

JARI Research Journal

2024年
5月号



○モビリティ研究会*報告

【調査資料】	高齢ドライバー向け『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの受容性に関する考察 — 有識者・自治体・メーカーに対するアンケート調査 — モビリティ研究会調査報告 (5)	p. 1～ (10 p)
	李 邱, 柴田 英一, 勢頭 隆晴, 谷本 琢磨, 飯田 実 (モビリティ研究会*) 大庭 敦, 中塚 喜美代 (JARI ; 新モビリティ研究部)	JRJ20240501

【調査資料】	電動二輪車の交換式バッテリーの現状(いま) モビリティ研究会調査報告 (6)	p. 11～ (14 p)
	岩崎 一真, 大野 肇, 木下 壽英 (モビリティ研究会*) 大庭 敦, 中塚 喜美代 (JARI ; 新モビリティ研究部)	JRJ20240502

* JARI 外のメンバーと共同で、新モビリティ分野の技術や社会実装等の最新動向の調査・研究を行う JARI 主催の研究会

高齢ドライバー向け『やわらかい自動運転』 低速パーソナルモビリティの受容性に関する考察

— 有識者・自治体・メーカーに対するアンケート調査 —
モビリティ研究会*1 調査報告 (5) *

李 邱*2
Qiu LI

柴田 英一*3
Eiichi SHIBATA

勢頭 隆晴*3
Takaharu SEDO

谷本 琢磨*4
Takuma TANIMOTO

飯田 実*5
Minoru IIDA

中塚 喜美代*6
Kimiyo NAKATSUKA

大庭 敦*6
Atsushi OHBA

昨今、日本では高齢ドライバーによる事故が多発し、社会問題になっている。モビリティ研究会では、高齢者の社会参加を促進し、健康寿命を延ばしていくために高齢者に運転する楽しさを残しつつ、安全かつ便利な乗り物（くらしの足）として、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティのコンセプトを考えた。『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティは、自動運転レベル2の技術の必要なものを組み合わせたもので、低速で走行するパーソナルモビリティへの実装を想定した。高齢ドライバーの運転寿命延伸とドライバー不足への対策にも寄与できるものと考えられるが、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティというコンセプトが社会に受容されるものか、有識者、自治体、車両メーカーへのインタビューに加え、高齢者と交通参加者へのアンケート実施により調査した。

KEY WORDS: 高齢者移動, 低速モビリティ, 自動運転, 社会的受容性

1. はじめに

日本では急速な高齢化が進んでおり、それに伴うさまざまな問題が起こっている。例えば交通分野においては、高齢ドライバーの事故は深刻な問題となっている。65歳以上の免許保有者は、2002年の10.8%（82.5万人）から、10年後の2012年に17.4%（142万人）、2022年には23.8%（194.6万人）と、高齢者比率が急速に進んでいる¹⁾。こうした高齢ドライバーによる事故は、それ以外のドライバーと比較して、運転操作不適の事故が多く、ブレーキとアクセルの踏み間違いによる事故も継続的に発生していることもあり、2020年には法整備²⁾により免許自主返納促進と、違反歴のある高齢ドライバーへの運転技能検査の新設や、サポカー限定免許の創設などが導入された。これを受けて運転免許証の自主返納数も過去最多を記録し³⁾、安全意識が高まりつつある。しかし、免許返納割合は2021年に引き続き、2022年も10%台と伸び悩んでいる。その大きな原因の一つは、免許返納後の高齢者移動手段が限られていることであり、移動手段の確保が喫緊の課題となっている。自動運転が普及すればこの問題は解決に進むものと推測されるが、レベル4、5の自動運転モビリティは2030年以降でないと実現されないと予測されており、短期的な解決（ソリューション）とはなりえない。

* 2024年3月26日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所（JARI）が主催し、JARI外のメンバーが参加して調査研究を行う研究会。
活動の詳細 <https://www.jari.or.jp/research-content/mobility/research/57/>

*2 所属は、非公開

*3 萩原エレクトロニクス株式会社

*4 AKKODiSコンサルティング株式会社

*5 ヤマハ発動機株式会社

*6 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部

また、免許返納後の移動特典は市町村ごとに決められている。例えばタクシー1割引、鉄道やバスなどの定期券交付、交通系ICカードの交付などがある。しかしながら、これらのサービスは免許返納ユーザーにとって限定的なケースが多い。例えば定期券交付が返納後の最初の1年限定であったり、チャージは初回のみであったりというものであり、免許返納後の移動を継続的に保障されるものではなく、利便性はあまり高くない。また、こうした特典は、47都道府県中42都道府県で実施されているものの、行政単位で見ると、例えば青森県では35%の自治体でのみの実施であり、免許返納を促す施策としては十分とは言えない。交通空白地域においては、マイカー以外の代替移動手段がないために自らが運転せざるを得ない状況にあり、免許返納できないのが実態である。

高齢者の社会参加は、健康寿命への効果があると言われており、さらに、国立長寿医療研究センターによる運転寿命延伸プロジェクト・コンソーシアムの報告によれば、高齢者に対して、安全に運転できる期間（運転寿命）を伸ばしていくことが健康寿命の延伸に重要であるとされている⁴⁾。単に免許返納による運転機会を失わせるだけでなく、高齢者に運転継続や運転する楽しさを残すことも重要であると考えられている。

そこで、モビリティ研究会では、身体能力の衰えた高齢ドライバーが、事故を起こすリスクを十分に低減させた上で運転する楽しさを残すことができる仕組みについて主にユーザー視点から検討した。

2. 高齢ドライバー向け低速パーソナルモビリティの検討

2.1 高齢ドライバー事故の現状と分析

2023年（令和5年）警察庁の調べ⁵⁾によれば、高齢ドライバーによる死亡事故の人的要因の割合をみると操作不適が約30%と最も多く、75歳未満のドライバーと比べて約3倍も発生している。このうち、ハンドルの操作不適が約15%、ブレーキとアクセルの踏み間違いが約7%を占めている。次に内在的前方不注意、安全不確認、外在的前方不注意と続き、ここまでで全体の約8割に及んでいる。安全不確認とは、例えば、右折時に左の歩行者に気を取られて右にいる歩行者に気が付かず事故に至ることで、ほかの前方不注意も共通で進路上にある危険に気が付かないことが原因である。（図1）

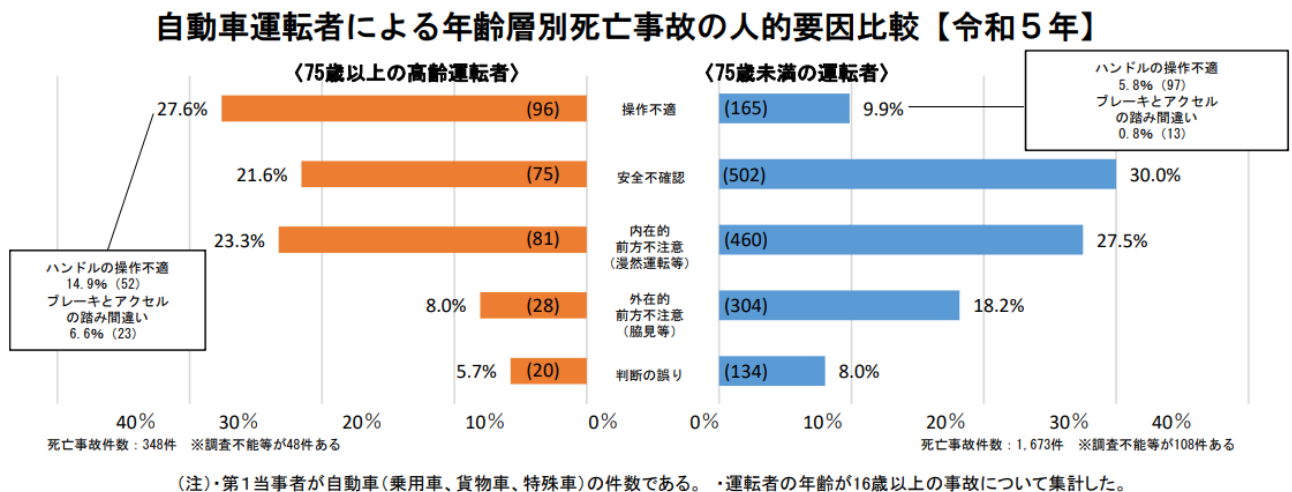


図1 自動車運転者による年齢層別死亡事故の人的要因比較（令和5年）警察庁資料⁵⁾より引用

2.2 高齢ドライバーに必要なサポート機能

上記から高齢ドライバーの事故原因のほとんどは「操作の過ち」と「安全不確認」「前方不注意」である。ゆえに、ハンドル操作、アクセルとブレーキの踏み間違いがあっても事故に繋がらないように進路上の障害物を検知して安全に停止あるいは回避することで高齢者の事故を減らして長く運転できるのではないかと考えられる。これらの事故を回避するための必要な機能として、SAE (Society of Automotive Engineers) の自動運転レベル 2 相当の技術による対応可能性を以下のように整理した。

ハンドル操作を助ける機能：

1. 車線逸脱警報／車線逸脱抑制機能
2. 進入禁止／逆走防止機能
3. 信号・標識読み取り機能

アクセルとブレーキの踏み間違い：

1. 踏み間違い時サポートブレーキ
2. 後退時ブレーキアシスト

進路上の障害物認識機能：

1. 自動ブレーキシステム

2.3 低速モビリティの可能性

一方で、低速領域モビリティ分野では、乗り合いグリーンスローモビリティを含む時速 20 km/h 以下のモビリティに関する実証実験や社会実装が全国的に多数行われている。また、2023 年 7 月に行われた特定小型原動機付自転車の分類や道路交通法の一部改正は、パーソナルモビリティの低速領域において新たな展望を生み出した⁶⁾。こうした流れの中で、低速ならではの重大事故の低減が期待できることから、低速モビリティを高齢者の移動手段として利用することに検討の価値があると考えられる。

