

車載電池リサイクルビジネスは競争優位に繋がるのか。 —— 循環型ビジネスに向けた CATL の取り組みと戦略的な意味 ——

李 博文
具 承 桓

1. 問題意識と背景

本研究の目的は、「なぜ CATL（寧徳時代）がリサイクル事業に取り組むのか、また CATL はいかにして車載電池リサイクルビジネスを通じて競争優位性を確立し、持続可能な生産体制を構築しているのか、その戦略的意図と効果は何か」について分析することである。

電気自動車（EV）市場の急速な成長に伴い、車載電池の生産と使用が飛躍的に増加している。これに伴い、廃棄された車載電池の処理問題も急速に注目されている。廃棄車載電池が適切に処理されない場合、重金属や電解液が流出し、土壌や水質汚染を引き起こす恐れが高い。そのため、各国政府は電池の回収と再利用を義務づける厳しい環境保護政策を打ち出している。EV 普及が進んでいる今日、車載電池の回収ビジネスは、資源の効率的利用、環境保護、そして産業持続可能性の観点から重要な役割を果たす産業として生まれつつある。

特に、車載電池の場合、リチウム、コバルト、ニッケルなどの主要物質で構成されており、これらの鉱物は希少な原材料（レアメタル）である。そのため、経済的な側面からみても車載電池のリサイクルと再利用の重要性が増す。これらの金属は限られており、価格の変動が大きい鉱物である。そのため、車載電池の原価に占める割合も高く、製造コストに大きく影響する。したがって、廃棄された電池からこれらの貴重な金属を回収することで、新しい資源への依存を減らし、電池生産コストを削減することができる。このような背景の中、車載電池のリサイクル事業への関心も高まっている。

車載電池リサイクルビジネスへの関心の高まりは、循環型経済の実現という社会的なミッションや企業に課せられている責務などの観点からでも重要視されている。また、地政学リスクの増大するにつれ、車載電池の大半の原材料が中国やコンゴなどの一部の国に偏在していることから、天然資源の供給不足が予測される国では、自動車産業に力を入れている国や企業から見ると、車載電池リサイクルビジネスはその重要性を増すことになる¹⁾。

しかしながら、車載電池リサイクルは、その回収、分解、再利用といった一連のプロセスを「経

1) 地下資源の偏在や埋蔵地域については、Yergin（2020）が参考になる。

「経済効率性」を確保しなければビジネスとしての意味がないのである。また、そのプロセスには、部品を供給する車載電池メーカー、EV メーカー、販売業者、消費者、中古市場（再販売）など多様なプレイヤーなどが関係する。社会的には、だれが車載電池の回収責任や仕組みの整備の役割と責任を負うかを決めなければならない。そのため、日本では、自動車産業のエコシステムの中核を担っている自動車メーカーが、生産から廃棄、さらにリサイクル&リユースまでのトレーサビリティを確保することが課題とされている²⁾。また、技術的にも、電池リサイクルはそう簡単ではない。日本では、廃棄物学会などを中心に研究が進んでおり、環境省は2018年に「CO2型リサイクル等設備技術実証事業」より、リチウムイオンバッテリー（LIB）のリユース・リサイクルの事例（太平洋セメント、中部電力、豊田通商など）を紹介している。

欧州連合（EU）では、2024年より電池のライフサイクル全体にわたる情報の透明性と追跡可能性を向上させることを目指す「バッテリーパスポート制度」が導入されている。この制度は、産業用および電気自動車（EV）用の2kWhを超える電池を対象としており、EU内で使用される輸入品も含まれる³⁾。この制度の導入により、原材料の採掘から製造、使用、そしてリサイクルやリユース、最終的に廃棄に至るまでの全バリューチェーンの情報を統一されたデジタルプラットフォーム上で管理し、各段階の透明性の確保が容易になる。電池にQRコードを貼り付けることで、消費者や関連事業者が、簡単に当該バッテリーに関する情報にアクセスが可能になるのである⁴⁾。その点で、電池の回収を含むリサイクルビジネスは、選択の問題ではなく必須かもしれないし、社会的にもその意義は高いと思われる。特に、EVが本格的に普及し始めてからほぼ10年近くになっている今日、電池の回収・リサイクル問題は環境かつ社会的面において必要不可欠なものとなる。

EV普及台数が多い、中国では車載電池リサイクルビジネスが徐々に本格化している。世界最大の車載電池メーカーであるCATLは、すでに、2015年に広東邦普循環科技有限公司（Guangdong Brunp Recycling Technology Co., Ltd.；以下、GBRT）を買収し、車載電池回収分野に戦略的な取り組みを行っている。CATLが車載電池リサイクルビジネスに参入する理由は、いくつかの仮説が考えられよう。

第1に、GBRTの買収によって、サプライチェーンの前方統合とともに後方統合を同時に行うことができ、川上から川下までの車載電池サプライチェーンを統合的に把握運用できる首尾一貫性のある体制構築ができるようになる。そこから資源効率の向上や原材料の軽減、サプライチェーンの安全性確保などのメリットが享受できると思われる。第2に、循環経済モデルの促進効果と企業価値創造、そしてブランドイメージ向上を図るためである。CATLのGBRT買収により、車載電池の回収、分解、リサイクルを担うことで、循環経済の推進に大きく寄与でき、EVを軸とする自動車産

2) クロマづくりコラム (<https://www.keyence.co.jp/ss/general/automotive-manufacturing/002/index2.jsp>, 閲覧日：2024.12.5.)

3) デクセリアルズ株式会社

4) デクセリアルズ株式会社

業の持続可能性の実現にも貢献でき、企業イメージやブランド、企業価値の向上につなげるからである。これらのことを実現し、その効果を内部化しようとしたら、事業システムやオペレーションの効率性が発揮できないと当該ビジネスを継続的に行うことは困難になる。

そこで、本研究ではケーススタディを通じて、「なぜ CATL がリサイクル事業に取り組むのか。また CATL はいかにして車載電池サイクルビジネスを通じて競争優位性を確立し、持続可能な生産体制を構築しようとするのか、その戦略的意図と効果について分析を試みる。加えてリサイクルと循環経済における車載電池リサイクルの重要性と、CATL の成長戦略（コストリーダーシップ、原材料面の安定供給、海外進出のための SDGs）とどのような関係性があり、どのような効果があるのかについても考察する。これらの分析を通じて、CATL にとって、車載電池リサイクルビジネスが、車載電池分野における競争優位性の維持・拡大につながるのか、という点に関して考察を加える。なお、本研究は主に 2 次資料とデータを用いる。

