリチウム産業分会の設立に賛成している。

中国では、世界の価格高騰に影響されずに粗原料を安定的に確保するために、国内への投資が盛んに行われている。近年、チベットのザブイエ（扎布耶）塩湖と青海省のツァイダム（柴達木）盆地に炭酸リチウムなどの生産基地が建設されている。現在、炭酸リチウムの主要生産企業は西藏鋳業、中信国安、西部鋳業集団、青海塩湖集団の4企業である。2007年初めに、青海中信国安科技发展公司是炭酸リチウムプロジェクトとしてツァイダム盆地西台吉乃爾湖に投資をしている¹⁹⁾。ツァイダム盆地ではカリウム、ナトリウム、マグネシウム、リチウム、ホウ素などの鉱物資源が豊富であるが、その中でも塩化リチウム埋蔵量は約1400万tで中国全土での埋蔵量の83%を占めると言われている。

4-3

韓国のリチウム資源確保の動き

韓国政府は、2009年末に発表した「希少金属素材産業発展総合対策」で、韓国国内で需要が高まっているリチウムを含むレアメタル10種の自給率を、リサイクルや権益確保によって、2009年現在の12%から、2018年までに80%に引き上げる方針を打ち出している。2018年までに約222億円を投じて、リチウムなどのレアメタル10種についての抽出技術やリサイクル関連

の新技术を開発することが予定されている。

世界最大の埋蔵量を有すると見られているボリビアの塩湖かん水の開発を巡っては、日本・フランス・中国・韓国などが権益確保に向けて激しい競争を繰り広げているが、韓国政府はそのなかでも非常に熱心である。2010年8月、韓国大統領は訪韓中のボリビア大統領と会談し、リチウム資源に関わる研究開発・産業化などに関する覚書を両国の鉱物資源開発を担う公社間で締結するに至った。この覚書には、ボリビアのウユニ湖に埋蔵されたりチウムの開発・協力のため共同研究委員会を構成することや、韓国コンソーシアムがボリビアのリチウムイオン電池の産業化プロジェクトを提案し、試験工場に関わる研究に参加することなどの内容が盛り込まれている^{20、21)}。

4-4

日本のリチウム資源確保の動き

日本でも、経済産業省の「エネルギー基本計画」によれば、リチウムを含めたレアメタルの自給率を、リサイクルや権益確保によって2030年までに50%以上に引き上げる目標を掲げ、官民一体での資源獲得を進める方針を打ち出している²²⁾。リチウム資源の低価格安定供給への方策としては資源国での鉱物資源採掘権益の確保があるが、全量を輸入に頼っている日本は、リスク回避という意味で、南米に対する依存割合を下げて輸入先を分散化していくことが不可欠であろう。

このため、経済産業省、(独)JOGMEC、(独)産業技術総合研究所、北九州市立大学、三菱商事㈱、などの産学官連合は、他国の先陣を切って、ボリビアでのリチウム

資源抽出実験に参加する権利を獲得した。2011年初めから1年半程度の期間で、ウユニ塩湖周辺の施設を拠点にしてこの抽出実験を進める計画である。リチウム資源の抽出地点探査と高純度化に関する技術を開発する過程で、現地での技術者養成や電源設備の敷設などの資源開発に関わる環境整備も支援する²³⁾。(独)JOGMECは、技術支援事業の一環として2008年から2009年にかけて、三菱商事(株)によるウユニ湖における「かん水からのリチウムの回収システム」、住友商事(株)による「かん水からのリチウムとホウ素の選択的分離法の開発」を支援した。これらの事業により、イオン交換樹脂を用いたかん水からのリチウム資源回収(濃縮)は成功したものの、鋳床の獲得などの点では韓国や中国にやや遅れをとっている。