2.4 『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティのコンセプト

モビリティ研究会では、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティというコンセプトを考えてみた。『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティとは手放しでシステムが運転主体となる完全自動運転ではなく、ドライバーが自ら操作はするが、高齢ドライバーの不注意を補ったり、誤操作による事故の可能性を未然に防いだりするように人間に代わってモビリティのシステムが安全性を確保し事故を回避するための必要な機能を一通り装備する、分類上は自動運転レベル 2 ながらも、全面的な運転支援機能を実装するというコンセプトである。

このコンセプトを低速モビリティに組み合わせることで、高齢者であっても運転しやすいパーソナルモビリティとなることが期待される。さらに、操縦者（ドライバー）とのコミュニケーションや連携と協調の考えを進化させることができれば、ドライバーに安心感をもたらすとともに、ユーザの運転体験（ユーザエクスペリエンス）向上にもつながるものと考えられる。

3. 『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの社会受容性などの調査

高齢者の事故低減のために有効と考えたコンセプトである、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティを社会実装するにあたっての課題等を検討するため、ユーザ視点からの調査として、当事者たる高齢者へのアンケート調査によりニーズを調査し、また社会受容性について他の交通参加者たる車・バイクユーザ、自転車ユーザ、歩行者に対するアンケート調査を行った。さらに、有識者、地方自治体、車両メーカーに対するインタビューやアンケートにより、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの受容性および社会実装についてご意見をいただいた。

3.1 アンケート調査

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの受容性調査にあたり、ユーザとして想定している高齢者（65歳以上）および交通参加者に対してオンラインアンケート調査を実施した。本アンケートは、電子メール等による会社員や会社員の親族等に対するヒアリングが中心であるため、必ずしも任意抽出のデータとはなっていないが、高齢者で61件、一般の交通参加者（以下、交通参加者）で650件の回答を得た。

3.1.1 高齢ユーザ

年齢区分では65歳以上75歳未満が全体の63%であり、80歳以上は16%であった。居住区域は関東が64%と大多数であった。

運転免許証保持は72%、自主返納済みは13%であり、おおむね全国平均程度である。返納の意思は、一定の年齢になったらと回答した方が半数であり、返納する気がないと回答したのは15%にとどまった。

外出頻度は週4回以下と5回以上がおおむね半々であった。移動手段は徒歩が多く、次に自分が運転する車、公共交通、自転車、家族や知人の運転する車と続く。

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティを活用したいかとの問いには、「とても思う」と「少し思う」の回答者が6割弱であり、ニーズは高い。特に、自家用車との併用を希望する回答が最も多く、運転免許保持者であっても手軽で安全なモビリティへの興味が伺える。運転免許返納後や運転に自信がなくなった場合に利用したいとの意見も多数あった。

利用希望場面として、日常の買い物、悪天候時の外出、近隣のスーパーや郵便局など2~3kmの近距離移動、通院などを期待しており、予想していたような近距離の移動が主となった。

利用形態では、回答者の7割弱が月単位のレンタルや都度の課金を想定しており、購入を希望する回答者は2割に留まった。

アンケートにおける懸念事項についてのコメントから、懸念事項を抽出するために、テキストマイニングを活用して、大事な単語が直感的にわかるように図2を作成した。文字の大きさと頻出の高さを、色で品詞を表している（青色：名詞、赤色：動詞、緑色：形容詞・形容動詞）。

テキストマイニングとは、自然言語処理を用いた有益な情報抽出手法である。文章を単語や助詞などの文節で区切って解析し、単語の出現頻度や種類の増加数など、全体像や特徴の把握を目的とした大まかな分析との相性がよいとされている。

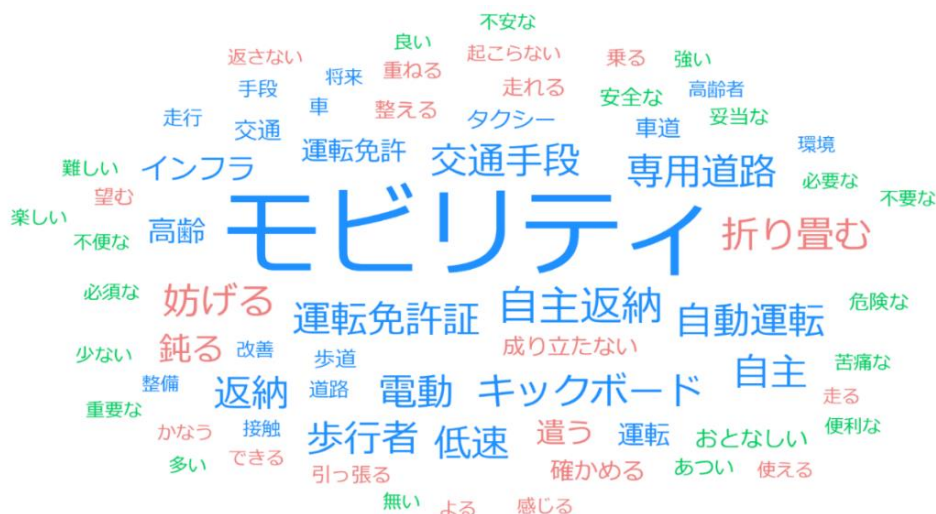


図2 高齢者のアンケートによる懸念事項のテキストマイニング結果
(※ユーザーローカルAIテキストマイニングによる分析 (<https://textmining.userlocal.jp/>))

テキストマイニングによると、懸念事項としてのモビリティや交通手段、自主返納、専用道路というキーワードに、多くの感心が示されていたという結果となった。

意見としては、以下のようなものが多かった。

- ・ 自動運転モビリティの速度が低い場合、車道での走行はバイクやクルマとの接触の危険性が懸念され、歩道を走ると歩行者との事故が心配される。
- ・ 専用道路整備が必要で、整備されれば利用が考えられる。
- ・ 自動運転モビリティの実現が望まれ、その場合は運転免許証の自主返納を検討する。
- ・ 田舎では交通手段が不足しており、運転免許証の返納が難しい。
- ・ 現在は特に返納の必要を感じていないが、安全な車があれば返納しなくても良い。
- ・ 自動運転モビリティがあれば利用したいとの希望がありつつも、速度や安全性、法整備に対する不安がある。
- ・ 自動運転車が発展すれば、運転免許証を返納することが望ましい。
- ・ 生活環境やインフラの整備が不可欠で、それが返納の可否に大きく影響する。

免許返納後の移動手段が大きな懸案であることはいままでもないが、走行区分（車道・歩道・専用道路）や、法整備についても懸案が示されていた。

3.1.2 交通参加者

調査対象者の年代は、40代と50代合わせて約60%、20代、30代、60代がそれぞれ10%強であった。地域区分で見ると、関東が78%と大多数である。

回答者の約半数が運転免許を保持しており、二親等以内の高齢者がいる割合は9割以上で、うち74%は徒歩圏外に住んでいる。回答者の内、同居および徒歩圏内別居の65歳高齢者家族で自主返納および失効しているものが合わせて37%あり、全国平均よりも高い比率となっている。

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの受容性について、車やバイクユーザ、自転車ユーザ、歩行者の3つのケースについて調査した。調査では、昼と夜に分けて賛否をヒアリングした。結果を図3に示す。

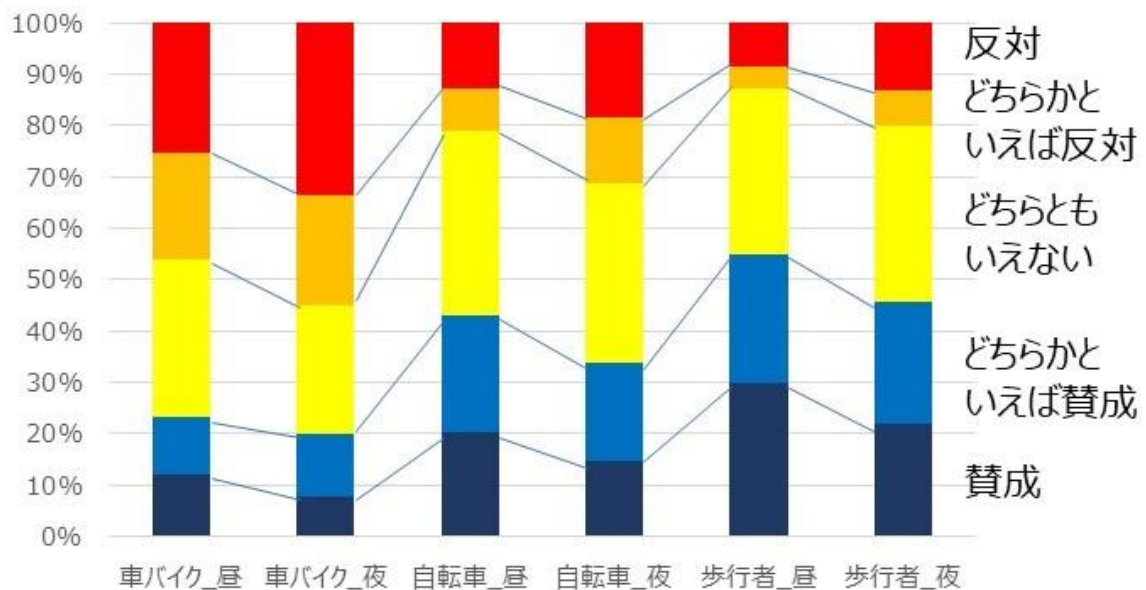


図3 一般交通参加者による『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの社会受容性アンケート結果

車やバイクのユーザ視点では、賛成は20%程度、反対は50%前後であり、特に夜の活用事例（ユースケース）では反対が増える傾向があった。シェアサイクルや電動キックボードよりも安全、高齢者への移動手段としての評価などの肯定的な意見も見られる一方で、交通渋滞への懸念や運転者から見て交通の妨げと感じるなど、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティに対する否定的な意見が散見された。

