

京都陶磁器業界におけるリチウム系原料課題の調査

材料・素材技術グループ 荒川 裕也、高石 大吾、鈴木 芳直

要旨

近年、様々な産業分野で資源問題が増えており、伝統産業業界にも原料供給等の問題は顕在化しつつある。リチウム系原料は、陶磁器業界において釉薬の低融点化や素地の耐熱性強化など機能性向上に欠かせない原料として一部利用されているが、価格高騰及び供給不安などの資源リスクを抱えている。本稿では、リチウム系原料の価格高騰及び供給不安に至った背景と陶磁器業界におけるリチウム系原料の利用用途及び代替技術等について調査した結果を報告する。リチウム系原料問題は、直接的には、リチウムイオン電池を搭載する電気自動車 (EV) 需要の急拡大に伴う供給逼迫によるものであるが、背景には複数の国際情勢が絡み合っている。また、陶磁器業界におけるリチウム代替は、容易ではないものの技術開発が進められている他、炭酸リチウムの新たな供給源として、未利用資源の開発やリチウムイオン電池リサイクル技術の確立などが期待されている。

キーワード：陶磁器、釉薬、伝統産業、原料問題、希少資源、リチウム系原料、サプライチェーン、SDGs

1. 緒言

近年、様々な産業分野で資源問題が話題に上ることが増えている。新型コロナウイルス流行下における海外物流トラブルや、国際情勢の変化による供給不安等、原因は様々であるが、どのようなモノを作るにも原料たる資源が必要であることから、ものづくり産業全般において、その危機感は根強く、伝統産業業界にもその影響が波及しつつある¹⁾。

そうした伝統産業とも関連のある資源の一つに、リチウム系原料がある。リチウムイオンバッテリーの主要原料としてよく知られる同資源は、特に近年、異様な価格高騰や入手難・供給不安が課題となっている^{2、3)}。陶磁器業界においては、リチウム系原料を広く使用している萬古焼産地が対応に乗り出した⁴⁾ほか、京焼・清水焼業界においても、関連する問い合わせが増えている状況にある。陶磁器業界において原料資源問題が持ち上がることは過去にもあったが^{5、6)}、本件は、事態の展開が急激であることや、原因が海外かつ異業種にあることから、業界内においても情報が錯綜しており、関係者の不安を呼んでいる。

本稿では、陶磁器業界に起きているリチウム系原料の価格高騰及び供給不安が生じた背景と、その影響を受ける陶磁器産業のリチウムの利用用途及び対策となりうる代替手法について調査した結果を報告する。

2. リチウム系原料の供給不安と価格高騰の背景の調査

広く知られているとおり、リチウム資源の高騰の最大

の原因は、リチウムイオンバッテリーを搭載する電気自動車 (EV) の急激な需要拡大である。しかし、その背景には、先進国における環境問題への関心の高まりや、リチウム資源国による供給の制限なども影響している。本項では、これらについて報告する。

2.1 環境問題への関心の高まりによる世界的EVシフトの発生

近年、主に先進国において、人為行為による地球環境の変化に対する関心が高まっており、SDGs (Sustainable Development Goals/持続可能な開発目標)、あるいはESG (Environmental, Social, Government) 等に代表される環境保護運動が盛んに取り上げられている。特に温室効果ガスによる地球温暖化問題への関心は高く、SDGsにおいては、化石燃料から発生する二酸化炭素 (CO₂) を削減することが、13ある重要目標の一つとして明記されている。このような流れの中で、化石燃料を大量消費する身近な存在として、従来型自動車 (化石燃料車) が問題視されるようになったことが、世界的なEV化の流れが生じた一つのきっかけとされる。特に環境意識が強いとされる欧州や米国、あるいはEV化による国内自動車産業の育成を企図する中国においては、最終的に国内の化石燃料車を全廃するという強い方針が打ち出されている^{7、8)}。同時に、大規模な補助金政策も実施されたことで、EVは瞬く間に躍進を遂げることとなった。国際エネルギー機関 (IEA) の調査によれば、2018年は2%程度であった全世界のEVの販売割合は、