最近、日本とモンゴルの両政府はレアアースなど鉱物資源の共同開発の一環としてリチウム資源の共同開発に着手するとの報道がなされた²⁴⁾。同国には金属リチウムを豊富に含むと見られる塩湖が存在する。(独)JOGMECと(独)産業技術総合研究所は、モンゴル政府関係機関との共同事業として、2011年度からモンゴル西部の塩湖かん水のリチウム含有量や炭酸リチウムへの精製の可能性を調べ、3～4年後に民間事業への移行を目指すとされている。この資源調査によって、炭酸リチウム粗原料生産とその経済性が成立することが確認されれば、この共同開発は日本のリチウム資源調達先の多様化に寄与すると考えられる。

鋳石資源においては、(独)JOGMECは2009年11月に、米国ネバダ州のリチウム鋳床の権益を40%取得し、探鋳会社であるAmerican Lithium Minerals Inc.との共同調査に出資して、同鋳床から世界のリチウム粗原料生産量の約10%に当たる年間1万tの生産

を目指す」と発表している²⁵⁾。

日本のリチウム資源採掘権益獲得に関しては、商社が活躍している。三菱商事(株)は豪州の Galaxy Resource Limited 社と長期販売契約を締結し、5年後に年0.5万トンの炭酸リチウム粗原料の販売を目指すとのことである²⁶⁾。豊田通商(株)は、2010年1月に、豪州の Orocobre Limited 社がアルゼンチンで進める採掘プロジェクトに参

加し、共同で事業化調査を行うことで合意したと発表した²⁷⁾。採掘を検討するのはアルゼンチン西北部でチリとの国境に近いオラロス塩湖(Salar de Olaroz)の資源であり、2014年頃にも年産1.5万tのリチウム資源の採掘を始める予定とのことである。伊藤忠商事(株)は、2010年7月、米国のリチウム粗原料を生産する資源開発会社である Simbol Mining Corp. に出資し、日

本・中国・アジア向けに販売する権利を取得して、2015年頃に日本のリチウム粗原料総需要の約30%にあたる約1.6万tの金属リチウム粗原料の生産を本格化する予定と発表した²⁸⁾。その他に、三井物産(株)も2012年のリチウム粗原料生産開始を目指すカナダの Canada Lithium Corp. とのあいだで、日本・韓国・中国での独占販売権を結んでいる²⁹⁾。

5 中長期の研究開発の方向性

5-1

リチウム資源回収プロセス技術

5-1-1 炭酸リチウム粗原料製造プロセスにおける課題解決

金属リチウム自体は化学的活性が高いため、多くの場合は、安定な炭酸リチウム(Li_2CO_3)化合物の状態ではリチウム粗原料が製造され、その保管・輸送が行われている。この炭酸リチウムから二次電池用のリチウム化合物などが生産される。最大の輸入国である日本は、資源国の企業と協同で、より低コストの炭酸リチウム製造事業構築を目指し、技術の提供を強みにして、今後の安定した輸入量を確保していく必要があるだろう。

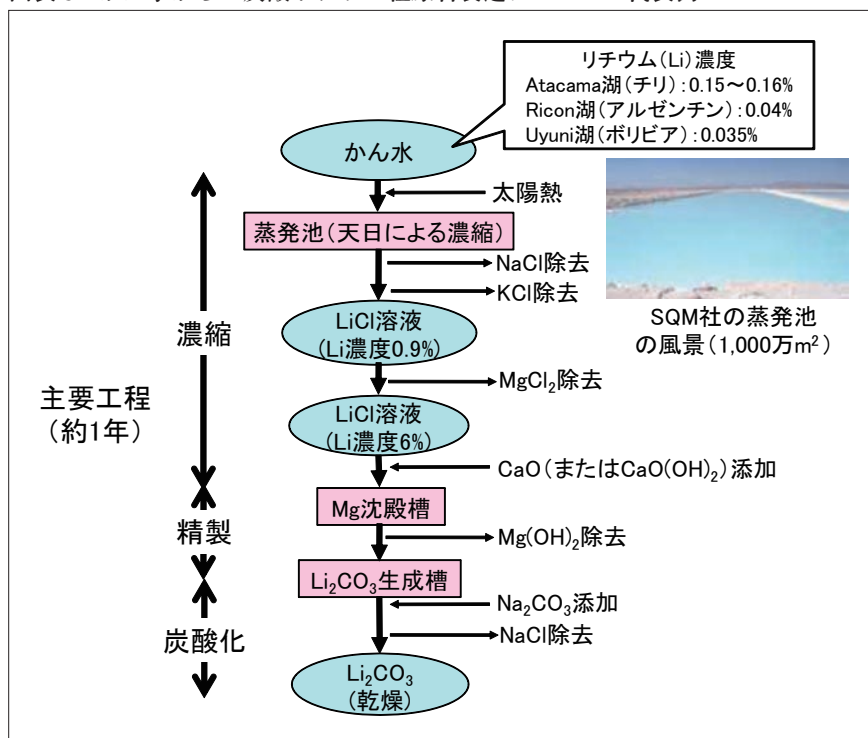
現在のリチウム粗原料生産は、塩湖かん水系資源からが主流である。陸に閉ざされた湖などで塩類の濃度が通常の淡水湖よりも高くなった湖を塩湖といい、その高濃度の塩水をかん水という。高濃度と言っても、チリ・アルゼンチン・ボリビアの塩湖のかん水におけるリチウム濃度は0.04～0.16%である。しかし、それでも、かん水系資源の製造プロセス法による炭酸リチウムのコストは、鉱石系資源の製造プロセス法である採掘・選