自転車ユーザ視点では、賛成が40%前後、反対が20%強であり、夜の方が否定的な傾向が多い。ここでも高齢者の移動手段としての理解はあるものの、交通の邪魔や渋滞懸念等の否定的な意見がみられた。

歩行者視点で意見は、賛成とどちらかといえば賛成は50%前後、反対とどちらかといえば反対が20%弱であり、夜のケースでネガティブ意見が増えるものの、おおむね好意的に捉えられている。ただし、走行が歩道なのか車道なのかが明確に区別されない場合には懸念があるなどの意見があった。

3.2 インタビュー

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの有用性、課題、社会受容性について、モビリティに関する有識者、地方自治体、車両メーカーに対してインタビューを行った。

3.2.1 有識者の見解

- センサ機能とコスト増に関する課題

低速モビリティといえども、自動運転を実現するためには十分な安全対策が必要となる。例えば交差点に入る前に、左右の道路から交差点に接近する車両や後方からの車両の検出などであり、そのためには自動運転レベル4、5を想定したセンサフュージョンによる認知、およびその判断の機能が車両側に必要となる。さらに、V2X（Vehicle to X：車両とさまざまなものとの間の通信や連携を行う技術）は車両の制御に関わる部分ではまだ使えないため、車両単体での高いレベルの安全性、信頼性を担保する必要があり、センサ数が増えることにより、コスト高となる。

また、超小型電気自動車であるコムスの実証実験⁷⁾では、ユーザの懸念はまず維持費、次がどこで購入できるか、航続距離がどのくらいか、というものであった。必ずしも『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティで同じ結果になるかどうかかわからないが、車両価格のみならず、維持費についても意識する必要がある。

- 高齢ドライバの認知機能に関連する課題解決の可能性

高齢ドライバとの話で、「どこへ行こうとしていたか分からなくなった」という話もよく聞かれる。これは運転能力以前の問題であるが、認知機能の低下した高齢者には、より高度な自動運転により、行先の事前設定のみで運行する必要があるだろう。高齢者本人によるコントロールが難しい場合、高齢者本人の親族などによる遠隔承認で補助するシステムも期待される。

高齢者に対する運転免許の更新時に行う教習では、運転方法や注意点についてその場では改善、理解を示すものの、時間が経つと以前の習慣に戻ってしまう事例が多く、効果が限定的であることが判明している。従って、交通事故低減の観点では、こうした高齢ドライバの変革を図るよりは、より安全なモビリティシステムを提供することが肝要である。

- 提供方式としてのモビリティサービス

安全機能の追加は車両の性能向上に寄与するが、その結果としてコストが上昇する。高齢者は、自分が使える年数に対する不安もあり、車両を保有するよりも、シェアリングサービスとして活用する方が、合理的と考える場合が多い。モビリティサービスはユーザの生活環境、利用シーンによって最適なものが異なることも多いため、単一のモビリティサービスに拘ることなく、利用可能な選択肢を増やすことが好ましい。

低速自動運転車両として、自宅からバス停を行き来するような実証も行われている。バス停まで電動車両で移動し、バスに乗車後車両は自動的に自宅に戻る。バスや乗り合いタクシーなどと連携させることにより、待ち時間がないような送迎も可能となる。

車両と運転者のバイタル情報をリンクすることも重要である。例えば心拍をモニターし、心拍数が増加すると運転速度を低下させるような制御をすることも可能である。また、こうした情報をクラウドにあげて学習することにより、どのような環境で不安を感じるか、という情報を元に制御に反映させることも可能である。

ユーザのニーズをしっかりと捉えて実体験させることが重要と考えられる。高齢者ユーザの生活を分析し、対象者の移動の範囲からふさわしいモビリティに乗り換えてもいいのではないかと、ということを実際に車両に乗車することでニーズが賄えることを実感してもらわないと高齢者ユーザがイメージできない。

さらに、コムスの実証実験から、2人乗りのニーズは高い。例えば子供を乗せたり荷物を載せたり、病院に連れていく等のユースケースがあげられている。

電動車椅子の場合など、その言葉の響きが嫌悪される場合が多いため、乗りやすく楽に運転できるもので、子供や孫からかっこいい、といわせるようなものになれば、すんなりと受け入れられる可能性は高い。

- 歩道走行と低速モビリティの可能性

歩道走行において、例えば、15 km/h 以下の低速モビリティの活用が可能となれば、将来的な低速モビリティの利用促進に寄与する可能性がある。

一方で、車道走行も考えた場合、地域にもよるが、シルバービークルの制限速度としては、30 km/h で生活レベルとしては十分だと考える。一般車両との共存は理解されにくいですが、ゾーン 30 にすれば車や人も共存できる。衝突事故の走行速度と歩行者が致命傷となる確率のデータ⁸⁾ からみても、時速 30 km/h を上限とするのは適切だと思う。

3.2.2 自治体の見解

・グリーンスローモビリティ（グリスロ）活用

地方自治体としてグリスロを無償で提供しているが、社会保障費の低減により相殺できると考えている。例えば要介護認定者への抛出が一人当たり年間 200 万円以上かかっている分を、グリスロに振り分けるようなイメージである。グリスロがうまく活用できているエリアでは、行動範囲が 1.5 倍～1.9 倍に拡大しており、ユーザのコミュニケーション改善が健康面でもポジティブに働いている。これが要介護者数減少（≒健康長寿）につながれば、社会保障費が圧縮され、費用面の問題は克服できる可能性がある。また、グリスロ運行により周辺部の見回りにもなることで、例えば火事や不審者情報なども取得できるため、非常に有用である。なお、グリスロのドライバも高齢者が担当しているケースが多く、安全性の確保が懸案事項となっており、グリスロの事故低減へのニーズも高い。

車両としては車幅 1,500 mm の軽サイズを適用しているが、ドアとエアコンがついていることが望ましい。現状、小型モビリティはニッチな領域であるが、今後、車両の選択肢が増えて、高齢者、子供、障がい者への対応が広がれば、より発展性があると考えられる。

・『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの活用

ニーズに合ったモビリティの活用が必要と考える。グリスロの場合、乗り合いであるため自由度は限定されるが、その分、車中での乗客同士のコミュニケーションが活発に行われるメリットがある。一般に、買い物はみんなで行くもの、病院は1人で行くものと言われるゆえんがここにある。また、買い物については、家とスーパーをグリスロで有機的につなげるだけではなく、スーパーの特売日情報なども行動の大きなモチベーションなので、日常生活の要素を取り入れたカスタマイズが重要で

あり、そうした用途に『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティのようなモビリティの活用も有効と考えられる。

3.2.3 車両メーカーの見解（開発者）

免許返納後のモビリティ手段を提供することは必須であり、その選択肢として、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティは候補の一つとして考えられるが、免許フリーにした場合は社会実装が遠く可能性があるため、免許制度と合わせて考えていかねばならない。

また、サイズ面でも考慮が必要である。操作ミスが起こらないような機能を高めるとサイズが大きくなる上に交通の妨げとなり、逆に運転操作容易性を求めて小さくすると、衝突からドライバの安全を担保しにくくなる。こうしたことを考慮したサイズ設定が重要と考えられる。

ドライバとシステムの責任所在も大きな課題であり、ODD（Operational Design Domain；運行設計領域：設計上、各自動運転システムが作動する前提となる走行環境条件のこと）の設定や自動運転システムの安全の担保についても考慮が必要と考えられる。

3.3 アンケートとインタビュー結果のまとめ

高齢者の免許返納後の移動手段として、モビリティ研究会で提案した『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティのコンセプトについて、その有用性や社会受容性を調査するためにアンケートとインタビューを行い、下記の結果が得られた。

高齢者事故対策、特に免許返納後の移動問題は根深く、さまざまなソリューションを準備する必要がある。その中で、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティは高齢者の移動課題を解決する大きな候補の一つであるといえる。

また、高齢者が短距離移動や特定の利用シーンにおいて、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティに対する需要があり、かつ交通参加者からも一定の受容性は確認できた。一方で、特に自動車やバイク等を利用している交通参加者からは、交通の邪魔、渋滞といった懸念が示されている。また、インタビューでも同様の指摘があり、交通参加者へ丁寧な説明と理解を求める必要がある。

3.4 考察

アンケートとインタビュー結果より、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティのニーズと社会受容性について、下記の通り考察できた。

・『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの実装について

『やわらかい自動運転』のコンセプトは低速モビリティと組み合わせる前提としているが、『やわらかい自動運転』の低速パーソナルモビリティを実装するには、実際の利用シーンに合わせて、走行環境を区分する必要がある。

有識者の意見にもあるように、対象者のニーズや住環境、ユースケースを明確にして仕様を決定する必要がある。例えば、歩道を通行する最高速度 15 km/h のモデルや車道を走行する 30 km/h のモデル等が検討の対象となりえるとの意見もあった。また、安全面と交通の妨げ、他の車両運転手の理解のためにも特に車幅は重要であり、安全性を担保できる範囲で小さく抑制することが必要であろう。

・『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの免許扱い

現在、免許不要で歩道を走行する車両の最高速度は 6 km/h である。制限速度の上限については、例えば欧州では、12.8 km/h が上限⁹⁾ となっているところもあり、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティの機能を実装している場合に免許不要とすることも検討の余地はあると考える。

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティが、最高速度 30 km/h 車両とした場合、免許は必要となるであろう。ただし、低速車両であり、危険回避の大部分をシステムが担うことを鑑みる

と、普通免許とは別区分の負担の少ない区分を新設することが適切と考えられる。この際、例えば免許返納時のオプションとして新区分を提供するなど、行政面での柔軟な対応があると望ましい。