2023年には18%に到達しており⁹⁾、ここ数年に急激な市場変化が起きたことが分かる。

2.2 バッテリー用リチウム資源の供給不安による価格高騰と、資源関連国による囲い込み

EV用車載電池は、現在ではエネルギー密度に優れるリチウムイオンバッテリーが主流となっており¹⁰⁾、その生産にはリチウム資源の確保が必須となる。リチウムは、潜在埋蔵量としては十分に存在しているとされるが、そのほとんどは海水中に回収困難な超低濃度成分として存在しており、これを経済的に利用できる技術は未だ確立されていない¹¹⁾。このため、実際に使用されているリチウム資源の多くは、地殻変動と自然蒸発により海水が濃縮された塩水湖（塩湖）と、リチウムを含有する鉱石（ペタライト等）から精製されたものである¹²⁾。いずれの資源も、世界的に見てもごく少数の地域のみ偏在しており¹³⁾、他のレアアース・レアメタル資源と同様に、供給の不安定さが指摘されている。EVによるリチウム資源需要の急増が生じ、供給が慢性的に不足すると予想されたことが、資源価格の高騰のきっかけになったとされる。また、価格高騰を受け、主要リチウム資源保有国の一部が資源の国有化に踏み切るとの報道や¹³⁾、最大需要国である中国の関連企業が資源鉱山の買収を行っている事例も明らかになり¹⁴⁾、囲い込みによる供給途絶への懸念から、さらに高騰に拍車がかかる状況が続いていたものと考えられる。

2.4 近年の動向

極端な高騰を見せていたリチウム価格であるが、図1に示すように、執筆時点の国内輸入価格は、最高騰時の1/2程度まで下落しているようである¹⁵⁾。これは、全世

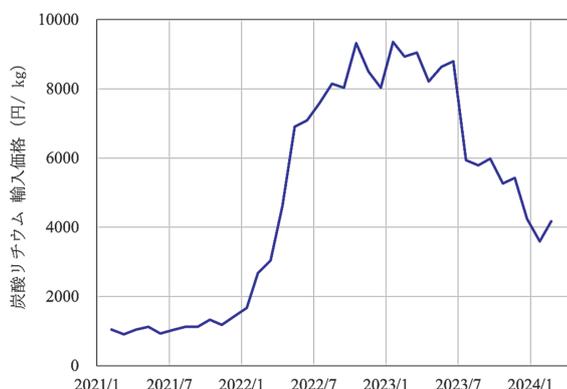


図1 炭酸リチウム国内輸入価格の推移
(財務省 貿易統計より作成)

界のEV需要の半分を占める中国において、EVに対する購入補助金政策が終了したため、同国のEV需要が後退すると予想されたことが主な要因と考えられている¹⁶⁾。また、国際情勢の変化を受け、これまでEVシフトを推進してきた欧州・米国においても、EV関連政策の方向性に変化が見られるとの指摘もある¹⁷⁾。リチウム需要を牽引してきたEVシフトにブレーキがかかったことにより、リチウムの価格は一旦の落ち着きを見せている。ただし、前述のように、EVの需要動向は各国の政策に強く依存しており、国際情勢次第では、同様の高騰が再発する可能性もあることには、注意が必要と考えられる。

3. 陶磁器業界におけるリチウム系原料用途の調査

リチウム系原料は、日本の陶磁器業界において伝統的に使われていた素材ではないが、近代における技術開発の流れの中で、新たな原料素材として使用されている。ただ、釉薬と素地の境界部で異物を作ることがある等、取扱いに注意が必要な部分があることや、供給元が偏在しているなどの懸念もあり、陶磁器業界全体としては、広く使われる状況には至っていない。一方で、一部用途においては非常に優れた性質を示すことが知られており、それらの用途においては、製造に欠かせない素材となっている。本項では、そのようなリチウム系原料の利用用途について報告する。

3.1 釉薬（ガラス修飾）用途

リチウムは、工業用ガラスの分野においては、熔融温度や粘性を低下させる成分としてよく知られている¹⁸⁾。科学的にはガラスに分類される釉薬においても、化学的特性の制御や色彩調整のため、他の低融点化元素と共に添加されることがある。

陶磁器分野における低融点化成分としては、鉛（Pb）元素が古くから知られており、海外産地も含め様々な釉薬に使用されてきた歴史がある¹⁹⁾。しかし、近年になり、鉛成分の摂取が人体に悪影響を及ぼすことが判明したことから、世界各国において、食器用途等における鉛の使用を規制する流れが生じている^{20, 21)}。日本以上に厳しい規制を行う国もあり²¹⁾、鉛を使用した釉薬は、陶磁器製品を海外輸出する際に障害になることも懸念されている。国内においては食品衛生法における鉛の溶出基準の改正に対応するため、各産地において、鉛を含まない代替釉薬（無鉛化釉薬）が検討されてきている。京都市産業技術研究所（旧：京都市工業試験場）においても、無