2. 先行研究レビュー

2.1 循環型経済理論に関する研究

循環型経済（サーキュラーエコノミー）への関心は、2015 年の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」によって一層関心が高まることになった。資本主義社会のシステムの根本的な問題から生まれる作りすぎと資源の有効利用を通じて、廃棄物をゼロにすることで、地球温暖化と地球環境の回復を狙う取り組みである。この活動は、企業の成長と環境保護を両立させるフレームワークを提供する（Ghisellini et al., 2016）。これに基づき、資源回収、リサイクル、再利用を含むクローズド・ループ型モデルが注目される。クローズド・ループとは、「従来の「Take（資源を採掘して）」「Make（作って）」「Waste（捨てる）」というリニア型経済システムのなかで活用されることなく「廃棄」されていた製品や原材料などを新たな「資源」と捉えて、循環させること」⁵⁾である。その点でクローズド・ループはサーキュラーエコノミーの根本的な概念である。たとえば、自然エネルギー、食ロス、衣服リサイクル、プラスチックの回収・リサイクル等などがクローズド・ループモデルを目指すものとして最近注目を浴びている。

循環型経済は、資源の効率的利用を強調する経済モデルとして、特に動力電池のリサイクルは、希少な金属資源の再利用に役立つ。リサイクルが原材料コストの削減や環境負荷の軽減に繋がる。循環型経済の 3R（リデュース、リユース、リサイクル）戦略を集約できるが、サプライチェーンに参加する企業やその企業間の関係性などによって、全体をコントロールすることは極めて困難な問題である。その点で、サプライチェーン全体にわたって統合的な観点から、活動を有機的に管理することによって、実現可能性は高まる。しかしながら、企業間活動や具体的な実践例の詳細な分析は

5) <https://ideasforgood.jp/glossary/closed-loop/>

あまり見当たらない。この点で、既存企業が循環型ビジネスへと転換するための、取り組みを持続的に行うことは容易ではない。Centobelli ら (2020) が指摘するように、循環型社会を考える際、戦略管理、業務管理、技術管理という側面から見る必要があり、ビジネスモデル（バリューネットワーク、サプライチェーンパートナーとの関係、顧客に対する価値提案など）を設計する必要もある。

一方で、循環経済に対する批判的な立場に立った研究も少なくない。Corvellec, Stowell & Johansson (2022) は、「循環性」に内包されている理論的、実際の、そしてイデオロギー的に疑わしい概念であると主張する。

2.2 サプライチェーンマネジメントと持続可能なサプライチェーンマネジメント (SSCM) :

もし、3Rを実現しようとしたら、サプライヤーチェーン全体を視野に入れた取り組みが必須である。サプライチェーン（供給連鎖）とは、製品が市場の顧客に届くまでの諸活動と調整を行う企業のネットワークを指す (Hugos, 2018)。より厳格に定義すると、企業内及び複数の関連企業に渡って、顧客満足のためのサービスあるいは製品を生産する相互に関連する一連のプロセスである (Krajewski, Ritzman and Malhotra, 2010)。サプライチェーンマネジメント論 (SCM) では、上流から下流までのバリューチェーン全体を効率的に管理することが、企業の競争力を向上させるとされる。従来の SCM は、効率性とコスト削減を重視し、主に効率的な物流ネットワークの構築、サプライヤーとの関係を強化することで競争優位性を確保などに議論されてきた。Stevens (1989) は、サプライチェーン全体を統合的に管理するアプローチを提案し、SCM の現代的なフレームワークの基礎を築いたものとされている。サプライチェーンを「供給者から顧客までの一連の活動」として定義し、それを効率的に管理するために、統合の必要性を強調した。

また、Fisher (1997) は製品の特徴とサプライヤーチェーン戦略との関係性に論じた。彼によれば、主に製品は機能的 (functional) な製品と革新的 (innovative) な製品に分け、その製品特徴が需要（市場）の不確実性と深く関係する。具体的には、機能的製品は「効率性 (efficiency)」が、革新的製品は「市場対応力 (market-responsiveness)」が SCM 戦略の焦点となるとした。このように、従来のサプライチェーン理論は、コスト効率と供給の安定性に焦点をおいて、サプライチェーン全体の統合モデルを提示したが、環境や社会的要素への配慮が欠如しているといえよう。

一方で、環境的・社会的要素の統合性に注目し、サプライチェーンについて論じたのは J. Elkington (1997) の研究からと言っていいだろう。彼の著書『Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business』で、トリプルボトムライン (Triple Bottom Line; TBL) の概念を提唱した。TBL は企業の活動評価を財務的な指標だけではなく、「環境的側面」「社会的側面」「経済的側面」の3つの側面からすべきであるというものである。この概念は持続可能性や企業倫理に関する多くの研究の基盤となり、SCM や CSR (企業の社会的責任) 研究を提唱し、多くの分野で広く採用されている。Beamon (1999) は、環境配慮型サプライチェーン (Green Supply Chain ; GSC) の設計と管理に関する基礎的な研究であり、持続可能性の観点からサプライチェーンを再評価した。

SSCM に関する研究としては、まず Seuring & Muller (2008) が挙げられよう。彼らは、SCM は単にコスト削減や効率性の観点だけでなく、持続可能性の目標を考慮する必要があると主張する。これには、製品やプロセスのライフサイクルによる影響を考慮し、資源消費の低減やサプライチェーンのパートナーの持続可能な実践が求められる。また、Carter & Rogers (2008) は TBL を中心に据え、SSCM の実践を促進するためのフレームワークを提示している。特に、TBL の概念をサプライチェーン全体に拡張し、持続可能な開発の重要性を強調した上で、経済的利益と環境的・社会的目標が競合するものではなく、互いに補完する形で企業の競争優位性を強化できると主張する。また、Carter & Easton (2011) はサプライチェーンにおける持続可能性の統合に関する研究を展開し、SCM がどのように進化してきたのかについて論じている。特に、環境的、社会的、経済的な側面をサプライチェーン戦略に取り入れる重要性が強調されている。さらに、Pagell & Shevchenko (2014) が指摘しているように、SSCM における現状の研究は多くの課題においてあまり進展が見られず、既存のアプローチに過度に依存している。特に、企業が持続可能性と利益を自動的に両立できるという前提のもと、利益と環境・社会的目標の間の対立に十分に注目していないことが課題になっている。

以上の研究では SSCM のフレームワークを理論的な提案などを行っているが、具体的な産業や企業のケーススタディはあまりされていない。そのため、特に実践的な成功要因や障壁などに関する詳細な分析が必要である。