・他のソリューションとの調和

『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティは、免許返納後の高齢者のモビリティとして有望なソリューションであると思われるが、唯一のソリューションではない。例えばグリスロ、オンデマンドバスなども含めた多様なソリューションとの連携も重要である。

・アンケート調査の制約

今回のアンケートでは、関東の会社員を中心とした調査であったこともあり、地域性を反映した調査となっていない。言うまでもなく、大都市圏の交通状況や生活状況は、地方都市部や中山間部などとは大きく異なるため、今回の調査が全国のニーズを捉えているわけではないことに注意が必要である。とはいえ、高齢ドライバーから一定の肯定的な意見がみられること、交通参加者からも肯定的な意見が多数みられることから、一定の受容性はあると判断する。一方、特に車やバイクユーザーから、低速車両が車道を走行することによる渋滞や心理的な嫌悪感がみられたこと、歩行者からは、車道、歩道区分が明確でない場所での走行における課題などが指摘されており、こうした意見に対するケアが必要である。

4. まとめ

高齢ドライバーの免許返納を妨げている免許返納後の移動課題を解決する一つの選択肢として、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティという新しいコンセプトを想定し、その社会的受容性について検討した。

アンケート調査、有識者インタビューの調査結果から、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティは、サイズ、最高速度などの制約を設けることで、一定の社会受容性があると考えられる。このモビリティは、高齢ドライバーによる事故リスクを軽減しつつ、移動課題を解決する大きな選択肢の一つとなると期待される。

今回の調査においては、『やわらかい自動運転』低速パーソナルモビリティが高齢ドライバーに受容性があるかということを中心に調査を行ったのみで、自動運転の機能や技術的部分にまで、踏み込んだ検討を行っていない。また、法整備の観点からの検討も行っていないため、次年度（2024年度）以降の課題となると考えている。

今後、速度制約を含めた仕様面の検討もさることながら、免許制度を含めた法整備、ユーザーや他交通参加者への理解を求めめるために、産官学や地域の自治体などが協力連携していくことが重要となる。

謝辞

本研究は以下の団体にアンケート、インタビューへご協力頂きました。ここに記して感謝申し上げます。（順不同）
千葉県松戸市
東京工業大学

参考文献

- 1) 警察庁: 運転免許統計, <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/menkyo.html>, (参照 2024-3-26)
- 2) 警察庁: 運転技能検査について, https://www.npa.go.jp/policies/application/license_renewal/ginoukensa.html, (参照 2024-3-26)
- 3) ニッセイ基礎研究所: 高齢者の免許返納率の推移, <https://www.nli-research.co.jp/report/detail/id=74621?pno=2&site=nli>, (参照 2024-3-26)
- 4) 国立長寿医療研究センター: 運転中止による弊害 ～運転を中止すると、要介護状態や認知症発症のリスクを高める <https://www.ncgg.go.jp/ri/lab/cgss/department/gerontology/gold/about/page2.html>, (参照 2024-3-26)

- 5) 警察庁: 令和5年における交通事故の発生状況について,
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/jiko/R05bunseki.pdf>, (参照 2024-3-26)
- 6) 警察庁: 特定小型原動機付自転車に関する交通ルール等について,
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/anzen/tokuteikogata.html>, (参照 2024-3-26)
- 7) トヨタ車体: 自治体活用事例 コムスを使った新しい暮らしが全国各地で広がっています,
<https://coms.toyotabody.jp/trials/>, (参照 2024-3-26)
- 8) 警察庁: 速度による停止距離,
https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/regulation_wg/teigen/siryou2.pdf, (参照 2024-3-26)
- 9) 国土交通省: 海外の電動車椅子の利用に関する調査結果,
<https://www.mlit.go.jp/common/001173556.pdf>, (参照 2024-3-26)

電動二輪車の交換式バッテリーの現状

モビリティ研究会*1 調査報告 (6)*

岩崎 一真*2
Kazuma IWASAKI

大野 肇*3
Hajime ONO

木下 壽英*4
Toshihide KINOSHITA

大庭 敦*5
Atsushi OHBA

中塚 喜美代*5
Kimiyo NAKATSUKA

モビリティ研究会では、カーボンニュートラルに関連したテーマとして、「電動二輪車の交換式バッテリー」に着目した。電気自動車の普及が急務である中、航続距離の延伸に対応するため、バッテリー積載量は増加傾向にあり、バッテリーの重量増による電費への影響や、道路への荷重増等が課題となっている。これらの課題解決策として、注目されているのが交換式バッテリーであり、交換式バッテリー事業者と二輪メーカーの関係者に対してヒアリング調査を行い、その普及に向けた現状と課題について整理した。

KEY WORDS: 交換式バッテリー, 電動二輪車, カーボンニュートラル, 標準化, 新興国, 先進国

1. はじめに

温室効果ガス排出削減等の新たな国際的枠組みであるパリ協定¹⁾が2020年に本格運用を開始し、世界でカーボンニュートラルに向けた動きが加速している。その中で大きな役割を担っている自動車産業では、ガソリンを全く使わないCO₂排出ゼロである電気自動車の普及が急務となっている。普通乗用車では2010年12月に世界初の量産電気自動車として販売が開始された日産リーフを皮切りに、2022年時点での電気自動車の世界販売総台数は2,600万台に達し、2030年には2億5,000万台まで上昇すると予測されている(国際エネルギー機関(IEA)の見通し²⁾)。そのような状況の中、自動車メーカー各社は航続距離の延伸のためのバッテリー高容量化を図った結果、バッテリーの重量増加が顕著となっている(図1)。

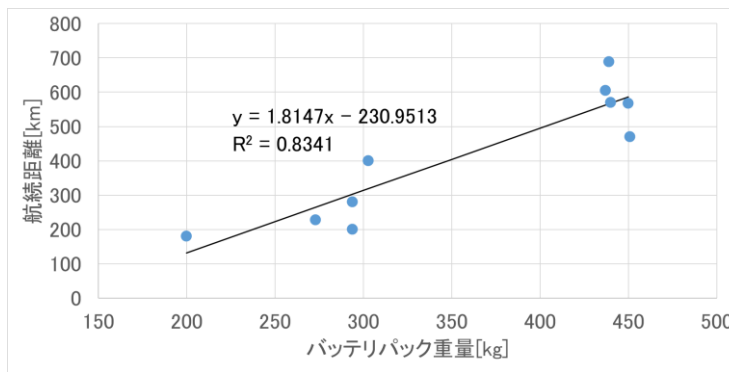


図1 JARIモビリティ研究会による電気自動車メーカーバッテリーパック重量と航続距離調査結果
(調査対象2010年~2023年)

* 2024年4月9日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所(JARI)が主催しJARI外のメンバーが参加して調査研究を行う研究会
活動の詳細 https://www.jari.or.jp/research-content/mobility/research/57/#anc_a_0

*2 株式会社小糸製作所(2024年3月まで)

*3 SMBC日興証券株式会社

*4 SMBC日興証券株式会社(2024年3月まで)

*5 一般財団法人日本自動車研究所 新モビリティ研究部

一方、バッテリーの重量増加による電費への影響や道路への荷重増（道路の老朽化）等が課題とされており、「航続距離を増やす=バッテリーの重量が増加する」こと自体が正しい方向に進んでいるのかは疑問である。道路への荷重増では、路面の摩耗によるメンテナンス費用の増加に加え、自動車側のタイヤの摩耗により発生する粉塵に含まれる環境汚染物質の排出量増加³⁾が懸念されている。

また、都心部での電気自動車ユーザは通勤や買い物等で一日に移動する距離は平均 30 km 程と限られており、多くの場合、航続距離は日常の通常の移動においては、それ程重要ではなく、必要となった時に素早く補充できる仕組みがあれば対応できるものと考えられる。

そこで、モビリティ研究会では、航続距離についての解決策として、昨今 JAPAN MOBILITY SHOW 2023 や東京オートサロン 2024 でも話題となった「交換式バッテリー」、その中でも一足早く普及が進むとみられる電動二輪車向けに着目し、その動向と普及に向けた現状や課題について調査を行い、今後の普及に向けた現状と課題について整理した。

2. 交換式バッテリー市場の現状

2.1 交換式バッテリーの概要

交換式バッテリーについて言及する前に、電動二輪車向けバッテリーについて整理すると、大きく分けて 2 つの種類があり、1 つは着脱式 (Removable Batteries) で、もう 1 つは固定式 (Fixed Batteries) である。着脱式とは、文字通りユーザが電動二輪車本体からバッテリーを取り外して充電することができる形式である。これに対して固定式とは、ユーザが電動二輪車本体からバッテリーを取り外すことなく充電することを前提としたものを指す。交換式バッテリー (Swappable Batteries) は、着脱式のバッテリーに分類されるものであり、現状ではシェアリングでの利用を主用途としている点が、個人所有を主目的とする着脱式バッテリーと大きく異なる。

2.1.1 交換式バッテリーの位置づけ

前述の通り、交換式バッテリーは着脱式バッテリーに含まれるが、着脱式との大まかな違いとしては、充電方式、充電時間、利用料金である (表 1)。

表1 交換式バッテリーの位置づけ

	着脱式 (Removable)	固定式 (Fixed)
充電方式	自宅(屋内が主流)で「充電」	自宅(屋外が主流)、オフィス等充電施設設置場所で「充電」
バッテリー容量イメージ	～ 2 kWh	3 kWh ～
航続距離	50 km 程度	50 km ～ 75 km 程度
充電時間	約 4 時間 ～ 6 時間	約 4 時間 ～ 6 時間
利用料金	車両+バッテリー+充電器(+バッテリーの買い替え料金)	車両+バッテリー+充電器(+バッテリーの買い替え料金)
	交換式 (Swappable)	
充電方式	交換式バッテリーステーションでバッテリーを「交換」	
バッテリー容量イメージ	～ 2 kWh	
航続距離	50 km 程度	
充電時間	1 分以下 (既にステーション内で充電済みのものと交換する場合)	
利用料金	車両+バッテリー利用料	

