

電動重量車の充電/給電システムに関する開発動向

Developing Trends of Charging/Electric Road Systems for Electrically Propelled Heavy-Duty Vehicles

森田 賢治*1

Kenji MORITA

1. はじめに

2020年10月に菅首相から2050年カーボンニュートラルの達成を目指す旨の宣言がなされた。その達成のためには、運輸部門におけるCO₂排出量の約4割を占める重量車分野の低炭素化、脱炭素化も極めて重要であり、電動化を進めることが一つの方向性である。しかしながら、重量車に関しては、バッテリー等の車両側の技術的・経済的課題からインフラ側の対応、政府のエネルギー政策の方向性等、重量車メーカーだけでは解決困難な課題が多岐に渡り、電動化が進んでいない。そこで、重量車の電動化技術の動向およびその効果、導入に当たっての課題等を整理し、電動重量車の今後の方向性について見通しを得ることを目的に、国内重量車メーカーや改造車メーカー、電力業界、充電器団体、大学等研究機関へのヒアリングや文献情報の収集・整理を行った。本報ではその成果の一部として、静止中超急速充電と走行中給電の動向について紹介する。

2. 重量車電動化の課題

ヒアリングの結果、重量車の電動車（ハイブリッド電気自動車（HEV）、プラグインハイブリッド電気自動車（PHEV）、バッテリー電気自動車（BEV）および燃料電池自動車（FCV））は、疲れにくい、運転しやすい、振動・騒音が少ない等ドライバや乗客の評価が高い反面、下記課題のあることが分かった。

a) HEV：市販段階

- 燃費改善率、燃料費削減率が限られるため車両価格上昇分が中々回収できない。

b) BEV・PHEV：実証段階（一部市販段階）

- 大型ほど航続距離が不足
- 充電時間がかかるため稼働率低下、従来のディーゼル車と同じ運用が出来ない。
- 最大積載量がバッテリー搭載により減少（重量面、体積面）
- ユーザがバッテリー・モータ等の耐久性に信頼をおけない（実績不足）。
- 乗用車用に作られた充電設備は、スペースの問題で商用車が入れない。
- 車両、充電器、電気基本料金共に高額であるため事業者のビジネスが成立しない。

c) FCV：一部で実証が始まった段階

- 水素充填プロトコルが現状は乗用車用のため充填途中で止まってしまう。
- 水素タンク容量が長距離用途では不足する。

d) 全般

- 海外とのパワーエレクトロニクス系電圧仕様の相違による部品調達先の制限、生産台数の少なさ（特にバス）により製造メーカーのビジネスが成立しない。

3. 課題解決に向けた開発動向

抽出された課題のうち BEV・PHEV の航続距離、充電時間、最大積載量に関わる解決策としては、バッテリーのエネルギー密度・出力密度の向上やモータ・回生ブレーキシステムの効率向上、各要素のコスト低減等車両側での対応が挙げられるが、一方でバッテリーの搭載量を出来るだけ減らし外部から電力を供給

*1 一般財団法人日本自動車研究所 電動モビリティ研究部

する方法も考えられる。すなわち、静止中超急速充電と走行中給電である。それぞれの技術の開発動向について以下に述べる。

3.1 静止中超急速充電

静止中の超急速充電システムとしては、手動の急速充電の他、横方向挿抜式（ロボットアームの一種）、パンタグラフ式、静止中非接触式（SWPT）、そして電池交換式が考えられる。各方式の特徴を表1にまとめた。

- 横方向挿抜式：充電出力と効率は高いが、位置決め自由度が低く乗用車との共用も困難である。また、挿抜機構を車両側に設けた場合はそのコスト上昇が大きい。法令上の制約としては、道路法、道路交通法、火災予防条例、景観法がある。実証事例は少ないが、仏PVI社のWATTシステム¹⁾が挙げられる。
- パンタグラフ式：横方向挿抜式とほぼ同様の得失をもつが、前後方向の位置決め自由度はやや高い。パンタグラフ本体には独Schunk社や中CSR社のものが使われ、既に欧、米、中、日（黒部ダム）等各国で実運用中である²⁾。
- SWPT式：一般に出力が200 kW程度までと低く、電力の伝送効率も接触式に比べて低い。また、地上と車両のコイル間に金属異物を挟んだ場合、温度が上昇し火災発生の危険があるため対策が必要である。法令上の制約としては、道路法、道路交通法、火災予防条例、景観法に加え、電波法の制約を受ける。海外では、中 ZTE社、英 IPT Technology社、独 Bombardier社、米 Wenatchee社等のSWPTシステムが実運用されているが、国内では実証試験運用で終了している²⁾。なお、ユタ州立大学が主宰するコンソーシアムSELECTでは、1 MWクラスのSWPTシステムの実証試験を計画しているとのことである。
- 電池交換式：ステーションにて充電済みの電池とパックごと交換するシステムであるため、充電の待ち時間が不要になるのが最大の利点。充電出力や伝送効率の問題もないが、電池交換機構を設ける必要があるため、車両側に構造上の制約が生じる。また、電池交換を自動化する場合はインフラ側のコスト上昇につながる。一般に乗用車との共用も不可能である。エネルギー貯蔵装置として現在一般的になっているリチウムイオン電池は消防法上危険物として扱われるが、JFEエンジニアリング社等で実証中のステーションは小規模（電池容量40 kWh×8個）であるため消防法の制約を受