2.3 車載電池リサイクルに関する研究

ここでは、リチウムイオン電池 (LIB) リサイクルに関する研究を簡単に紹介しておこう。Chigbu ら (2024) の研究は、LIB リサイクルの経済的および環境的利点に焦点を当てている。この研究では、リサイクルプロセスが材料コストの削減、雇用創出、そして環境負荷の軽減の観点から有益であることを示している。特に南アフリカを対象としたケーススタディを通じて、地域産業の成長や規制の重要性が強調されている。具体的には、回収された金属 (リチウム、コバルト、ニッケルなど) の再利用が、新たに鉱山から採掘する場合と比較して、コスト効果が高いことが明らかにされている。この研究は、リサイクル技術が環境保護に貢献するだけでなく、経済的にも有益であることを示すものであり、特に鉱山資源の採掘と比較して、リサイクルが持つ優位性を強調している。また、リサイクルプロセスの改善が持つ将来の可能性についても言及しており、持続可能なリサイクル産業の発展に向けた政策の重要性が示されている。

次に、Li et. al (2018) は、リサイクル技術と経済性との関係について、乾式および湿式のリサイクル技術を紹介した上、それぞれの経済的リターンを分析している。具体的にいえば、乾式リサイクルおよび湿式リサイクルにおけるリン酸鉄リチウム (LFP) 電池と三元系電池 (ニッケル・コバルト・マンガンなど) のコストおよび収益を比較した結果、三元系電池は有価金属の含有量が高く、市場での需要も強いいため、湿式リサイクル方式がより収益性が高いことを報告する。そして、LFP

電池のリサイクル収益モデルは、リサイクルプロセスに大きく依存しており、LFPの改善された乾式リサイクル技術は一定のリサイクル利益を得ることができるが、全体的な利益は三元系電池よりも低いと結論付けられている。彼らの計算結果によれば、従来の乾式回収技術を使用して廃棄電池を処理する場合、LFPは1トン当たり993.2元の損失を被り、三元系材料は918.8元の利益を得ることができる⁶⁾。また、改良された乾式回収技術を用いると、LFP電池の処理において2314.8元の利益が得られるため、改良乾式回収技術でのLFP電池処理はより有利であると言える。

また、Wang et. al (2019)は、廃棄された三元リチウム電池のリサイクルが非常に高い経済的性を持っており、湿式回収技術が三元電池の回収に最も適した技術であると述べている。この技術は、国内外のリサイクル企業が主に採用している方法でもあり、実際に商業的に運用されている。

さらに、中国の華安証券(2023)の報告書によれば、廃棄電池に含まれる非鉄金属の含有量は原鉱から採掘される金属の含有量を上回るため、廃棄電池の回収価値は非常に高い。また、感度分析の結果、ディスカウント率が60%である場合、リチウム炭酸塩の価格が1トン当たり5万元増加すると、リサイクルによって得られる鉄リチウム正極板および黒粉の粗利益は1トン当たり0.3万元増加し、リサイクルされたリチウム炭酸塩の粗利益は1トン当たり1.7万元増加するという。リチウム炭酸塩の場合、その価格が10万元/トン以上であれば、鉄リチウムの回収は依然として経済的に成立すると主張している。

ところが、EVの普及台数が多い中国においても、LIBの大規模な廃棄回収までは至っていないのが現状である。したがって、多くの回収処理企業は十分な量の廃棄電池を確保できず、小規模な処理の場合固定費が高く、しばしば利益を上げることが難しい状況にあると思われる。そのため、将来的に規模の経済性を確保が、処理コストの経済性を高めることにつながる。

3. 研究視点と方法

3.1 分析視点と対象

SSCM研究は、急進的なイノベーションを探ること、前提条件を再評価すること、そして持続可能な発展のために供給網全体で必要なシステムの変化を模索することが重要である。車載電池リサイクルビジネスは、環境・社会的目標を達成できるだけではなく、実際に企業にとって競争優位に繋がり、利益が生まれることが持続可能性に欠かせない前提となるはずである。

本研究では、CATLのGBRTの買収を事例として取り上げ、車載電池リサイクルビジネスについて分析し、企業が成長と環境・社会的目標の間でどのようにトレードオフを管理し、持続可能な循環型ビジネスモデルが構築できたのか、そしてその戦略的な意味は何かについて分析する。この研

6) 彼らは、湿式回収技術を使用した場合、1トンあたりLFPは312.0元の損失となり、三元系材料は6355.0元の利益を得ることができる。このため、湿式回収技術を用いた三元材料の回収は、より顕著な利益を得られると報告している。

究は、SSCM の研究に新たな視点を提供し、実際の事例に基づく知見を加えるために非常に有意義な議論にしたい。

車載電池のサプライチェーンにおける位置付けは以下のように示す。車載電池のリサイクルは、サプライチェーンの中の川下の部分に位置する。CATL は、車載電池の川上と川中まで手掛けて垂直統合型ビジネス形態をとっている（李・具、2022）

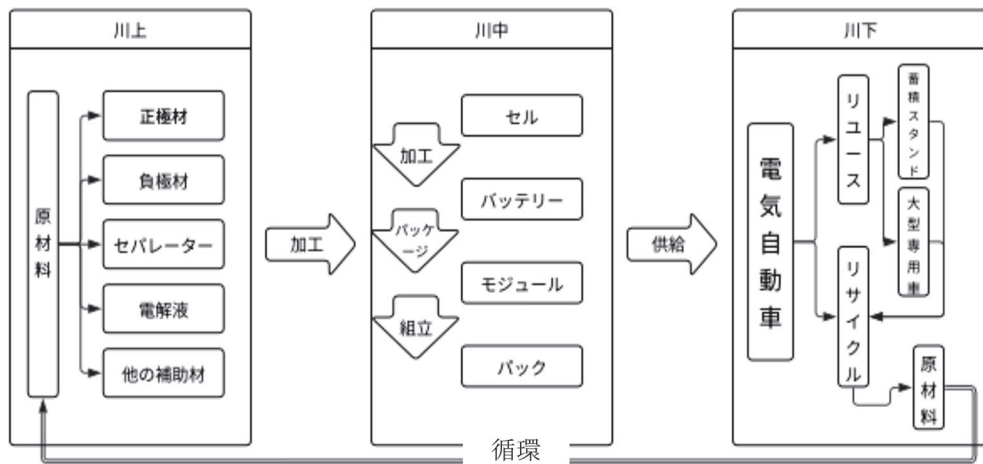


図 1. 車載電池のサプライチェーン

出所：著者作成。

電池メーカーにとって、川上と川下両方ともサプライチェーンにプレッシャーを掛けっている。川上の原材料供給側は、後述するが、産地と加工地が限られている。同時に、戦争や貿易規制など国際関係の不確実性、生産能力の拡張スピードが大きな生産リスク要因として作用する。一方、川下の需要側は自動車メーカーの増産などによる多様な車種が大幅に増えつつある。したがって、車載電池のリサイクル産業は効率的なサプライチェーンの構築に不可欠なものになる。