されることが実証実験データから確認できている。交換回数は、バッテリーの充放電回数と同義であり、充放電回数が平準化されるということは、バッテリーの劣化も平準化される傾向にあるとみて良い(図 3)。

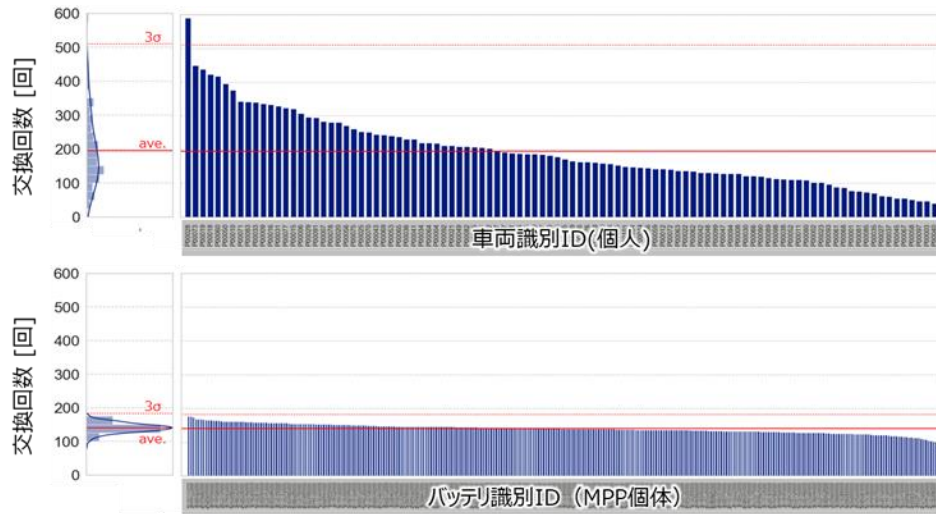


図3 交換式バッテリーの劣化の平準化（出典：本田技研工業株式会社資料）

2.2.2 デメリット

交換式バッテリーのデメリットとしては、(1) バッテリー 1 個当たりの重量が 10 kg 程度と重いため、高齢者や女性にとってはやや交換時の障壁となること、(2) チョイ乗り利用を前提としているため、航続距離が短いこと、(3) 寒冷地や砂漠等の気候の変動が激しい地域でバッテリーを適温状態にするために必要な設備コスト負担が増えること、(4) ステーションが近くにないと交換式バッテリーのメリットを十分に享受できないこと、等が挙げられる。

2.3 日本国内の交換式バッテリー市場

日本の交換式バッテリー市場のプレーヤ（交換式バッテリーのステーション運営）として、Gachaco が挙げられる。同社は 2019 年 4 月に、本田技研工業株式会社、川崎重工業株式会社、スズキ株式会社、ヤマハ発動機株式会社が創設したコンソーシアムを基盤としている⁵⁾。2021 年 3 月には同 4 社により標準化の合意がなされた。そして 2022 年 4 月 1 日に ENEOS ホールディングス株式会社を加えた 5 社により、電動二輪車の共通仕様バッテリーのシェアリングサービス提供及びシェアリングサービスのためのインフラ整備を目的として「株式会社 Gachaco⁶⁾」が設立された。現在のステーションは 55 カ所設置済（東京 47 カ所、大阪 7 カ所、埼玉 1 カ所、2024 年 3 月末時点）であり、2021 年～2022 年度では東京都 23 区および大阪府北摂エリアを中心に事業展開している。今後も首都圏を中心にステーション設置を推進していく見通しという。利用料金としては、ライト・プランで月会費 980 円（税抜）、従量課金 180 円/kwh（税抜）であり、スタンダード・プランで月会費 2,550 円（税抜）、従量課金 170 円/kwh（税抜）となっている。

2.4 海外の交換式バッテリー市場

海外の交換式バッテリー市場は、二輪車の保有台数が多い新興国（台湾、インド、インドネシア等）で多くの事業者がいる状況である。その中でも最大規模の事業者は、交換式バッテリーのステーションを 2,575 カ所設置済（2024 年 2 月末時点）である台湾の Gogoro である。同社は 2011 年に設立され、持続可能なエネルギーと交通手段を世界の都市の大衆に導入するというビジョンを掲げ、電動スクータの製造から事業を開始した。その後、2015 年に始めた「GoStation」と呼ばれる交換式バッテリーステーションのサービスは破竹の勢いで普及し、2024 年 1 月末時点でユーザが約 60 万人に達している。同社は、

交換式バッテリーのビジネスモデルを確立した世界の先駆者となった。母国台湾だけでなく、中国、韓国、シンガポール、フィリピン、インド、インドネシア、イスラエルにも市場を拡大しており、2024年1月には南米進出が発表され、普及の勢いは衰えていない。利用料金としては、短距離通勤プランで月319台湾ドル（約1,500円）、中距離通勤プランで月519台湾ドル（約2,450円）、長距離通勤プランで月819台湾ドル（約3,870円）であり、それぞれのプランで利用可能なバッテリー容量（アンペア時）の制約がある。以降はアンペア時ごとに2.3台湾ドル（約10円）の従量課金となっている。また、月1,269台湾ドル（約6,000円）で約1,600kmの遠距離走行可能なプラン等もあり、ユーザの利用スタイルに合わせた選べるプランが充実している。

2.5 国内と海外の交換式バッテリー市場の特徴（類似点、相違点、ほか。）

日本国内と海外の交換式バッテリー市場を比較した場合、二輪車の利用用途によって特徴が異なる。日本等の先進国では二輪車が日常利用以外にも趣味性の高い乗り物として扱われることが多いのとは異なり、新興国では日常の移動手段としての活用が中心となっている。このため、新興国と先進国に分けて特徴を説明する。

2.5.1 国内と新興国の交換式バッテリー事業者の比較

新興国における主な事業者としては、Gogoro（台湾、中国、シンガポール等）、KYMCO⁷⁾（台湾）、Sun mobility⁸⁾（インド）、Bounce⁹⁾（インド）、swap¹⁰⁾（インドネシア）、Selex¹¹⁾（ベトナム）、Oyika¹²⁾（シンガポール、マレーシア、タイ等）等が挙げられる（表2）。

表2 国内と新興国の交換式バッテリー市場の比較（※写真は、各社Webサイトより引用）

		国内	新興国						
国名		日本	台湾	台湾	インド	インド	インドネシア	ベトナム	シンガポール
会社名		Gachaco	Gogoro	KYMCO	Sun mobility	Bounce	swap	Selex	Oyika
主な展開地域		日本 (東京、大阪)	台湾、中国、 韓国、インド、 シンガポール、 フィリピン、 インドネシア、 イスラエル	台湾	インド北部、 南部	インド南部	インドネシア 全土	ベトナム南部、 中部、北部	マレーシア、 カンボジア、 インドネシア、 タイ
ステーション外観									
ステーション設置数		35カ所	2,576カ所	約2,967カ所	620カ所	62カ所	1,300カ所	44カ所	200カ所
ビジネス モデル	OEM	該当なし	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり	該当なし	該当あり	該当あり
	ステーションサービサ	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり
利用料金	移動距離のニーズに 応じた複数プラン	該当あり	該当あり	該当あり	不明	該当なし	該当あり	該当あり	該当あり
	月額制	該当あり	該当あり	該当あり	不明	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり
	従量課金制	該当あり	該当あり	該当あり	不明	該当あり	該当あり	該当あり	該当あり
交換式 バッテリー	形状								
	容量	1.3 kWh	1.6 kWh	0.65 kWh	1.5 kWh	2 kWh	1.47 kWh	1.16 kWh	1.8 kWh
	重量	10.2 kg	9.8 kg	5 kg	13 kg	12 kg	11.5 kg	7.1 kg	10 kg
	エネルギー密度	0.13 kWh/kg	0.16 kWh/kg	0.13 kWh/kg	0.12 kWh/kg	0.17 kWh/kg	0.13 kWh/kg	0.16 kWh/kg	0.18 kWh/kg

国内と新興国の交換式バッテリー市場の共通点としては、(1) サービス利用料金が通信事業者のサブスクリプションと同じような月額制や従量課金制を導入している、(2) 交換式バッテリーのエネルギー密度が0.1 kWh/kg ~ 0.2 kWh/kg であり、現行の電気自動車や固定式バッテリーのエネルギー密度と同程度である。また、国内と異なっていた特徴としては、(1) 事業の展開地域が自国だけでなく他国にも展開している、(2) 事業者のビジネスモデルが交換式バッテリーのシェアリングサービスだけでなく電動バイク等の製造メーカ (OEM) にも携わっている事業者がある、(3) 交換式バッテリーステーションのバッテリー収納スペースに蓋付き構造が備わっている、等が挙げられる。

外観の印象を大きく左右する交換式バッテリーステーションの蓋つき構造については、環境要因である雨や塵等から守られることで内部のコネクタとの接触不良を防ぐ狙いであることが想定される。ただし、開閉不具合やバッテリー交換の手間が発生する懸念等があることから、Gachaco や Gogoro では蓋が無い構造を採用している。環境要因については、バッテリー収納スペースの内部が傾いていて、雨や塵等がコネクタ部に到達しないような工夫を施しているため問題無いとみられる。