鉱・精製・炭酸化工程に比べて30%～50%低い¹¹⁾。

図表8にかん水からの炭酸リチウム粗原料を製造するプロセスの代表例を示す^{11)、30)}。これは蒸発濃縮・精製法と言われるもので、濃縮工程でかん水を蒸発池で天日により蒸発濃縮し、ナトリウム・カリウム・マグネシウム塩化物(NaCl 、 KCl 、 MgCl_2)などを晶出させて除去し、濃縮塩化リチウム(LiCl)を得る。その後の精製工程

で、この LiCl に炭酸カルシウム(CaO)などを加えて不純物であるマグネシウム水酸化物を除去・精製し、炭酸ソーダ(Na_2CO_3)を用いて炭酸リチウムを得る。かん水系資源の製造プロセスでは、天日蒸発での濃縮工程のため、かん水くみ上げから炭酸リチウム製品まで約1年の期間を要するという課題がある。二次電池用材料としての需要状況に柔軟に対応して原料を供給するためには、この粗原料製

図表8 かん水からの炭酸リチウム粗原料製造プロセスの代表例



参考文献^{11)、30)} 掲載図を基に科学技術動向研究センターにて作成

造プロセス期間の大幅な短縮が求められ、そのための技術開発が必要である。

5-1-2 海水からの回収プロセスの可能性

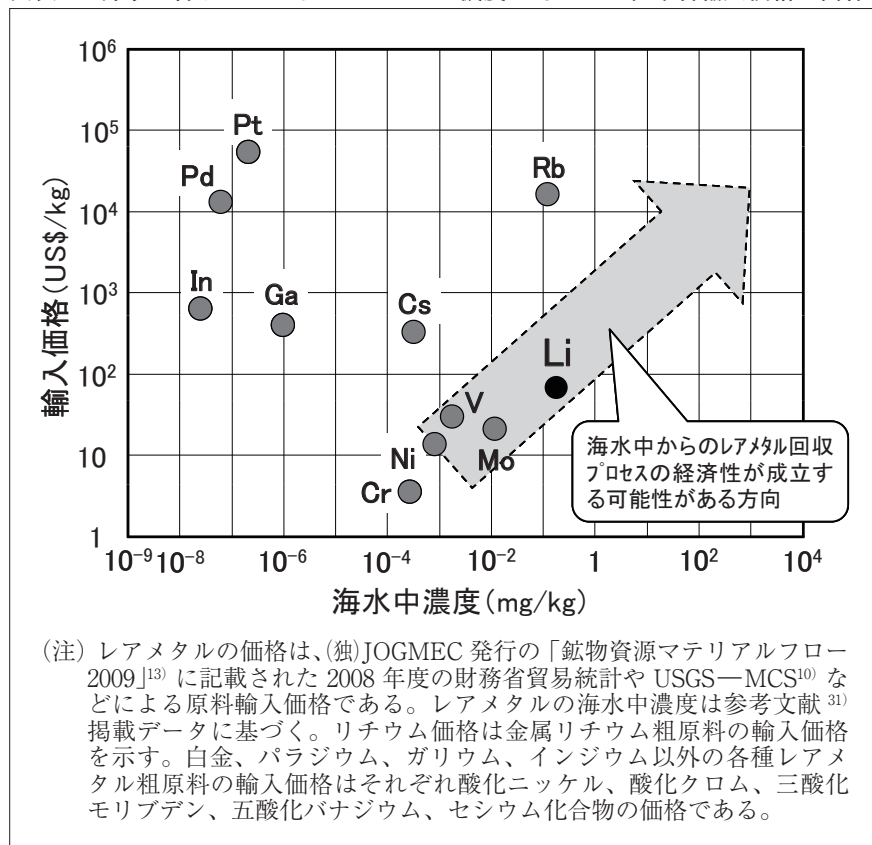
海水中にも微量のリチウムが存