3.2 車載電池リサイクルとビジネスの視点

(1) 車載電池のライフサイクル（寿命）とその重要性

リサイクルビジネスの循環サイクルは、電池の寿命と深く関係する。電源電池の寿命指標は大きく3つの車載電池のサイクルライフ（Cycle Life）がある（Chen, 2021）。それは、標準サイクル寿命、動作サイクル寿命、カレンダー寿命がある。以下のように、これらは異なる使用条件下での電池性能を表すものである。

- ① 標準サイクルライフ：理想的な標準試験条件のもとで、電池容量が初期容量の80%に低下するまで、満充電状態から放電、満充電を繰り返すことができる回数を指す。この指標は実験室条件下での電池の耐久性を反映し、通常、電池の品質を判断する基準となる（Xing, & Li, 2024）。

- ② 使用条件サイクルライフ：実際の使用条件下での電池のサイクルライフのことである。標準サイクルライフに比べ、使用条件サイクルライフは、温度、充放電速度、使用習慣など、より多くの外的要因の影響を受けている。このサイクルライフは、実際の走行条件下での電池の性能を反映するため、標準サイクルライフよりも消費者の実際の経験に近い指標である。
- ③ カレンダーサイクルライフ⁷⁾：製造日または使用開始日から、使用の有無にかかわらず、自然な経年変化により電池の性能が80%まで低下するまでに要する時間のことである。電池の時間的な経年変化であり、使用頻度とは関係ない。主に温度、湿度、保管状態などの外的条件に影響される。

これらの①～②の基準は、技術および工学基準で、製造品質の基準にもなるものである。一般的な消費者の観点に立つと、平均的なEV消費者の電池サイクルライフは、主に使用条件サイクルライフ(②)とカレンダーサイクルライフ(③)の2点によって左右されている。たとえば、日常生活では消費者が年間2万kmを走行すると仮定にし、電池の標準サイクルライフは、理想的な条件下で2千回の充放電サイクルとなり、実験室条件下で電池が約60万kmの走行距離をサポートできることを意味する。メーカーが電池性能を保証する期間となる場合が多い。これを「保証寿命」とも呼ぶ。しかし、車両を使用上では、外部の温度変化や頻繁な加速・減速を考慮すると、電池のサイクル寿命は相対的に短くなる。

一般的に、実際のサイクル寿命は、標準サイクルライフの約60%から80%であるとされる(Lai, Yao, Jin, Feng, Wang, Xu. & Zheng, 2022)。そのため、この場合、消費者からみて、実際の運転条件下では約30万キロから48万キロの航続距離しかサポートできない可能性がある。同時に、カレンダーサイクルライフからみると、それが8～10年だと仮定すると、走行が少なくとも電池は経年劣化すると見なされる。したがって、平均的なEV消費者の電池の寿命は、消費者の年間走行距離が多い場合、電池の使用条件サイクルライフが主な制限要因となり、7～10年で最大走行距離に達する可能性がある。また、年間走行距離が少ない場合は、カレンダーサイクルライフで考えると、8～10年後に電池が著しく老朽化することになる。

以上のように、車載電池リサイクルビジネスは、2つの効率性を満たさないと成り立たない。1つ目は、回収プロセスの効率性と安全性である。2つ目は、リサイクルにかかるコストが、純正材料を使った場合に比べて、経済性があるか否かである。

(2) 車載電池リサイクルビジネスとその循環

図2は、車載電池リサイクルの循環図を表すものである。簡単にその循環について説明すると、廃車から電池を回収し、状態を判断し、破棄するものと、リユース、リサイクルされるものを分別する。その上、リサイクル工場にて、材料や金属を取り除く作業を行い、再度電池製造に材料とし

7) Lai, Yao, Jin, Feng, Wang, Xu., & Zheng (2022)

て使うことで、資源の循環を図れる。ここで、どのプレイヤーが担うか、そしていかにその循環を組織的にシームレスに行うかがマネジメントの課題となる。

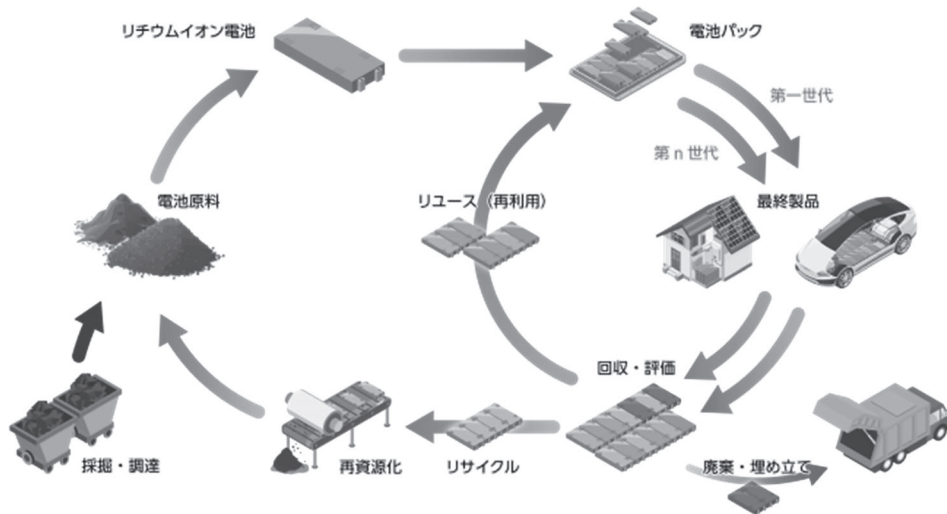


図2. 車載電池リサイクルの循環図

(出所) <https://techtimes.dexerials.jp/electronics/reuse-and-recycling/>

具体的な LIB リサイクルプロセスは、自動車製造を起点にしてみると、製造→分割 / 回収→全処理→金属回収→精製→電池材製造→電池製造の流れとなる。CATL はこのプロセスを一貫した形で内部化し、リサイクルビジネスを行っている。

4. CATL のリサイクルビジネスは競争優位に繋がる

4.1 電池素材の価格変動とリサイクルビジネスの経済的利点

(1) 市場性

まず、リサイクルビジネスの市場性と必要性について検討しよう。

EV の生産と販売の高成長は、毎年中古電池の流通数が時間の経過とともに増加し続けることを意味する。2016 年、中国政府は、車載電池の標準化を図ってから、8 年または 12 万キロメートルとなる。時間軸で考えると、2024 年以降、保証が切れた電気自動車の車載電池の数が激増する。

