

グローバルスケールでの資源循環戦略による自動車業界の資源使用量削減効果分析

所属： 立命館大学 食マネジメント学部

助成対象者：光斎翔貴

共同研究者：

概要

車両の電動化は温室効果ガス排出削減に貢献する一方、資源使用量の増加による持続可能性への懸念がある。本研究では、2050年までの世界の自動車分野における天然資源使用量を定量化し、循環型経済戦略の影響を検討した。その結果、現状のままでは資源使用量は2015年の約2~3倍に増加する可能性があることが分かった。しかし、リサイクル、社会的サービス、新バッテリー技術などの循環型経済戦略を野心的に導入すれば、採掘による新たな資源需要を抑え、現在の資源使用水準を維持しながら車両の電動化を実現できる可能性があることが示された。循環型経済の導入は、電動化と資源持続可能性の両立において鍵となる。

abstract

Electrifying vehicles towards a zero-emission future raises concerns about resource sustainability, primarily because of the expected increase in resource use. However, the magnitude of this potential increase in resource extraction through mining activities and the underlying driving factors remain unclear. This study quantifies the total natural resource use in the global automotive sector by 2050 and explores the potential impact of circular economy strategies on resource use mitigation. Global resource use was found to be on an

upward trend, exceeding approximately two to three times higher in 2050 than in 2015. However, our analysis indicates that implementing circular economy strategies (e.g., social servicing and recycling) and new battery technologies can curb the resource extraction demand through mining without exceeding the current resource use levels. Thus, vehicle electrification can be achieved without increasing resource use if a set of circular economy strategies is concurrently and ambitiously implemented.

研究内容

第1章：はじめに

現代社会では、自動車が通勤や医療アクセスといった基本的な生活インフラとして機能しており、都市生活に不可欠な存在となっている。一方で、自動車の使用は温室効果ガス排出の主要因であり、気候変動対策として自動車産業の電動化が急務である。2017年に始まったEV30@30キャンペーンなど、各国が電気自動車（EV）の導入を進めており、将来的には化石燃料からの脱却が期待されている。

しかし、EVへの移行に伴い、新たな資源需要が発生する。例えば、EVには内燃機関車（ICEV）にはない駆動モーターと大型バッテリーが搭載され、これにはリチウム（Li）、ニッケル（Ni）、銅（Cu）などの希少金属が必要となる。こうした資源の採掘は環境や生態系に影響を及ぼすため、資源持続性への懸念が高まっている。

従来の研究では、EVはICEVに比べて1.6倍以上の資源を使用するとされ、特にリチウムイオン電池（LIB）の製造が資源消費の大部分を占める。しかし、多くの試算は電池の交換や容量増加といった要素を十分に考慮しておらず、実際の資源使用量を過小評価している可能性がある。

本研究の目的は、2050年までに世界の自動車分野がどれほどの資源を使用するかを「全資源需要（TMR）」の観点から定量化し、同時に循環型経済戦略（CE: circular economy）がその需要をどこまで抑制できるかを明らかにすることである。

第2章：方法論

2.1 将來の車両保有数シナリオ

将来の車両数は、国際エネルギー機関（IEA）が提示する3つのシナリオに基づいて推定された。

- RTS（現行技術シナリオ）：2100年までに2.7°C上昇
- 2DS（2°Cシナリオ）：2.0°Cに抑制
- B2DS（1.75°Cシナリオ）：2060年までにゼロエミッション達成

これらのシナリオをもとに、今後のEV、ハイブリッド車（HEV/PHEV）、燃料電池車（FCV）などの普及率を設定。

2.2 動的物質フロー分析（Dynamic MFA）

車両の生産・廃棄・保有を時間軸で分析。Weibull分布を使って寿命と廃車数をモデル化し、車種ごとの動向を予測した。

2.3 総資源需要（TMR）の評価

TMRは、ある製品が生産・使用・保守される過程で必要とする直接・間接の全資源量を指す。特に鉱山で採掘される未使用資源（隠れたフロー）も含む包括的指標である。

本研究では、各車種のTMRを算出し、それをベースに世界全体の資源需要（G-TMR）を算出した。バッテリー容量の増加と寿命に基づく交換も考慮された。

2.4 循環型経済（CE）戦略の導入

以下の5つのCE戦略を組み合わせてシミュレーションを行った：

1. 寿命延長：車両寿命を15年→18年に延ばす
2. 社会的サービス：カーシェアやライドシェアにより所有台数25%削減
3. リサイクル：金属などの資源を最大80%再利用
4. 燃費改善：走行時の燃料・電力消費を低減
5. 全固体電池（ASSB）導入：寿命15年で交換不要な次世代バッテリー

第3章：結果

3.1 循環型経済戦略を導入しない場合の資源使用量

図1に結果を示す。どのシナリオでもG-TMRは上昇傾向にあり、2050年には2015年比で約2~3倍に達する。特にB2DSでは、再生可能エネルギーの比率が高くなり、ICEVの使用は減少するが、それを上回るBEVの生産・保守による資源需要が生じる。