鉛化釉薬の開発を行い²²⁾、「京無鉛楽フリット」を製品化している²³⁾。このフリット（合成ガラス粉末）は、京都の伝統的な陶磁器の一つである楽焼（図2）の釉薬において使用されることを主眼に置いたものであり、楽焼の焼成技法に合わせた低融点化と、冷却割れ防止のための熱膨張制御、そして飲食用としての化学的耐久性（耐酸・耐アルカリ性）を全て満たすところに優れた点がある。本フリットには、各種特性制御のために、リチウム成分が少量加えられており²⁴⁾、本釉薬が実用化できたのはリチウム系原料資源の恩恵と言える。

その他、リチウムを含む釉薬としてよく知られているものに、トルコ青と呼称される青緑色系釉薬（図3）がある²⁵⁾。宝石のターコイズ（トルコ石）に似た発色を示す釉薬で、空の青や海の青を彷彿させる鮮やかな色彩から、人気の高い釉薬である。同釉薬には、釉薬中のリチウム成分を他の金属元素成分に代替した上で組成を再調整した類似系統も存在するが、図3のように、色彩に若干の差異が生じるため、現在でもリチウムを用いた釉薬も使用されている。また後述する耐熱食器・土鍋に使用される釉薬にもリチウム原料が60～75%利用されている²⁶⁾。

3.2 素地用途

リチウムの陶磁器素地（陶土）向けの用途として最も著名なものは、耐熱土鍋等に用いられるペタライト系耐

熱陶土である²⁷⁾。この陶土は、リチウム鉱石の一種であるペタライトを配合したもので、焼成物が非常に高い熱衝撃耐久性を持つことで知られている。これは、ペタライトを焼成した際に生成するβ-スポジューメン固溶体と呼ばれる結晶鉱物がマイナスの熱膨張率を持ち、素地全体の熱膨張を大きく低減することに由来する²⁸⁾。一般に、陶磁器製品は、素地が低熱膨張であるほど熱衝撃ダメージに強いとされており、ペタライト系耐熱陶土で製造された製品は、他の陶土では即座に破損する直火炊きのような急熱・急冷条件下においても、安定して使用できる²⁹⁾。上記のような、マイナス熱膨張という特性は、天然原料において発現することは極めて稀であり、フォトニクス、電子工学、構造工学等の分野で様々な応用可能性を秘めていることから、先端工業においても、素材研究開発が活発に進められている³⁰⁾。このように優れた特性を持つペタライトであるが、一方で、上述のように原産地に偏りがあり、資源鉱山が買収される事例も起きている¹⁷⁾ことから、今後の供給が危惧されている。

4. リチウム系原料問題に対する代替手法の調査

リチウム資源の供給不安は以前より危惧されており、様々な方向性の代替手段が検討されている。本項では、陶磁器分野での利用を念頭に、新たな供給源の可能性及び代替技術に関して報告する。

4.1 未利用資源の探索

工業用のリチウムの原料資源としては、採掘量やコストの関係から上述の塩湖およびリチウム鉱石が主流であるが、リチウムを含む資源は他にも存在しており、それら未利用資源を探索し、取り入れることは有効と考えられる。特に陶磁器分野においては、先端工業分野と比べて不純物の許容量が大きいことから、資源価値の低い低純度原料をそのまま用いることができる点は、有利と言える。ただし、近年では、Li₂O含有量4%程度のリチウム鉱石（ペタライト）³¹⁾ですら重要資源とみなされる状況になっており、選択肢が狭まりつつあることは留意すべきと考えられる。

4.2 リサイクル原料の利用

リチウム原料の供給不安および価格高騰により、リチウムのリサイクル技術にも注目が集まっている。資源保有国に依存せずリチウム原料の生産が可能になることや、EV用途に使用された大量のリチウムイオンバッテ