在し、その濃度は0.1～0.2mg/lである。地球上の海水全体には2300億tもの膨大な金属リチウムが含まれている。海水に含まれるレアメタル回収の経済性を考えるために、図表9に海水に含まれる主なレアメタルの濃度とそれらの粗原

料輸入価格の関係を示す^{10、13、31)}。一般に、レアメタルの市場価格が比較的安くても、海水中のレアメタル濃度が高い方が海水から回収するプロセスの経済性が成立すると見られており、金属リチウムはその限界領域付近にあるとされている^{31、32)}。長期的視点になるが、エネルギーをそれ程投入しなくても海水中のリチウム化合物を高濃度できる分離できるプロセスが開発されるならば、海水からリチウム資源を工業レベルで獲得することも考えられる。

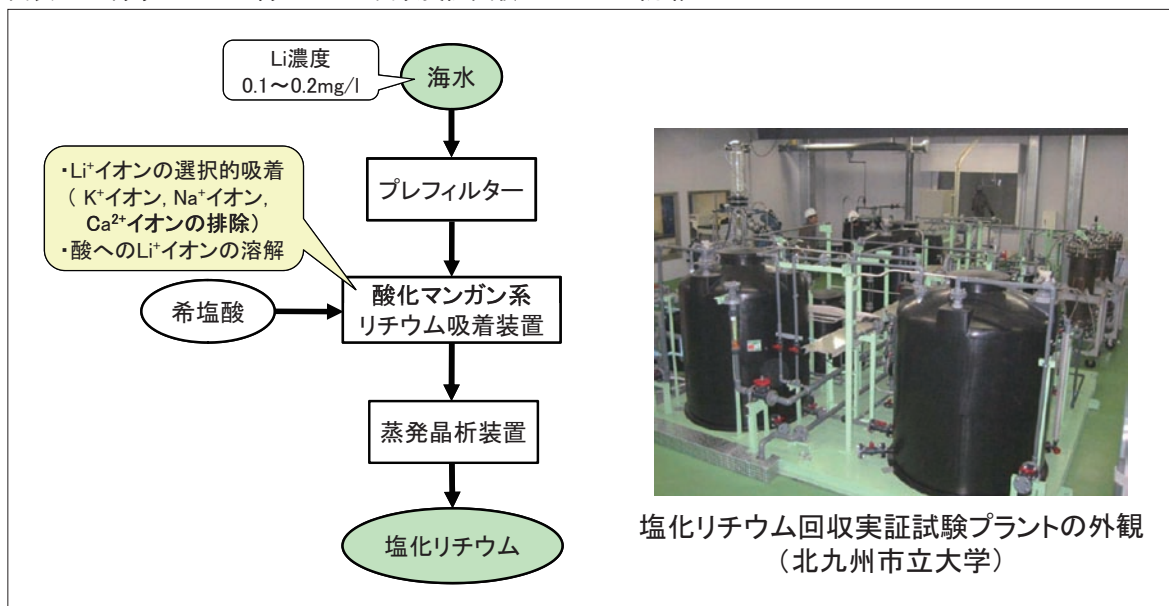
研究開発が進められている海水中の金属リチウム吸着プロセスの概略を図表10に示す³²⁾。金属リチウムを含む希薄水溶液である海水から金属リチウムを選択的に吸着して回収する方法としては、高い金属リチウム選択性を示すマンガ氧化物系吸着剤が用いられている。マンガ氧化物系吸着剤はリチウムイオン電池の正極材料でも用いられている材料であり、その吸着量は低品位鉱石の金属リチウム含量に匹敵する。佐賀大学海洋エネルギー研究センターでは、小規模ではあるが実用化を目指した施設例としては世界初の実験プラントの稼働を始めており、約1