- BEV1台あたりのTMR（生産：70.3トン、保守：38.6トン）はICEVの運用段階（7.1トン）より遥かに大きい。

- LIB の特性（交換と容量増）が資源需要の大きな要因で、2050 年には BEV の TMR の 55%が LIB に関連。

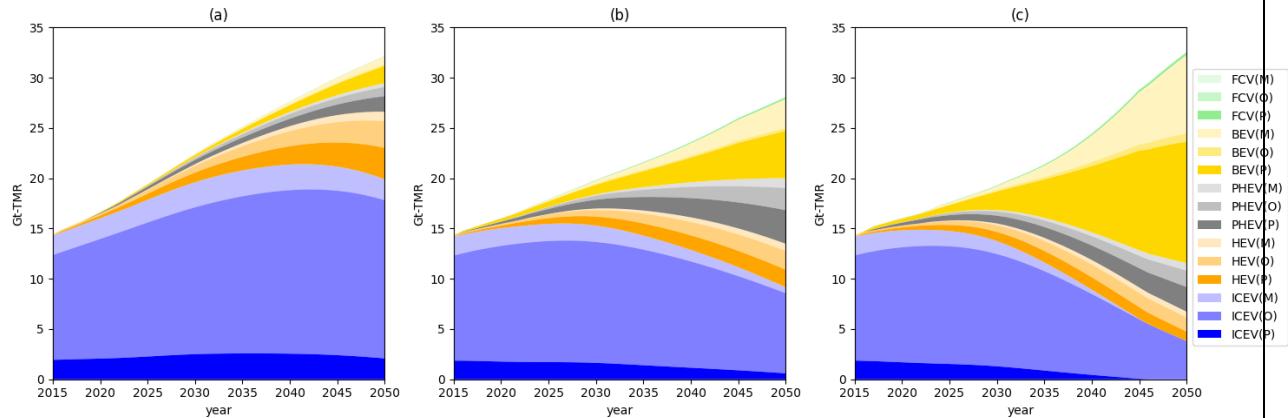


図 1 グローバルスケールにおける車業界の天然資源使用量

3.2 循環型経済戦略の導入による効果

全 5 戦略 (5SA) を実行した場合、G-TMR は次のように削減された(図 2)：

- RTS : 58.0%削減
- 2DS : 57.0%削減
- B2DS : 56.4%削減

特に効果が大きいのは社会的サービス（最大 43%）、次いでリサイクル（最大 39.6%）、燃費改善（最大 21.8%）。一方、ASSB 導入の効果は 2025 年以降に徐々に現れ、2050 年時点では控えめだが、長期的に大きな削減効果が期待される。

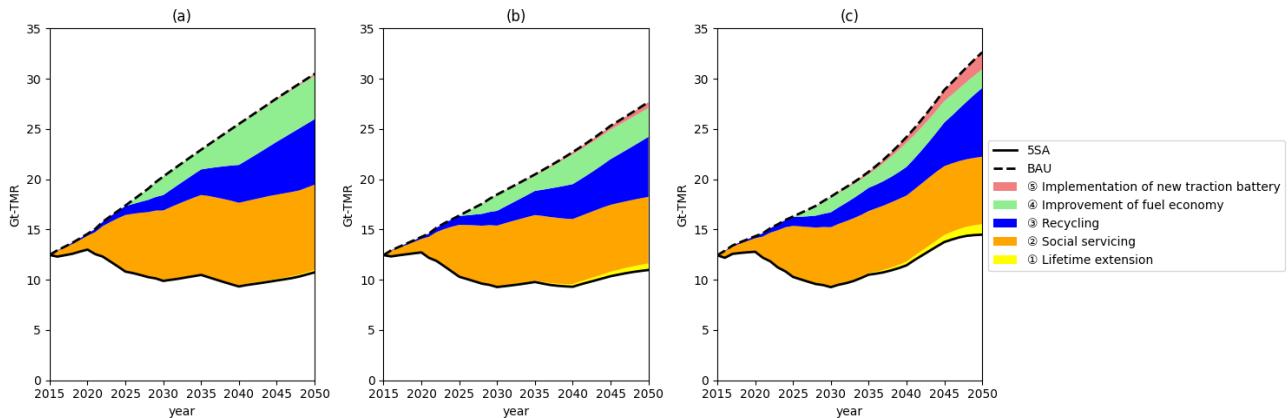


図 2 グローバルスケールにおける車産業の資源循環戦略の導入による天然資源削減効果

第 4 章：考察

現在の試算の過小評価

既存の試算は LIB の特性（寿命、容量増）を十分考慮していないため、資源使用量が過小評価されている可能性が高い。本研究はそれを補完し、より現実的な資源シナリオを示し

ている。

政策への示唆

リサイクルや燃費改善には各国で数値目標が設定されているが、社会的サービス（カーシェア等）については明確な数値目標が存在しない。本研究が示す 25%削減目標は、政策形成の指標として活用できる。

実現に向けた課題と介入策

循環型経済戦略の実現には以下の介入が必要：

- **制度的介入**：拡大生産者責任や再生材使用義務の導入
- **行動変容**：若年層の所有意欲の低下など、文化的背景を活かした啓発
- **経済的インセンティブ**：再生材製品への減税、長期使用者への税制優遇
- **エコデザイン**：容易に分解・再利用可能な車両設計
- **産業間連携**：メーカーとリース業者・リサイクル業者との協働

第 5 章：結論

自動車の電動化は資源使用の増加を招くが、循環型経済戦略を組み合わせて実行することで、2050年においても 2015 年の資源使用量を超えずに電動化を達成できる可能性がある。特に、社会的サービスや新型電池導入は資源使用削減において重要な鍵となる。今後、政策立案者・産業界・消費者が連携し、循環型経済の実現に向けた包括的な対応が求められる。

本助成に関わる成果物

[論文発表] Hibiki Takimoto, Shoki Kosai, Takuma Watari, Eiji Yamasue, Circular economy can mitigate rising mining demand from global vehicle electrification, Resources, Conservation & Recycling, 209, 107748 (2024)

[口頭発表] 光斎翔貴、滝本響、渡卓磨、柏倉俊介、山末英嗣、資源循環経済戦略は自動車産業における天然資源投入量を削減できるか？第 19 回日本 LCA 学会研究発表会、宇都宮（2024）