図2 楽焼茶碗の例

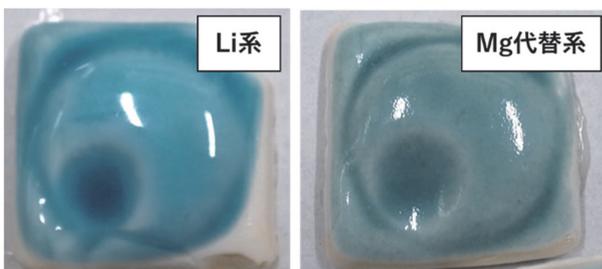


図3 トルコ青系釉薬の例（テストピース）

リーが順次廃棄されていくことから、今後、市場が伸びていく可能性は高い³²⁾。2023年8月に施行された欧州電池規則（EUバッテリー規則）では、リチウムの再資源化率を2027年までに50%、2031年までに80%を目指すとの目標が設定されている³³⁾。リチウムイオン二次電池（LIB）からリチウム等の金属を高純度で回収するための研究が活発に行われているが、製錬を基盤とする回収技術ではリチウムの回収が困難という問題がある。国内においては、炭素等を還元剤に用いる手法が産総研により検討されている³⁴⁾。一方で、資源価格がリサイクルコストを超えるような価格高騰状態の継続が前提となることや、購買力の大きいバッテリー分野に優先的に供給される可能性が高い点には、注意が必要と考えられる。また、リサイクル原料であることから、釉薬等の着色や素地の緋色の原因となるような各種不純物元素を含有する可能性があることにも留意する必要がある³⁵⁾。なお、ペタライト系陶磁器の主要産地である萬古焼産地では、同製品の廃棄品を粉碎（シャモット化）して、原料として再利用することが検討されている³⁶⁾。このようなローカルなリサイクル原料を用いた地産地消型の取り組みも、今後拡大していく可能性がある。

4.3 代替素材の開発

先行きの見えない資源問題の根本的な解決策として、リチウム資源を用いない代替素材を開発するという方向性もある。例えば、萬古焼産地においては、ペタライトの代替素材の検討が以前から行われており、同様に素地の熱膨張を低下させる効果のあるコーージェライト²⁸⁾や溶融石英等³⁷⁾が候補として挙がっている。ただし、代替素材開発は、既存素材が持つ多くの特性をバランス良く再現しつつ、コストも抑えることが必要となるため、技術的難易度は高い。リチウム系素材が特に優れた性質を有していることも代替を困難にしている。現在、萬古焼産地においては、①ペタライトの使用量を半分程度に減らす生産方法の確立、②ペタライトに代わる原料の開発、③廃棄される土鍋をリサイクルする3つの原料不足対策が検討されている³⁸⁾。

5. 結言

リチウム資源の高騰及び供給の不安定化は、直接的には、EV需要の急拡大に伴うリチウム原料の供給逼迫によるものだが、背景には、環境問題への関心の高まりや、各国の政策動向、資源国の思惑といった複数の事情が絡み

合っている。現在は、リチウム価格は小康状態となっているが、国際情勢次第では、再度高騰する可能性もある。

陶磁器分野において、リチウム系原料は、釉薬の低融点化や素地の耐熱性強化など、一部用途においては欠かせない素材として用いられている。

代替技術については、リチウム問題の広がりを受けて各分野で研究開発が加速しており、今後有効な技術が開発される可能性もある。

なお、陶磁器分野においては、本稿で述べたリチウムのような希少資源以外にも、基礎原料である粘土の枯渇懸念^{5、6)}や、製作に用いる道具類の供給不安³⁹⁾など、多くの問題が生じている。このような問題は京都の他の伝統産業においても発生しており^{40、41)}、先端産業におけるサプライチェーン問題に類似した状況が、伝統産業分野においても顕在化し始めていることが伺われる。今後も伝統産業を持続可能なものとしていくためには、原材料等について、広い視野で情報収集を行うとともに、先回りで代替技術の開発・検討に取り組んでいくことが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木芳直 他：京都市産業技術研究所 研究報告, No. 9, p. 48-50, (2019)
- 2) “リチウム最高値、昨年末の2倍に 中国EV向け急拡大”, 日本経済新聞, 2022-10-27, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUB272M10X21C22A0000000/>
- 3) “EV急増で供給追いつかず…「電池向け金属」高騰、中国リチウム5倍高”, 日刊工業新聞, 2022-5-3, <https://newswitch.jp/p/32012>
- 4) “「萬古焼」 原材料確保へ一見知事が国に支援を要望”, NHKニュース, 2023-10-23, <https://www3.nhk.or.jp/lnews/tsu/20231023/3070011562.html>
- 5) “岐阜・美濃焼、粘土枯渇の危機 新たな採掘地探る”, 日本経済新聞, 2018-9-24, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO35639820R20C18A9ML0000/>
- 6) 田口肇 他：京都市産業技術研究所 研究報告, No. 11, p. 41-44, (2021)
- 7) (独法) 日本貿易振興機構：“EU、2035年の全新車のゼロエミッション化決定、合成燃料に関する提案が焦点に”, 日本貿易振興機構 ビジネス短信, 2022-10-31, <https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/10/5537b3d18e6e2315.html>
- 8) (独法) 日本貿易振興機構：“調整期を迎えた中国