図表9 海水に含まれる主なレアメタルの濃度とそれらの粗原料輸入価格の関係



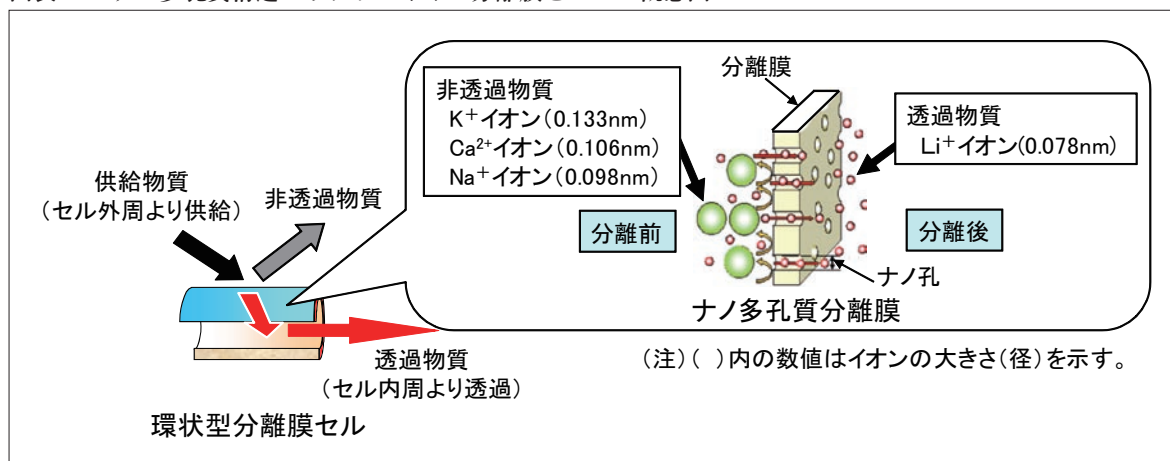
科学技術動向研究センターにて作成

図表10 海水からの金属リチウム回収実証試験プロセスの概略



参考文献³²⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 11 ナノ多孔質構造のリチウムイオン分離膜とセルの概念図



科学技術動向研究センターにて作成

カ月間で海水 14 万 l から塩化リチウム約 30g を得ることに成功している³³⁾。しかし、吸着された金属リチウムを酸性溶液で脱着する際の調製・操作の条件設定が煩雑であることから、現在の回収方法では大量処理が困難である。今後は生産コストを下げ、期間短縮化を達成していくことが求められる。また、溶媒抽出により金属リチウムの分離・濃縮・精製を行うプロセスも知られているが、高価な溶剤を用いて抽出操作を多数回繰り返す必要があり、エネルギー消費も大きいため、このリチウム回収プロセスは実用化に至る可能性は低いと考えられている。

その他に、無機材料多孔質膜を分離膜として用いた高濃度化プロセスも考えられている。分離・精製対象となる物質をその大きさを利用して吸着させて、かつ選択的に透過させる膜を分離膜と言う。図表 11 にナノ多孔質構造のリチウムイオン分離膜とセルの概念図を示す。多孔質分離膜に関しては、ナノスケールに至るさまざまな大きさの物質を対象とした研究開発が行われている。耐熱性・耐化学薬品性などセラミックスの優れた性質を生かし、サブナノメートルスケールの極微細孔が連続的・規則的に配置されたナノ多孔質セラミックス分離膜の研究開発が進められている³⁴⁾。リチウム化合物を