(2) 原材料価格の不安定からの機会

電池を構成する材料の多くはレアメタルが多い。そのため、急速な需要拡大に対応できず、すでに、供給不足しているものも多い。特に、車載電池の主要原材料である、ニッケル、コバルト、マンガン、リチウムの価格が高騰しているため、その回収とリサイクルは経済性がある。データを調べると、この 10 年間（リチウムは 8 年間）に各レアメタルの各シーズンの真ん中の 2 月、5 月、8 月と 11 月

の価格は、次の図3、4、5、6のグラフのように変動してきている。

まず、ニッケルの最高価格は2022年3月の32,093 (USD/t) で、最低価格の2016年5月の8388.5 (USD/t) より3.8倍以上上昇した(図3)。コバルトの最高価格は2018年3月の93,750 (USD/t) で、最低価格の2016年1月の21,900 (USD/t) より4.2. 倍以上上昇した(図4)。マンガンの最高価格は2016年11月の51,500 (CNY/mtu) で、最低価格の2016年1月の18,500 (CNY/mtu) より2.7 倍以上上昇した(図5)。リチウムの最高価格は2022年11月の597,500 (CNY/t) で、最低価格の2020年7～11月の39,000 (CNY/t) より15.3 倍以上上昇した(図6)。こうした価格高騰の中で、遂にアメリカも60年ぶりとなるリチウム鉱山の採掘計画を承認した⁸⁾。地政学リスクに対応するための処置であろう。

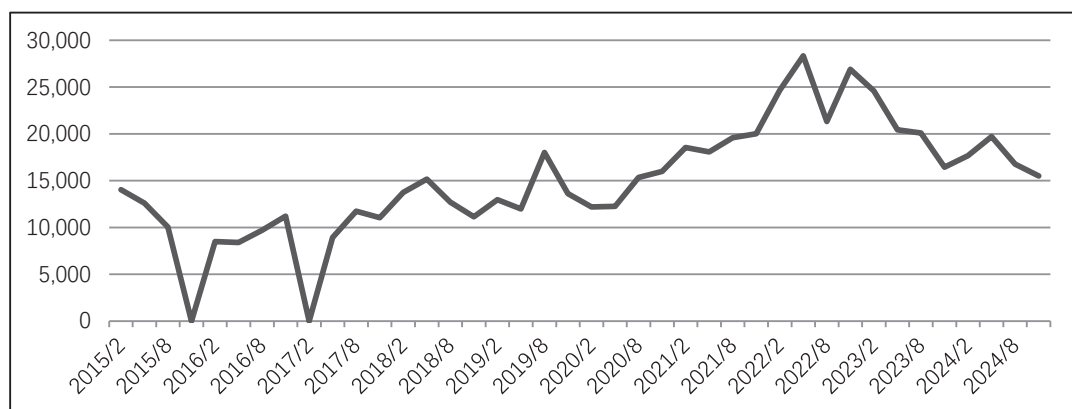


図3. ニッケル価格変動 (USD/t)

出所：tradingeconomics.com

8) 日本経済新聞, 「米国, 60年ぶりのリチウム新鉱山 脱中国依存へ承認」 2024年10月26日 (<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN25DK30V21C24A0000000/>) 閲覧日: 2024年12月5日

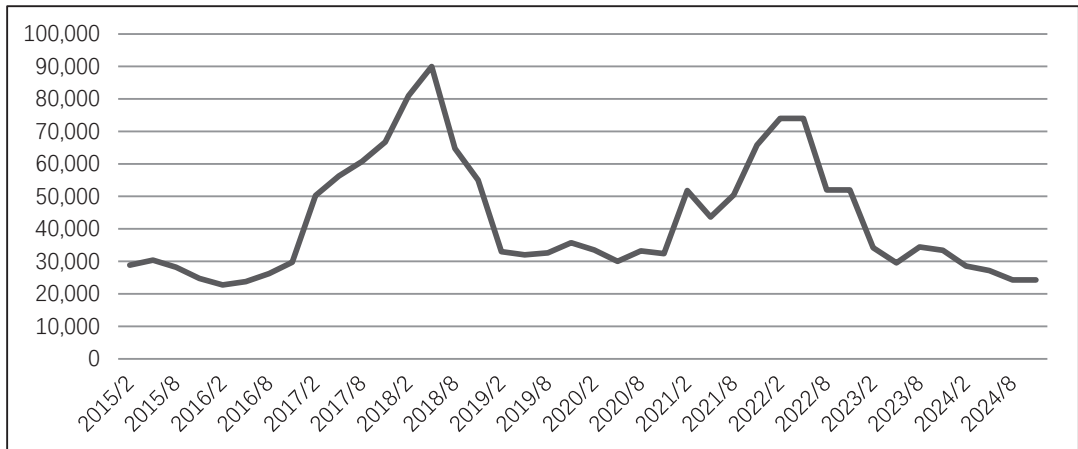


図 4. コバルト価格変動 (USD/t)

出所：tradingeconomics.com

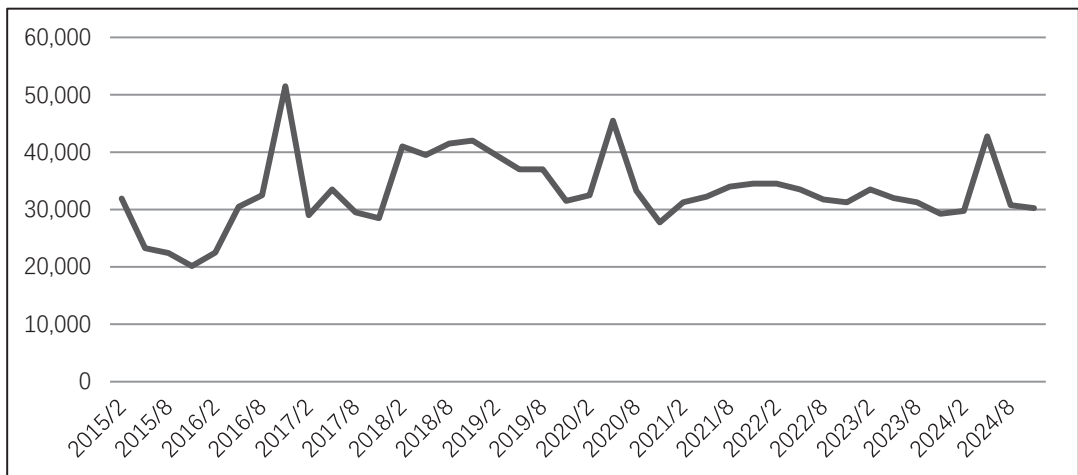


図 5. マンガン価格変動 (CNY/mtu)