2.5.2 国内と先進国の交換式バッテリー事業者の比較

先進国における交換式バッテリーの主な事業者としては、acciona¹³⁾ (スペイン)、Swobbee¹⁴⁾ (ドイツ、アメリカ) 等が挙げられる (表 3)。

表3 国内と先進国の交換式バッテリー市場の比較
※写真は、各社Webサイトより引用

		国内	先進国	
国名		日本	スペイン	ドイツ
会社名		Gachaco	acciona	Swobbee
主な展開地域		日本(東京、大阪)	スペイン全土	ドイツ全土、アメリカ(ニューヨーク)
ステーション外観				
ステーション設置数		35カ所	100カ所	29カ所
ビジネスモデル	OEM	該当なし	該当あり	該当なし
	ステーションサービス	該当あり	該当あり	該当あり
利用料金	移動距離のニーズに応じた複数プラン	該当あり	該当あり	該当あり
	月額制	該当あり	該当あり	該当あり
	従量課金制	該当あり	該当あり	該当あり
交換式バッテリー	形状			
	容量	1.3 kWh	5.6 kWh	1.67 kWh
	重量	10.2 kg	40 kg	9.9 kg
	エネルギー密度	0.13 kWh/kg	0.14 kWh/kg	0.17 kWh/kg

国内と先進国の交換式バッテリー市場の共通点としては、新興国と同様である。また、国内と異なっていた特徴としては、(1) 事業の展開地域が自国だけでなく他国にも展開している、(2) 事業者のビジネスモデルが交換式バッテリーのシェアリングサービスだけでなく電動バイク等の製造メーカ (OEM) にも携わっている事業者がある、(3) 交換式バッテリーの二輪車装着手法が手持ちではなく手押し車式を導入している事業者がある、(4) 電動二輪車のみならず、電動キックボードや電動バイク等の多用途に対応した交換式バッテリーステーションとして対応しているものもある、等が挙げられる。

今回の現状調査で最も重い交換式バッテリー (40 kg) を採用している *acciona* は、一人で持てる重さを大幅に超えているため、手押し車式を導入していると想定される。一人で持ち運べる重さの限界値として、灯油 18 L (14.5 kg) が指標とされることがあるが、今後バッテリー性能の向上やニーズの変化により、14.5 kg 以上のバッテリーが採用される場合には、手押し車式の交換式バッテリーも解決手段の一つとなる可能性が高い。ただし、バッテリーの重量があるため、他のステーションのようにバッテリーを縦方向に積み上げるには向かないため、ステーションの面積効率は低いとみられる。

2.6 交換式バッテリーの現状の課題点

交換式バッテリーの課題としては、バッテリーが重いことによる取り扱いの制約、取り扱える重量に収めた場合に航続距離の上限が決まってしまうことがある。また、電欠を気にせず動き回るためには航続距離の範囲内に次のバッテリーステーションがあることが求められるため、バッテリーステーションというインフラの整備を進めることが普及には必要となっている。現状では、ステーション設置場所に制限があること、認知度がまだ低くスケールメリットが出づらいつい状況にあることから、バッテリーステーションが設置されている地域は限定的であり、今後、どう拡大していくのかは課題と考えられる。

2.6.1 補助金の動向

電動二輪車向けの補助金は、国による補助金と都道府県による補助金・税額控除に大別される。まず、国による補助金として CEV (Clean Energy Vehicle) 補助金 (クリーンエネルギー自動車導入促進補助金)¹⁵⁾ が挙げられる。CEV 補助金とは、令和 5 年 (2023 年) 12 月に策定された GX 実現¹⁶⁾ に向けての分野別投資戦略を背景として、経済産業省 (一般財団法人次世代自動車振興センター) が実行する補助金であり、令和 5 年 (2023 年) 度の補正予算額は 1,291 億円¹⁷⁾ となっている。補助対象、金額について表 4 に示す。なお、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド (PHV)、燃料電池車両 (FCV) についてはメーカー希望小売価格 (税抜) が 840 万円以上の車両は算定された補助額に価格係数 0.8 を乗じるが、超小型モビリティ、ミニカー、電動二輪車については従来制度に基づき補助額を決定することとしている。また、クリーンディーゼル車は令和 5 年 (2023 年) 4 月 1 日より補助金対象外となっている。

表4 CEV補助金の概要

車両	上限額
電気自動車 (EV)	85万円
軽電気自動車 (軽EV)	55万円
プラグインハイブリッド車 (PHEV)	55万円
燃料電池車両 (FCV)	25万円

また都道府県による補助金・税額控除に関しては、代表例として東京都が挙げられる。東京都では、「2050 年 CO₂ 排出実質ゼロ」に貢献する「ゼロエミッション東京」の実現に向け、都内で新車販売される二輪車を 2035 年までに 100% 非ガソリン化することを目指している。補助対象車両としては、国の補助金 (CEV 補助金) で対象となっている電動側車付二輪自動車・電動原動機付自転車に加え、交換式のバッテリーなしで販売される車両 (バッテリーシェアサービス等、別途、交換式のバッテリー

を確保するユーザ向けの販売)も追加された。補助額としてはガソリン車両との価格差から国の補助金を除いた額(上限18万円(原付一種(三輪除く)),上限48万円)となっている¹⁸⁾(図4,図5)。

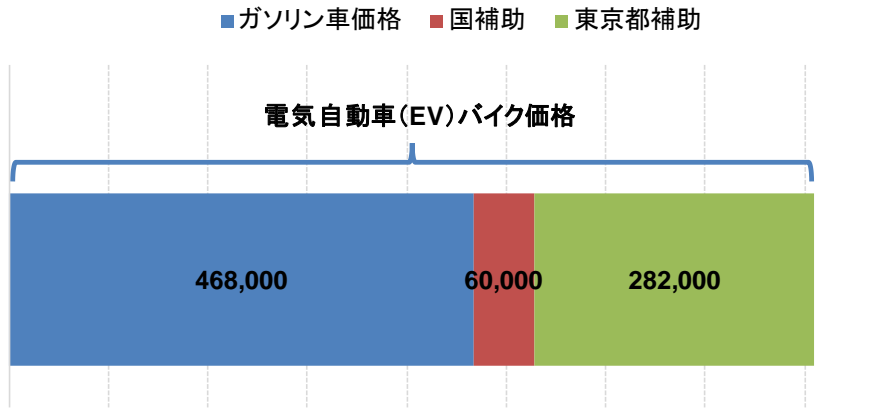


図4 電動二輪車(EV)に対する補助金のイメージ(東京都)

(単位:円)	BENLY e: I	BENLY e: Iプロ	GYRO e:	GYRO CANOPY	EM1 e:	BENLY e: II	BENLY e: IIプロ
メーカー	本田技研工業株式会社						
イメージ							
車種	原付一種				原付二種		
タイプ	BENLY e: I (ビジネス EV)	BENLY e: Iプロ (新聞配達仕様)	GYRO e:	GYRO CANOPY	EM1 e:	BENLY e: II (ビジネス EV)	BENLY e: IIプロ (新聞配達仕様)
小売価格	526,900	537,900	713,900	878,900	320,100	526,900	537,900
車両本体	363,000	374,000	550,000	715,000	156,200	363,000	374,000
バッテリー	108,900	108,900	108,900	108,900	108,900	108,900	108,900
充電器	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000	55,000
補助対象額	240,000	240,000	345,000	342,000	59,000	279,000	276,000
CEV補助金	60,000	60,000	60,000	60,000	23,000	69,000	69,000
東京助成金	180,000	180,000	285,000	282,000	36,000	210,000	207,000

図5 東京における車両の補助金の例(車両等の価格は本田技研工業Webサイト^{19), 20)}より

注: 補助金の対象となるのは, 車両本体, バッテリーの購入が前提となる。なお, 充電には充電器が必要

2.6.2 補助金の重要性とその背景

このように電動車両に対して補助金が増加している背景, 電動化の推進という大きなテーマを前提に, (1) 更なる普及に向けては, ユーザにとって電動車両の価格帯が高いことが障壁となっていることが挙げられる。さらに, このような需要者側への補助金だけでなく, (2) バッテリーを供給する事業者のバッテリー工場建設等にも補助金が付く事例もある。例えば, 株式会社 ジーエス・ユアサ コーポレーションと本田技研工業株式会社が計画する車載用蓄電池の量産に向けて, 最大1,587億円の助成金が適用されたことが例として挙げられる。

バッテリービジネスの投資負担が重いことは, 海外の事業者の例からも推察できる。例えば, 韓国大手2社の設備投資額は高水準が継続しており(図6), Gogoroは高水準の投資が継続, 営業利益は赤字が拡大し続けている(図7)。Gogoroの場合は, バッテリー製造, 車両製造(OEM), サービスと, 日本

の Gachaco よりも手掛ける事業領域が広く、大きな投資負担が必要とされるため償却負担が重くなることで、黒字転換までにかかなりの時間を要しているものとみられる。車両製造コストの約 20 %~30 % を、バッテリーが占めるともいわれており、需要者、供給者どちらの側にもボトルネックになっていると思われるため、政府による補助金及びその継続性が重要と考えられる。