吸着可能となる材料で分離膜をセル状に構成でき、これにより海水中に多量に含まれるカリウム・カルシウム・ナトリウムイオンなどのリチウムイオンより大きいイオンを分離できるならば、吸着・分離にエネルギーをほとんど使用しないシステムが可能になる。そのためには、マンガン酸化物系吸着剤のようにリチウムイオンの大きさを認識して吸着する効果と、これを透過させて分離する両機能を有するナノ多孔質分離膜が必要である。

5-2

金属リチウムを使わない 二次電池の研究開発

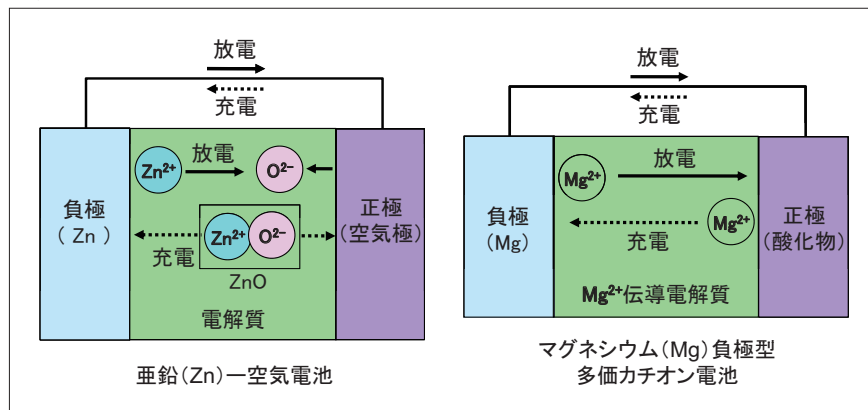
「経産省・次世代自動車戦略研究会」では、長期的な研究課題として、レアメタルフリーな二次電池の開発を提言している³⁾。「NEDO 次世代自動車用二次電池技術開発ロードマップ 2008」に掲げられている革新的蓄電池のうち、金属リチウムを使用しない二次電池の候補として、金属—空気電池と多価カチオン電池が挙げられている⁵⁾。長期的には、これらの研究開発を進めていくことも望まれる。

図表 12 にリチウムフリー二次電池としての亜鉛—空気電池とマグ

ネシウム負極型の多価カチオン電池の発電メカニズムを示す⁵⁾。金属—空気電池は、正極部分に当たる材料の容積が小さくなる特徴を持ち、軽量化・コンパクト化を図ることができる。負極に亜鉛・アルミニウムなどの金属、正極には空気中の酸素を利用するための空気極を構成するための触媒を使用する構造が考えられている。しかし、現段階の研究開発では、空気極触媒の性能向上、充放電サイクル特性の改善、低温特性の飛躍的改良、電解質中や電極表面に生成する樹皮状物質であるデンドライトの析出抑制、充電時のメカニズム解明などの様々な基本的課題が解決されていない³⁵⁾。また、もしも触媒としてレアメタルを含むものを使用するシステムである場合は、使用量を少なくするという課題を克服しなければならない。一方、多価カチオン電池の発電原理は、電荷を複数個持つカチオンイオンを移動させることにより、同じ大きさの電池中で複数倍のエネルギー移動を起こすことができ、高エネルギー密度が期待できるとされている。正極に酸化物や硫化物など、負極にマグネシウム、カルシウム、アルミニウムなどを用いることが考えられている。しかし、この電池も、最適な電池構成の構築、充放電サイクル特性の改善など、基本的な課題

がまだ解決されていない⁵⁾。

図表 12 亜鉛-空気電池とマグネシウム負極型多価カチオン電池の発電メカニズム



参考文献⁵⁾ 掲載図を基に科学技術動向研究センターにて再構成

6 まとめ

これまでの日本は、リチウム二次電池技術の優位性を確保してきた。しかし近年、韓国および中国企業のリチウム二次電池の販売世界シェアに占める割合が急激に増大してきている。二次電池搭載車の急速な普及に伴う自動車需要だけを考えてもリチウム粗原料の需要が急伸することはほぼ確実であり、今後も日本企業が世界をリードしていくにはリチウム粗原料の安定確保が不可欠である。資源保