注：mtu は「メートル・トン・ユニット」(metric tonne unit) を意味し、10kg の WO_3 (三酸化タングステン) に相当する。

出所：tradingeconomics.com

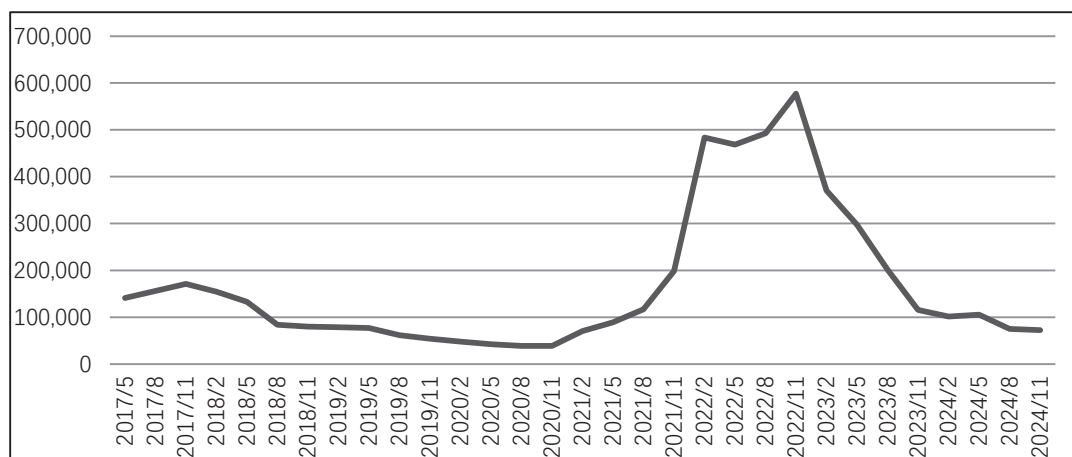


図6. リチウム価格変動 (CNY/t)

出所：tradingeconomics.com

また、電池などに使われるレアメタルは、鉱物資源の産地と加工地が限られているため、再び価格高騰をまねく可能性は非常に高い。たとえば、ニッケルは22年の世界の生産量が330万トンで、うち半分がインドネシアで生産された。コバルトは同19万トンで、コンゴ民主共和国が約7割を占めて、マンガンは南アフリカの採掘が多く、リチウムの生産はオーストラリアとチリが8割近く占めている。採掘したリチウム鉱石を電池用に精製、加工プロセスは、環境問題が絡む可能性が高いが、現在、この「精製」プロセスの業者は多少環境法に緩い中国に集中しているのが現状である⁹⁾。

4.2 電池リサイクルビジネスと技術能力

電池回収は、車載電池の材料によって次の条件を想定して行う。①三元電池は5年使用後に廃棄され、LFPは4年間の正常使用に加え、2年間の梯次利用を行う。②電池製造企業は、毎年の廃棄物はその年の電池出荷量の5%を占める。③ニッケル、コバルト、マンガンを含む電池の回収率は98%、リチウムの回収率は85%である。

これらを前提に、回収後に生成される金属塩（リチウム炭酸塩、ニッケル・コバルト・マンガン硫酸塩など）の価格を基に計算すると、2027年の世界リチウム電池回収業界の市場規模は205億ドル（1500億円）を超えると予測される。

では、ここで回収後、分解作業のリサイクルプロセスと所要技術について見てみよう。

9) 日本経済新聞「リチウムイオン電池原材料、中国の影響力強く」2023年10月15日。 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC194HO0Z10C23A9000000/>（閲覧日 2024.10.1）

(1) 正極材料の回収処理技術¹⁰⁾

まず、正極材料の回収処理技術は、「物理回収」「湿式回収」「熱回収」および「生物浸出法」に分けられ各々回収技術には利点と欠点が存在する¹¹⁾。物理回収は、精密な分解や材料修復技術を使用し行われる。また全自動で無公害な分解が可能であり、経済性が良好である。湿式回収は反応速度が遅く、工程が複雑であるが、設備の要求が比較的低く、製品の純度が高いため、現在主流の技術として採用されている。熱回収は工程が簡単であるが、回収率が低く、エネルギー消費が高いが、汚染のリスクがある。生物浸出法は微生物を利用して浸出を行い、汚染が少なく、エネルギー消費が低い上、微生物の再利用が可能であるが、微生物の培養が難しく、浸出環境の要求が高いため、現在はまだ実験段階にある。

湿式回収は、LIBの回収において最も一般的で成熟した技術である。この方法では、化学溶媒を使用して、正極材料からニッケル、コバルト、マンガン、リチウムなどの金属イオンを浸出液に移し、その後、イオン交換、吸着、共沈殿¹²⁾などの方法を用いて、金属イオンを無機塩や酸化物（例えば、炭酸リチウム、硫酸ニッケル、硫酸コバルトなど）に変換する。この技術は、工程が比較的複雑であるが、金属回収率が高く、製品の純度も高いため、現在では広く利用されている（中信証券、2022）。

(2) 電池材料の解体・リサイクルプロセス

使用済み電池材料の解体・リサイクルプロセスには、一般的に電池パックの放電、個々の電池の破壊的解体、破碎、選別、電極材料の回収が含まれる。電極材料にはリサイクル価値の高い貴重な金属が含まれており、これらの回収プロセスには多様な技術が存在する。既存の電極材料リサイクル技術は主に乾式リサイクル技術、湿式リサイクル技術、生物学的リサイクル技術、3つに分類される。生物学的リサイクル技術は現在実験室段階にあり、高コストがかかるため、商業化には限界があるとされる。

一方、乾式および湿式リサイクル技術は、大規模な工業生産に適しており、既に商業的な生産ラインを有する企業も存在する（ex.: Li, H., et al., 2018; Li, J., et al., 2020）。ちなみに、最近、日本でも、三菱マテリアル、シャープ、ホンダ等などの企業がLIBリサイクルビジネスや回収、分解技術の獲得に積極的に取り組んでいる¹³⁾。

10) 中信証券（2022）

11) 中信証券（2022）。以下、3つの回収方法に関する説明も、同文献に基づく。

12) 共沈殿（きょうちん）は、溶液中に沈殿する物質の主成分以外に、単独では沈殿しない物質も一緒に沈殿させる方法で、微量成分の分離や濃縮、粉体の作製などに利用される。