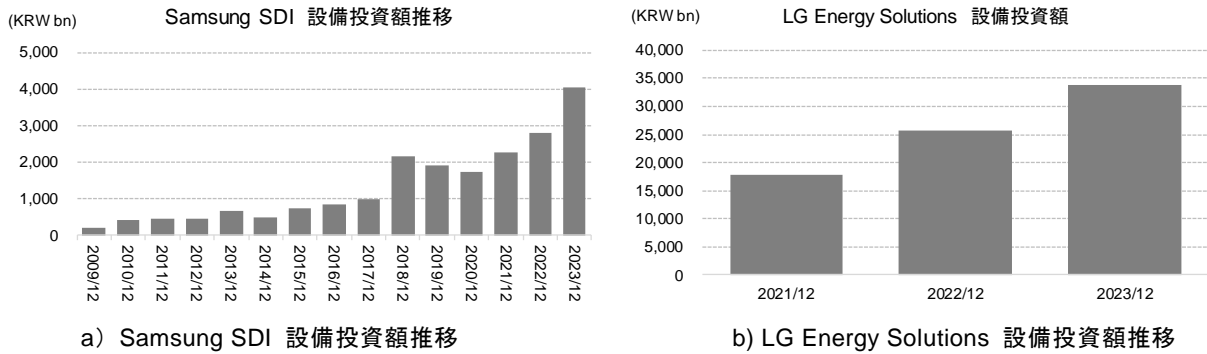


図6 韓国バッテリー事業者各社の設備投資額推移

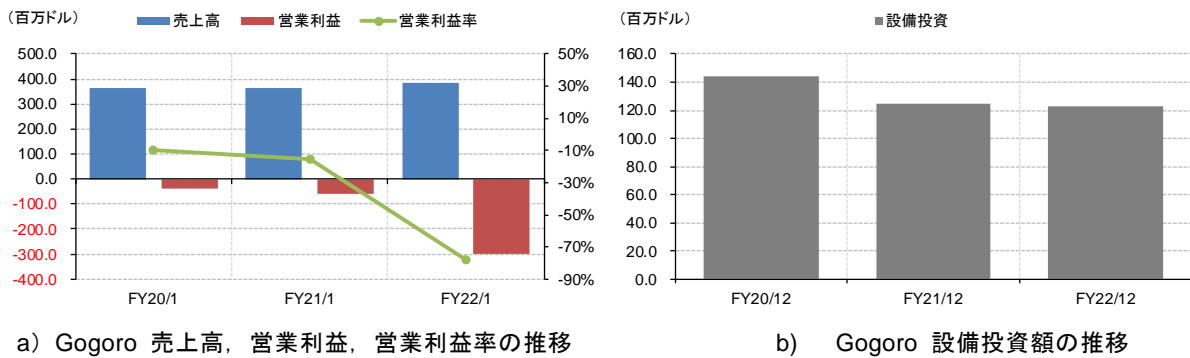


図7 Gogoroの財務状況

2.7 交換式バッテリーの標準化に向けた取り組み

交換式バッテリーの標準化に向けた取り組みを進めている団体として、電動二輪車用交換式バッテリーコンソーシアム（国内）、SBMC（The Swappable Batteries Motorcycle Consortium）²¹⁾等が挙げられる。

2.7.1 国内における取り組み

電動二輪車用交換式バッテリーコンソーシアム（国内）では、すでに2021年3月に交換式バッテリーの標準化に合意している。日本自動車技術会規格（JASO）で規格化を行い、この規格に合ったバッテリーパックに適用したスクータを、スズキ、本田技研工業が開発している。現状、このコンソーシアムとENEOSが手を結ぶ形で立上げたGachacoが、これらの車両に対し、交換式バッテリーサービスの事業運営を行っている状況のため、仕様が統一されたバッテリーの展開が進んでいるものと考えられる。

2.7.2 海外における取り組み

SBMCは2021年9月に設立された電動二輪車および小型電動モビリティの普及を目的に創設した交換式バッテリーコンソーシアムであり、2022年7月には欧州標準化委員会のリエゾンメンバ（連携メンバ）として受け入れられた。

2.7.3 標準化に向けた課題

上述の通り、日本では Gachaco、欧州では SBMC 等で標準化の動きがある一方で、グローバルで見ると、標準化に向けた課題は多く残る。日常の移動手段として二輪車が多く使われている新興国、例えば台湾や東南アジア、インド等では多数の事 5 業者が乱立しており、それぞれ独自仕様のバッテリーを使っている（表 5）。従って、今後、先進国で電動二輪車の普及が進む場合には、補助金の動向にて言及したような、投資負担の軽減や、他用途に向けた展開、リサイクル、といった観点で、標準化したバッテリーをベースにした車両開発・製造を行うことが望ましい。さらに、電動化や標準化に向けては「総論賛成、各論反対」とならないように、サプライチェーン全体での協調が必要と考えられる。

表5 各社のバッテリーパックとステーションの比較（※写真は、各社Webサイトより引用）

	Honda	Gogoro	Sun Mobility	Swap	Infinity	Tycorun
バッテリーパック						
ステーション						

3. 交換式バッテリー市場の今後の見通し

3.1 カーボンニュートラル達成に向けたバッテリーの技術革新への期待と現状

前述の 2.6.1 の補助金のパートで言及した通り、事業者による投資実行や補助金給付がなされており、政府や事業者によるカーボンニュートラル達成の期待は先行しているものの、バッテリー製造時に排出される温室効果ガス排出量に関する議題は、実際の事業従事者を除き、十分に議論されてないものと思われる。仮に、バッテリー製造時に排出される温室効果ガス排出量が、ガソリン車利用により排出される温室効果ガス排出量を下回れば、電動車普及によるカーボンニュートラルへの貢献がなされるといえるだろう。しかし、現状のバッテリー製造技術には限界があり、製造技術の革新がなされない限り、単純にバッテリーを使用することが脱炭素社会への貢献とはならない。

バッテリーの技術革新によるエネルギー密度の向上については何年も前から議論されているものの、期待先行で目標の達成は先送りが続いている。マンガンリッチなバッテリー材料（ベルギーの Umicore²²⁾ 等）やシリコン負極の開発（パナソニックエナジー株式会社、株式会社 ジーエス・ユアサ コーポレーション、TDK 株式会社等）、全固体電池（トヨタ自動車株式会社、日立造船株式会社、TDK、Samsung SDI²³⁾、LG Energy Solutions²⁴⁾ Cornex²⁵⁾ 等）等の開発が進んでいるが、それぞれ 2020 年代後半の実用化程度とされており、まだ実用化に向けては時間がかかるとされる。

3.2 交換式バッテリーの普及によって想定される恩恵

上述の技術革新への期待を除き、現状のバッテリーの技術成長によるエネルギー密度上昇がリニアであると仮定しても、交換式バッテリーとバッテリーステーションが普及した場合には、さまざまなメリットが想定される。バッテリーが標準化されたものであれば、普及することによって、スケールメリットが発生し、普及の促進、価格低下、利用増加の好循環が促進されると考えられる。バッテリーステーションのネット

ワークが整備されていれば、電欠の心配がなくなり、搭載するバッテリーを小型化することもできる。言い換えれば、「限られた資源の中で、バッテリーを有効に活用する」ことが可能になるということである。

標準化されたバッテリーの利用用途の広がりとして、小型建機、フォークリフト、災害用バックアップ電源、系統補助電源、キャンプ用電源等が挙げられる。このようなバッテリー利用の取り組みは様々な事業主体が取り組んでいる。例えば、MUFG PARK²⁶⁾においては、防災時の蓄電池やキッチンカー、イベントでの活用等の利用用途の広がりについて多用途展開の可能性の探求も行っていき、としている。2024年2月29日のプレスリリースでは、「MUFG PARK」における電動二輪車用交換式バッテリーの多用途活用及びマルチモビリティサービスの導入を発表した（表6、図8）。

表6 MUFG PARKにて導入した（導入予定含む）サービス・機器の概要

サービス・機器	導入時期	設置数	名称	提供会社
電動二輪車用バッテリー交換ステーション	2023/6	1基（バッテリー10個）	Gachacoステーション	株式会社Gachaco
着脱式ポータブル電源	2024/3	2台（バッテリー2個）	Honda Power Pod e:	本田技研工業株式会社 株式会社ホンダパワープロダクツジャパン
電動スクーター	2024/3	2台（バッテリー2個）	HELLO MOBILITY	OpenStreet株式会社
電動アシスト自転車 電動キックボード	2024/3	2台（バッテリー2個）	LUUP	株式会社Luup



a) Gachacoステーション／「Honda Mobile Power Pack e: ²⁷⁾」 b) 「Honda Power Pod e: プロトタイプ」



c) 「HELLO MOBILITY」

d) 「LUUP」

図8 MUFG PARKにて導入した（導入予定含む）サービス・機器の例

また、本田技研工業はヤマト運輸株式会社と共に、交換式バッテリーを動力源とした軽電気自動車（MEV-VAN Concept）による実証実験を行っている²⁸⁾（図9）。プレスリリースによれば、このコン

セプト車両では、本田技研工業の交換式バッテリーである「Mobile Power Pack e」を8本搭載している。日中に太陽光で発電した再エネ電力により充電した交換式バッテリーを使用することで、充電による待機時間の削減や電力使用のピーク緩和等により効率的なエネルギーマネジメントの実現に貢献できるとしている。なお、このコンセプト車両は JAPAN MOBILITY SHOW 2023 において展示されていた。このように軽電気自動車においても交換式バッテリーの活用の検討が進められている。



実証で使用するMEV-VAN Conceptテスト車両



交換式バッテリーを搭載した車内

a) 実証で使用するMEV-VAN Conceptテスト車両

b) 交換式バッテリーを搭載した車内

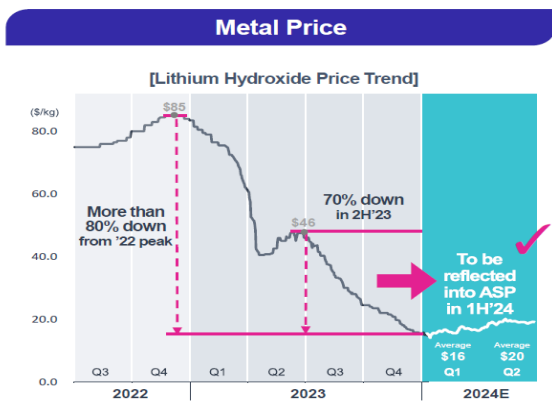
図9 本田技研工業株式会社とヤマト運輸株式会社の交換式バッテリーを活用した実証実験

(出典：ヤマトホールディングス株式会社)