有国の資源政策を十分理解したうえで、政府および民間の両者でリチウム資源獲得活動を計画的に強化していく必要がある。資源産出国の資源政策、寡占的な生産企業、リチウム粗原料の価格推移などの動向を注視し、リスク回避の上から特定の資源国に過度に依存する割合を下げて、輸入先を分散化することが望まれる。

研究開発としては、中期的にはかん水系資源からのリチウム製造

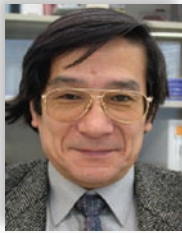
プロセスの期間短縮化技術が、長期的には海水から金属リチウムを回収する技術や分離膜技術が重要になる。もし、海水からの金属リチウムを回収する技術が実用化できれば、資源産出国の資源ナショナリズムに影響されないリチウム粗原料の確保が可能となる。また、金属リチウムを使用しない二次電池の研究開発にも注目していくべきであろう。

参考文献

- 1) 河本 洋、「自動車用高出力・大容量リチウムイオン電池材料の研究開発動向」、科学技術動向 2010 年 1 月号、No.106、p.19-33
- 2) 本田技研工業 (株) 社長会見資料 (2010) : <http://www.honda.co.jp/news/2010/c100720a.html>
- 3) 「次世代自動車戦略 2010」、経済産業省、(2010 年 4 月 12 日公表)
- 4) 小川計介、「2020 年には新車の 50% が EV/HEV」、日経 Automotive Technology、(2010) : <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/TOPCOL/20100413/181819/?ST=NAT>
- 5) 「NEDO 次世代自動車用二次電池技術開発ロードマップ 2008」 : http://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/other/FA/nedooothernews.2009-05-29.2374124845/30ed30fc30de30c389e38aacP_516c958b7248518d65398a027248_.pdf
- 6) 阿部幸紀・大野克久、「Lithium Supply & Market 2009 報告 (その 1)」、JOGMEC 金属資源レポート、09-02 号、(2009)
- 7) 大野克久、「リチウムの資源と需給—Lithium Supply & Markets Conference 2009 (LSM' 09) 参加報告—」、JOGMEC カレント・トピックス、09-21 号 (2009)
- 8) 河本 洋、「希少金属資源に関する我が国の採るべき方策」、科学技術動向 2007 年 7 月号、No.79、p.25-39
- 9) 浦辺徹郎、NISTEP 講演会「海底希少金属資源の開発と我が国の戦略」資料、(2007)
- 10) USGS Mineral Commodity Summaries 2010