- NEV産業、政策転換は市場拡大前の2020年”，日本貿易振興機構 地域・分析レポート，2023-12-4，<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/1201/71e72eba5037b468.html>
- 9) International Energy Agency：“Global EV Outlook 2024”，International Energy Agency，<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-electric-cars>
- 10) (独法) 日本貿易振興機構：“EVとともに急成長する中国の車載電池メーカー 海外でも攻勢強める”，日本貿易振興機構 地域・分析レポート，2023-12-4，<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/1201/1ec2c953da174cd6.html>
- 11) 吉塚和治：日本海水学会誌，70，p. 347-353，(2016)
- 12) (独法) エネルギー・金属鉱物資源機構：“リチウム生産技術概略－現状および今後の動向－”，エネルギー・金属鉱物資源機構 報告書&レポート，2019-3-29，<https://mric.jogmec.go.jp/reports/mr/20190329/112230/>
- 13) 北野浩一：ラテンアメリカ・レポート，Vol. 41，No. 1，p. 42-58，(2024)
- 14) (独法) エネルギー・金属鉱物資源機構：“中国：中鉱資源，ジンバブエBikitaリチウムプロジェクトを買い取り”，エネルギー・金属鉱物資源機構 ニュース・フラッシュ，2022- 2-15，https://mric.jogmec.go.jp/news_flash/20220215/166034/
- 15) 財務省：貿易統計，2024-3
- 16) “リチウム独歩安，EV電池材「席卷」の反動”，日本経済新聞，2023-3-28，<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUB212OB0R20C23A3000000/>
- 17) “欧州EV補助に転機 独仏で停止・縮小，中国攻勢を警戒”，日刊工業新聞，2023-12-18，<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGR180IT0Y3A211C2000000/>
- 18) 作花済夫：“ガラス科学の基礎と応用”，p. 50，内田老鶴圃，(1997)
- 19) 弓場紀知：国立歴史民俗博物館研究報告，94，p. 353-369，(2002)
- 20) 平成20年 厚生労働省告示 第416号
- 21) 日本貿易振興機構：“食器の現地輸入規則および留意点：米国向け輸出”，日本貿易振興機構 貿易・投資相談，<https://www.jetro.go.jp/world/qa/04A-041131.html>
- 22) 高石大吾：NEW GLASS，Vol. 35，No. 130，p. 19-23，(2020)
- 23) 横山直範 他：京都市産業技術研究所 研究報告，No. 3，p. 121-123，(2013)
- 24) 特開2014-201477
- 25) 樋口わかな：“やきものの科学 粘土・焼成・釉薬の基礎と化学的メカニズムを知る”，p.9-10，誠文堂新光社，(2021)
- 26) 中根慎護：セラミックス，44，No. 3，p. 198，(2009)
- 27) 谷口弘明，新島聖治：三重県工業研究所 研究報告，No. 43，p.8-13，(2019)
- 28) 伊藤隆 他：セラミックス，52，No. 9，p. 602-605，(2017)
- 29) 萬古陶磁器工業協同組合：“よくわかる四日市萬古焼読本”，p. 5，萬古陶磁器工業協同組合，(2010)
- 30) 竹中康司：粉体および粉末冶金，70，p. 361-370，(2023)
- 31) 阿部幸紀：金属資源レポート，40，No. 2，p. 173-186，(2010)
- 32) 橋本英喜：廃棄物資源循環学会誌，33，No. 3，p. 188-195，(2022)
- 33) (独法) エネルギー・金属鉱物資源機構：“EU：欧州委員会，改定バッテリー規制を採択”，(独法) エネルギー・金属鉱物資源機構 ニュース・フラッシュ，2023-9-1，https://mric.jogmec.go.jp/news_flash/20230901/178907/
- 34) 粕谷亮：化学，78，No.860，p33-35，(2023)
- 35) 所千晴：廃棄物資源循環学会誌，33，No. 3，p. 181-187，(2022)
- 36) 林茂雄 他：三重県工業研究所 研究報告，No. 44，p. 139-147，(2019)
- 37) 特開2019-137605
- 38) “萬古焼 鉱石不足対策へ 県施策「3本の矢」使用量減，代替原料など研究”，読売新聞，2024-1-28，<https://www.yomiuri.co.jp/local/mie/news/20240127-OYTNT50187/>
- 39) “有田，伊万里焼職人「困った」 絵付け筆，半世紀供給の業者廃業 シェア5割超，代替品探しに苦心”，佐賀新聞，2022-11-16，<https://www.saga-s.co.jp/articles/-/948141>
- 40) 井内俊文 他：京都市産業技術研究所 研究報告，No. 13，p 39-40，(2023)
- 41) “西陣織機に新コントローラー 京都技研，事業継続に向け フロッピー枯渇に対策”，日本経済新聞，2024-1-16，<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO77677160V10C24A1LK000/>