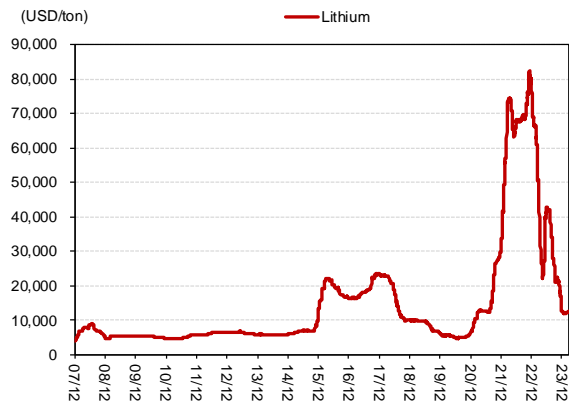
単にバッテリーを高度化させることに注力するだけでなく、バッテリーを標準化し、さまざまなシーンにおいて用途を広げ、二次利用が可能になれば、これまでにはなかった新たな需要が生まれる可能性もあると考えられ、カーボンニュートラル実現への可能性が広がっていくのではないかと考えられる。

3.3 リユース、リサイクルに向けた取り組み

現状のガソリン式から電動式へ移行するにあたり、さまざまな制約が存在する。バッテリー価格の観点では 2020 年以降高騰していた炭酸リチウム価格は大幅に下落しており、バッテリーセル単価が低下することにより、バッテリー価格も低下傾向にある (図 10)。



a) 炭酸リチウムイオン価格の推移



b) 中国における炭酸リチウムのスポット価格推移

図10 炭酸リチウム価格の推移 (出典：LG Energy Solutions Q4 2023決算説明会資料/Bloomberg)

一方、リチウムイオン電池では貴金属を使用していることによるバッテリーのコスト高も課題として挙げられており、加えて、急激な生産増加に対してリチウムの鉱山開発が進んでいるものの、鉱山周辺の環境破壊の観点²⁹⁾から環境負荷へ不透明感が残る状況となっている。昨今高まりを見せる地政学リスクを踏まえれば避けて通れない問題であると考えられ、バッテリー自体にリチウムの供給が不足するのであれば、リサイクルをすればよいとの声も聞かれるが、鉛蓄電池とは異なり、充分なりサイクルシステムが構築されているわけでもなく、リサイクル時のコストは、購入するよりも高いとされているのが現状である。

このような不確実性や環境意識の高まりを受けたリサイクルの動きがあるが、リチウムを購入するほうがリサイクルを行うよりも安く入手することができるのが現状である。また、鉛蓄電池のようにリサイクルプロセス（廃バッテリーの回収）が出来上がっていないことも課題として挙げられる。

リユースの観点においては、SOH (State of Health) がある程度低くても問題なく、家庭用の定置型蓄電池へのリユースはできるであろう。その際、交換式バッテリーのメリットの1つとしてバッテリーの経年劣化が平準化されることがある。バッテリーユーザが電欠ぎりぎりまでバッテリーを使い切るのではなく、ある程度バッテリー残量が低下した状態でバッテリー交換するように、料金設定によって誘導出来れば、SOH の低下も抑えられるものと考えられる。バッテリーユーザが電欠ぎりぎりまでバッテリーを使い切るのではなく、ある程度バッテリー残量が低下した状態でバッテリー交換をするように、料金設定によって誘導出来れば、SOH の低下も抑えられるものと考えられる。

このようにリユースへの道のりは比較的簡単に想像できる一方、リサイクルに関しては多数課題が残ると見られる。特にリサイクルに関して、事業者間の連携が重要になるだろう。

4. まとめ

現状交換式バッテリーには、バッテリーパックの重量やステーション設置場所が限定されるという課題はあるものの、初期費用を抑えることができることやバッテリーのメンテナンスや買い替えを行う必要がないこと等のメリットがある点から、交換式バッテリーは、電動化推進の一つの解決策となる可能性があると考えられる。今後は、これらのメリットだけでなく、補助金の有効活用も追い風となって普及が進み、現在、さまざまな検証が行われている多用途展開へ拡大することも考えられる。さらに、リユースの促進や、サプライチェーンの企業間で協調することによる標準化やリサイクルといった面においても、限られた資源を前提にした環境への貢献 (=カーボンニュートラルの達成への貢献) が、できるであろうことから、大いなる成長に期待したい。

謝辞

本研究では、以下の団体にアンケート・インタビューへのご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。(順不同) 株式会社 Gachaco, 本田技研工業株式会社, ヤマハ発動機株式会社, スズキ株式会社, カワサキモーターズ株式会社

参考文献

- 1) 環境省：パリ協定の概要（仮訳），
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-a.pdf, (参照 2024-4-9)
- 2) IEA: Prospects for electric vehicle deployment, Global EV Outlook 2023
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/prospects-for-electric-vehicle-deployment>, (参照 2024-4-9)
- 3) WSJ: Electric Cars Emit More Particulate Pollution,
<https://www.wsj.com/articles/electric-cars-emit-more-soot-california-ban-gas-powered-vehicles-521b29e3>,
(参照 2024-4-9)
- 4) Gogoro: <https://www.gogoro.com/smartscooter/>, (参照 2024-4-9)

- 5) 本田技研工業株式会社: 「株式会社Gachaco」 の設立について,
<https://global.honda.jp/news/2022/c220330b.html>, (参照 2024-4-9)
- 6) 株式会社Gachaco (ガチャコ): <https://gachaco.co.jp/>, (参照 2024-4-9)
- 7) KYMCO: <https://kymcojp.com/>, (参照 2024-4-9)
- 8) Sun Mobility: <https://www.sunmobility.com/>, (参照 2024-4-9)
- 9) Bounce: <https://bounceinfinity.com/home.html>, (参照 2024-4-9)
- 10) SWAP: <https://www.swap.id/produk>, (参照 2024-4-9)
- 11) Selex: <https://selex-vn.translate.goog/en/home/? x tr sl=en& x tr tl=ja& x tr hl=ja& x tr pto=sc>,
(参照 2024-4-9)
- 12) Oyika: <https://www.ovika-com.translate.goog/? x tr sl=en& x tr tl=ja& x tr hl=ja& x tr pto=sc>,
(参照 2024-4-9)
- 13) acciona: <https://www.acciona.com/>, (参照 2024-4-9)
- 14) Swobbee: <https://swobbee-de.translate.goog/en/? x tr sl=en& x tr tl=ja& x tr hl=ja& x tr pto=sc>,
(参照 2024-4-9)
- 15) 経済産業省: クリーンエネルギー自動車の導入補助金,
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/cev/cleanenergyvehicle.html, (参照 2024-4-9)
- 16) 内閣官房GX推進室: 我が国のグリーントランスフォーメーションに向けて,
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2023/054/054_005.pdf,
(参照 2024-4-9)
- 17) クリーンエネルギー自動車導入促進補助金 (CEV補助金) の概要,
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/cev/r5hosei_CEV_gaiyou.pdf, (参照 2024-4-9)
- 18) 東京都: 令和5年度EVバイクの車両購入補助金のお知らせ,
<https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2023/03/28/19.html>, (参照 2024-4-9)
- 19) 本田技研工業: バイクラインナップ, <https://www.honda.co.jp/motor-lineup/>, (参照 2024-4-9)
- 20) 本田技研工業: バッテリー、充電器, <https://www.honda.co.jp/mobilepowerpack/>, (参照 2024-4-9)
- 21) Swappable Batteries Motorcycle Consortium: Swappable Batteries Motorcycle Consortium,
<https://www.sb-mc.net/>, (参照 2024-4-9)
- 22) Umicore: <https://www.umicore.jp/jp/our-sites/umicore-japan/>, (参照 2024-4-9)
- 23) Samsung SDI: <https://www.samsungsdi.com/index.html>, (参照 2024-4-9)
- 24) LG Energy Solutions: IR Archives, <https://www.lgensol.com/en/earnings-announcement>, (参照 2024-4-9)
- 25) Cornex: <https://en.cn-np.com/>, (参照 2024-4-9)
- 26) 三菱UFJフィナンシャル・グループ: 「MUFG PARK」における電動二輪車用交換式バッテリーの多用途活用およびマルチモビリティサービスの導入について, Clean Energy Vehicle,
https://www.mufg.jp/dam/pressrelease/2024/pdf/news-20240229-002_ja.pdf, (参照 2024-4-9)
- 27) 本田技研工業株式会社: 着脱式可搬バッテリー「Honda Mobile Power Pack」を活用した取り組みについて,
<https://global.honda.jp/news/2021/c211029b.html>, (参照 2024-4-9)
- 28) ヤマトホールディングス株式会社: 交換式バッテリーを用いた軽EVの集配業務における実証を2023年11月から開始—再生可能エネルギー由来電力を活用し、エネルギーマネジメントの実現に貢献—,
https://www.yamato-hd.co.jp/news/2023/newsrelease_20231019_1.html, (参照 2024-4-9)
- 29) 日本総研: 世界のEVシフトを左右するリチウム生産の課題, Research Focus,
<https://www.jri.co.jp/MediaLibrary/file/report/researchfocus/pdf/13474.pdf>, (参照 2024-4-9)

JARI Research Journal 掲載区分

掲載区分	記載概要
研究速報 Research Report	背景, 目的, 方法, 結果, 考察といった一般的な研究論文の体裁を持った記事。
技術資料 Technical Report	一般的な研究論文の体裁ではないものの, 新たな知見または価値あるデータを報告する記事。
調査資料 Survey Report	他機関より得られた資料, データを元に, 新たな知見を報告する記事。
解説 Review	特定の分野やテーマに関して, 「現状の最新動向」や「研究・開発状況」などをまとめ, 要約・説明する記事。
研究活動紹介 Research Activity	JARI の研究活動を紹介・報告する記事。
トピックス* Topics	JARI の「研究活動」以外の「活動」等についての記事。また上記の分類外の記事。 *トピックス=「話題」「出来事」