- 11) 阿部幸紀、「レアメタルシリーズ 2010 —リチウム資源の現状—」、JOGMEC 金属資源レポート、(2010)
- 12) 大野克久、「チリの 2009 年リチウム生産・輸出動向及びリチウムに関する法制度の現状について」、JOGMEC カレント・トピックス、10-21 号 (2010)
- 13) 「鉱物資源マテリアルフロー 2009」、JOGMEC :
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/jouhou/material/2009/mineral_resource.pdf
- 14) “United Nations Commodity Trade Statistics Database” ; <http://comtrade.un.org/>
- 15) 関本真紀、「レアアース、インジウム、ガリウム、リチウムの需給状況等」、JOGMEC 資料 :
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/090304/briefing_090304_3.pdf
- 16) 「リチウム権益—世界で争奪戦—」、日本経済新聞 (2010 年 7 月 15 日)
- 17) 「チリのリチウム採掘規制で議論沸騰」、Metal Research Bureau ニュース (2010 年 8 月 12 日) :
<http://mrb.ne.jp/newscolumn/3008-1.html>
- 18) 「中国有色金属協会—リチウム産業分会を設立—」、Metal Research Bureau ニュース (2010 年 8 月 27 日)
- 19) Metal Research Bureau ニュース (2010 年 4 月 26 日) ; <http://mrb.ne.jp/newscolumn/3096-1.html>
- 20) 「やはり韓国に先を越されたボリビアのリチウム開発権益—韓国の実行力伴う資源戦略が実る—」、Metal Research Bureau ニュース、(2010 年 8 月 28 日) :
<http://mrb.ne.jp/newscolumn/3096-1.html>
- 21) 「中央日報—韓国・ボリビア、リチウム協力委を構成—」:
<http://japanese.joins.com/article/article.php?aid=132479>
- 22) 「エネルギー基本計画」、経済産業省 ; <http://www.meti.go.jp/press/20100618004/20100618004-2.pdf>
- 23) 「ボリビアでリチウム開発—日本勢が先行—」、日経新聞 (2010 年 11 月 10 日)
- 24) 「モンゴルとリチウム開発—大容量電池向け・政府、安定調達狙う—」、日経新聞夕刊 (2010 年 12 月 1 日)
- 25) 「米国ネバダ州でリチウムの共同探鉱契約を締結」、JOGMEC NEWS RELEASE、(2010 年 6 月 11 日) :
http://www.jogmec.go.jp/news/release/docs/2010/pressrelease_100611.pdf
- 26) 「Galaxy Resources 社、三菱商事 (株) と炭酸リチウムのオフテイク契約締結」、JOGME ニュース・フラッシュ :
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/news_flash/10-08.html#19
- 27) 「アルゼンチン・オラロス塩湖でのリチウム資源開発に参画」、豊田通商 (株) News Release :
<http://www.toyota-tsusho.com/data/current/detailobj-794-datafile.pdf>
- 28) 「伊藤忠商事、安定確保を目指して米国のリチウム資源開発会社に資本参加」:
<http://eco.nikkeibp.co.jp/article/news/20100706/104167/>
- 29) 「エコカー用二次電池の主材料の安定確保に向けてカナダリチウムコープ社から、リチウムの独占的マーケティング権利を取得」、三井物産 (株) ニュースリリース :
http://www.mitsui.co.jp/release/2009/1189710_3576.html
- 30) 阿部幸紀、「塩湖かん水からのリチウム生産の現状」、JOGMEC 資料 :
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/koenkai/090730/briefing_090730_6.pdf
- 31) 「海水の科学と工業」、東海大学出版会、(1994)
- 32) 吉塚和治、「海水からの実用的リチウム回収技術」、21 世紀 COE プログラム「海洋エネルギーの先導的利用科学技術の構築」成果発表会資料 :
<http://chemeng.env.kitakyu-u.ac.jp/research/Lithium.pdf>
- 33) 「海水からリチウムを抽出・佐賀でプラント本格稼働」:
<http://www.47news.jp/CN/200404/CN2004041701000022.html>
- 34) 岩本雄二・河本 洋、「ナノ多孔質セラミックス分離膜の研究開発動向」、科学技術動向 2009 年 2 月号、No.95、p.20-33
- 35) 「新しい構造の高性能リチウム—空気電池を開発」、産業技術総合研究所、(2009) :
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20090224/pr20090224.html

執筆者プロフィール

**河本 洋**

科学技術動向研究センター 客員研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士、日本機械学会フェロー。トヨタ自動車(株)にて自動車部材の開発段階における強度設計・評価を担当し、その後(財)ファインセラミックスセンターにて経済産業省関連プロジェクト(ファインセラミックスの研究開発など)に従事。2006年から3年間、科学技術動向研究センター特別研究員。現在は名城大学非常勤講師。専門は構造部材の強度設計と信頼性評価技術。

**玉城 わかな**

ナノテクノロジー・材料ユニット
科学技術動向研究センター 研究員
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

沖縄県出身。大学院修士課程修了後、企業勤務、大学での研究生生活を経て現職。10代より地元の使用済自動車不適正処理問題に強い関心を持ち、大学時代から一貫して鉄をはじめとする金属資源循環の統計調査に携わる。その調査の中で出会った面白い材料に自身が感動し、現在は素晴らしい材料研究をその「わくわく感」を失うことなく伝えたいと考えている。