13) 最近の日本の取り組みについては橋本（2022）を参照して頂きたい。

4.3 CATL リサイクルビジネスにおける競争優位性

CATL のリサイクルビジネス戦略は、循環経済理論に基づき、持続可能な事業モデルの一部として捉えられている。自社内でのリサイクルシステムの構築により、他社に比べて長期的な競争優位を築いた。さらに、資源ベースの観点から、GBRT の買収によって得たリサイクル技術やノウハウは、企業の希少かつ模倣困難な資源として機能し、他の競争企業との差別化要因となっている。

CATL が高いパフォーマンスの享受が可能になった背景には、他社とは異なる CATL の取り組みがあった。以下の取り組みが車載電池メーカーとしての競争優位性に繋がったと解釈できる。

まず、生産能力について見てみよう。廃棄バッテリー処理能力が 12 万トンで、現在 30 万トンまで建設中であり、将来的には 100 万トンまで増設する計画である。また、ニッケル・コバルト・マンガンの金属回収達成率は 99.6%（ニッケル 99.6%，コバルト 99.6%，リチウム 91%，マンガン 99.6%，銅 89%，鉄 90%，アルミニウム 92%）で非常に高い。バッテリーの総合リサイクルの中国国内シェアは 50.4% を占める高いレベルである。電池の回収は、既存の電池生産拠点とは別途に、200 ヶ所の電池回収専用業務を担う拠点を運用している。ここを通じて電池を回収し、それをリサイクル工場へ運送する。つまり、廃棄する電池をわざわざリサイクル工場まで持って行かなくても良く、回収しやすい体制を全国に設けているのである。

次に、原材料の調達という観点からみると、CATL は中国国内の 7 つの生産拠点をカバーする総合的なアプローチをとっている。長江デルタと珠江デルタ、中国中部地域をカバーし、インドネシア、ボリビアなどの海外にも進出している。また、川上および川下のサプライチェーンの企業との戦略的な提携を強化しているとともに、共同開発研究を行いながら技術力の向上を図っている。技術力水準の指標としてみると、CATL は、すでに 4,527 件の特許出願件数を取得している。また、同社は規格（標準）策定に積極的に関与している。電池リサイクルや電池材料に関する規格の策定・改定に参画し、259 の規格が発行されたことから、業界のリーダーシップをとっている企業として見なすことができるだろう。

こうした取り組みが競争優位性に繋がる理由として、以下のことが指摘できよう。

第 1 に、原材料コストの削減効果である。CATL は廃棄電池からニッケル、コバルト、マンガンとリチウムなどの重要資源を回収することで、国際市場における原材料価格の変動依存を低減し、電池製造コストを大幅に削減している。

第 2 に、幅広い顧客ネットワークと規模の経済性の実現である。CATL はテスラ、BMW、大衆自動車（フォルクスワーゲン）、蔚来汽車（NIO）、小鹏汽車（XPeng）など、EV メーカーに電池を供給する車種も、電池メーカーの中で最も多く、電池ライフサイクル管理において主導権を握っている。この広範な顧客基盤により、使用済み電池の回収とリサイクルが他社と比較して容易に展開できている。また、CATL は中国国内に 200 以上のリサイクル回収拠点を設け、50.4% のシェアを占めて競争力強化を図っている。

第 3 に、高効率・レアメタル抽出技術を有している点である。CATL は GBRT の電池の完全自動

化リサイクル生産ラインを開拓し、世界初の車載電池用完全自動化解体設備の事業化に成功し、ニッケル、コバルト、マンガンとリチウムなどのレアメタルの高回収効率（全体的に 90%以上、ニッケル、コバルト、マンガンは 99.6%）¹⁴⁾を維持している。また、環境負荷を軽減するためにグリーンリサイクル技術を積極的に開発しており、廃水や排ガスの発生を抑制するプロセスを採用している。こうした先進的な生産システムへの取り組みが、高い回収率による経済性と規模の経済性を同時に追求できていると思われる。

第 4 に、閉鎖型サプライチェーンの前方統合である。CATL は GBRT の買収を通じ、廃棄電池の回収から新材料の加工、電池製造に至るまで、閉鎖型サプライチェーンを構築している。この一体化されたビジネスモデルにより、リサイクル効率の向上とレアメタル利用率の最大化が実現に寄与している。このリサイクル事業によって、CATL の既存顧客確保と新顧客獲得に繋がると思われる。各国の政策上、廃棄電池を処理する責任を担うのは、生産者（バッテリーメーカーか EV メーカーか）にする場合が多い。これに対して、リサイクル能力のない EV メーカーにとって、欠かせない能力になるため、CATL は電池の販売と回収のセットとしての EV メーカーにアプローチでき、自動車メーカーの CATL への依存度は高まることになる。

要するに、CATL の GBRT の買収を通じて、単なる企業拡大の一環ではなく、企業の競争力強化に繋がる重要な戦略であると評価できる。この買収により、CATL は、リサイクルによって廃棄電池からレアメタルを回収・再利用し、サプライチェーンの上流における原材料供給の不安定性を緩和し、コストの安定化を実現できた。さらに、政府の環境保護政策への対応としても、廃棄物削減や資源の効率利用は大きな意義を持っている。

5. まとめと今後の課題

本研究では、循環型経済、サプライチェーンマネジメントという 2 つの理論フレームワークを通じて、CATL の電池リサイクル戦略がどのように競争優位性の構築に繋がっているのかについて考察してきた。CATL による GBRT の買収は、循環型経済とサプライチェーン管理の観点から、競争力強化に大きな貢献をもたらしている。本研究の分析に基づき、以下のことが CATL の競争優位性に繋がっていると思われる。

第 1 に、循環型経済の視点から、CATL は資源の再利用を通じてコスト削減と環境負荷低減を実現し、持続可能な競争優位性を確立したことである。GBRT のリサイクル技術の導入により、CATL は資源調達コストの削減を達成し、リチウムやコバルトといった希少金属の外部依存度を低減した。これにより、原材料の価格変動に左右されない安定した供給体制が整い、同時に環境規制の強化にも対応できる体制を構築している。

14) <https://www.brunp.com.cn/services-products/recall>（2024 年 10 月 21 日閲覧）

第2に、サプライチェーン管理の観点から、垂直統合戦略を通じて、クローズド・ループ型サプライチェーンを構築することで、資源供給のリスクを低減し、全体的なサプライチェーンの効率性を高めたと判断できよう。GBRTの買収は、CATLにおけるクローズド・ループ型サプライチェーンの強化に大きく寄与した。この結果、CATLは製造プロセスにおいて再生資源を使用する比率を高め、資源供給の不確実性を減らすことができた。また、使用済み電池の回収と再利用によるサプライチェーンの効率化が、全体的なコスト削減に寄与している。

第3に、循環型経済とサプライチェーン管理の相互作用が、CATLの長期的な競争優位性を確立する要因となっている。資源のリサイクルと効率的なサプライチェーン管理の相互補完的な効果により、CATLは持続可能な電池供給体制を構築し、競争市場において優位な地位を維持している。特に、国際市場における環境規制の強化や資源競争の激化に対応するために、GBRTの技術力とサプライチェーン管理能力の融合は極めて効果的であったと推測できる。

要するに、CATLの競争優位性は、クローズド型サプライチェーンの前方統合、技術革新、グローバル市場での強力なネットワークにある。他企業と比較して、電池製造分野でのリーダーシップを維持するだけでなく、リサイクル事業およびSSCM分野でも、効率性、環境配慮、持続可能性を両立する独自のモデルを確立している。この競争優位性は、グローバル市場における長期的な競争力の源泉となっている。

また、本事例研究から、CATLがGBRTを買収して電池リサイクル事業に参入したことは、資源循環とサプライチェーン戦略の一環として理解できる事例と判断できよう。CATLは、リサイクルを通じてサプライチェーンの強化とコスト削減を実現し、持続可能な成長を遂げた。また、CATLの取り組みは、クローズド・ループ型サプライチェーンの成功事例として、SSCMの理論を実証的に補完する事例として位置付けられよう。

今後の研究課題として、他の電池メーカーとの比較や、リサイクル技術が企業の成長に与える影響について、さらに実証分析が必要である。また、政策の動向とリサイクルビジネスの発展との相互作用についても、より深い理解が求められる。

■謝辞

本研究はJSPS科研費 基盤研究 (C) (基金) 20K01867 の助成を受けた研究成果の一部である。

■参考文献 (英文・和文)

- Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12 (4), 332-342.
- Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38 (5), 360-387.
- Carter, C. R., & Easton, P. L., (2011). Sustainable supply chain management: evolution and future directions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41 (1), 46-62.

- Centobelli, P., Cerchione, R., Chiaroni, D., Del Vecchio, P., & Urbinati, A. (2020). Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 29 (4), 1734-1749.
- Chen, B. (2021, November). Health Monitoring and Prediction of Cells in a Battery Module or Pack Under Operating Condition: A nondestructive and cost-effective approach. In *2021 IEEE International Symposium on Product Compliance Engineering-Asia (ISPC-ASIA)* (pp. 01-03). IEEE.
- Chigbu, B. I., & Umejesi, I. (2024). Unlocking Economic and Environmental Gains Through Lithium-Ion Battery Recycling for Electric Vehicles. *Resources*, 13 (12), 163.
- Corvellec, H., Stowell, A. F., & Johansson, N. (2022). Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 26 (2), 421-432,
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone Publishing.
- Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your product. *Harvard Business Review*, March-April, 105-116.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- 橋本英喜 (2022) 「自動車の電動化に伴うリチウムイオン電池リサイクルおよび廃棄の課題と業界の取り組み」『廃棄物資源循環学会誌』 33 (3), 188-195.
- Hugos, M. (2018). *Essentials of Supply Chain Management*, 4th eds., Wiley.
- Krajewski, L., Rithitman, L. and Malhotra, M., 2018, *Operation Management*, 12th eds., Pearson.
- Lai, X., Yao, J., Jin, C., Feng, X., Wang, H., Xu, C., & Zheng, Y. (2022). A review of lithium-ion battery failure hazards: Test standards, accident analysis, and safety suggestions. *Batteries*, 8 (11), 248.
- Li J., Gang, D.U., & Juanjuan, Y. (2020). Current situation and economic analysis of waste battery recycling industry. *CIESC Journal*, 71 (S1): 494-500
- Li, H., et al. (2018). Electrode Material Recovery Mode and Economic Analysis of Lithium-Ion Power Battery. *Advances In New and Renewable Energy*, 6 (6), 505-511.
- Pagell, M., & Shevchenko, A. (2014). Why research in sustainable supply chain management should have no future. *Journal of Supply Chain Management*, 50 (1), 44-55.
- 李博文・具承桓 (2021) 「技術イノベーション期における後発自動車部品企業の能力構築と成長戦略—中国 CATL 社の供給体制を中心に」『京都マネジメントレビュー』 第 40 号, 45-63.
- Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19 (8), 3-8.
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16 (15), 1699-1710.
- Wang, T., et al. Recycling Strategies and Economic Efficiency Analysis of Waste Electric Vehicle Lithium-ion Batteries. *Shanghai Energy Conservation*, 2019, no. 10, pp. 814-820.
- Xing, Y., & Li, Q. M. (2024). Evaluation of the mechanical shock testing standards for electric vehicle batteries. *International*

Journal of Impact Engineering, 194, 105077.

Yergin, D. (2020). *The New Map: Energy, Climate, and the Clash of Nations*. Penguin Books (黒輪篤嗣訳, 新しい世界の資源地図, 東洋経済新報社, 2022 年)

■中国語文献

中信証券, 「锂电池回收: 加速构建产业链循环一体化 (リチウム電池のリサイクル: 産業チェーンのリサイクル統合の構築を加速)」, 2022.3.23.

華安証券, 「锂电池回收经济性凸显, 渠道+工艺助力企业突围 (リチウム電池リサイクルの経済性が顕著, チャンネルとプロセスが企業の突破を支援)」, 2023.4.13.

■WEB 資料

日本経済新聞, 「リチウムイオン電池原材料, 中国の影響力強く」 2023 年 10 月 15 日. <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC194HO0Z10C23A9000000/>

クロマづくりコラム, <https://www.keyence.co.jp/ss/general/automotive-manufacturing/002/index2.jsp>,
<https://ideasforgood.jp/glossary/closed-loop/>

Guangdong Brunp Recycling Technology Co., Ltd. ホームページ, <https://www.brunp.com.cn/services-products/recall>
デクセリアルズ株式会社, <https://techtimes.dexerials.jp/electronics/reuse-and-recycling/> (閲覧日, 2014.12.5)

Can the automotive battery recycling business lead to a competitive advantage?:
Strategic implications of CATL's efforts towards recycling-oriented business.

Bowen LI
Seunghwan KU

ABSTRACT

Throughout this case study, CATL's acquisition of GBRT and entry into the battery recycling business is part of its resource recycling and supply chain strategy. Success factors included CATL's internalisation of the recycling business through vertical integration, thereby strengthening the supply chain, reducing costs through economies of scale and joint development, which led to a sustainable competitive advantage. This initiative is considered a successful example of a closed-loop supply chain and SSCM.