表 1 静止中超急速充電

| 種類 | 横方向挿抜式 ロボットアームの一種 | パンタグラフ式 | SWPT式 | 電池交換式 |
|---------|---|---|--|---|
| 技術的到達状況 | 実績少数 | 実績多数 | 試験運用例多数 | 中国で実績多数 |
| 性能 | 充電出力 | 高 (~600kW) | 高 (~600kW) | 低 (~200kW) ^{注)} |
| | 効率 | 高 | 高 | 中 |
| | 位置決め自由度 | 低 | 中 | 低 |
| | 乗用車との共用 | 不可 | 不可 | 可 |
| 安全性 | 車両構造制約 | | | 交換機構制約 |
| | 健康影響 | - | - | - |
| コスト | 異物検知 | - | - | 必要 |
| | 車両側 | 高 (挿抜機構) | 高 (パンタグラフ) | 低 |
| 法令上の制約 | インフラ整備 | 低 | 低 | 高 |
| | 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 電波法 ⁶⁾ 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 消防法 (1000L以上の LIBを保管する場 合) |
| 社会受容性 | | | 安全性実証必要 | |
| 重量車への適性 | 高 | 高 | 高 | 高 |
| 実現時期 | 試験運用中 ・仏 PVI WATT | 実運用中 ・独 Schunk ・中 CSR ・日 Schunk | 実運用中 ・中 ZTE ・英 IPT Technology ・独 Bombardier ・米 Wenatchee | 実運用中 ・中 バス ・日 NIO (乗用車) ・日 JFE/いすゞ |

注) ユタ州立大SELECTにおいて1MWクラスのWireless Power Transfer (WPT) を研究中との情報あり。

けない。コンビニの配送トラック等24時間稼働して充電の待ち時間を取れない用途や、ごみ収集車等自ら発電した電力を自分たちで使いたいケース等で有効と考えられる³⁾。

3.2 走行中給電

走行中給電システム(ERS)としては、オーバーヘッド式、側面ローラ式、路面レール式、非接触(DWPT)式が考えられる。各方式の特徴をまとめた結果を表2に示す。

- **オーバーヘッド式**：Siemens社等で10年ほど前から研究開発がなされており、既に第3世代のシステムとなっている⁴⁾。給電出力は600 kW、伝送効率も最大97%と優れている。架線を重量車の全高よりも高い位置に張っているため、歩行者・二輪車への安全対策は特に不要である。パンタグラフを設けるために車両側のコストが高くなる。インフラ側のコストは、路上接触式や側面ローラ式より高い2.7-3.2億円/kmと試算されている。法令上の制約としては、道路法、道路交通法、火災予防条例、景観法に加え、鉄道事業法が適用される。国内ではデッドマン装置が義務付けられる。スウェーデンやドイツ等の公道で実証試験が進展しており、ERSとしては最も実用段階に近いシステムと言える。ただし、一般道への設置は美観の問題が生じる可能性もあり、また、乗用車との共用ができない課題が残る。
- **側面ローラ式**：ホンダが開発し試験路での実証試験が行われている^{4),5)}。給電出力は450 kWと高く、重量車の走行に必要な電力を十分に供給可能である。伝送効率は95%と報告されている。車両側よりガードレールに向かって給電ロッドを出す形になるため、歩行者・二輪車への対策が必要になる。インフラ側はスイッチング動作が不要になるため他方式に比べてコストが最も安く、DWPT式の1/20程度と言われている。法令上の制約は路面レール式と同様である。また、乗用車との共用も可能である。
- **路面レール式**：路面への設置深さの異なるElways社、Alstom社、Elonroad社、等の方式について実証試験がなされている⁴⁾。給電出力は現状では240 kW、伝送効率は最大で97%である。地表に送電線を張り巡らすため、歩行者等が感電しないよう対策が必要であるが、この中では深い位置に設置されるElways社の方式が最も対策し易いと推察される。コストは、自動で送電線を探し出して接続する受電装置を持たせるために車両側が高くなる。インフラ側のコストは0.56-1.9億円/kmと試算されている。法令上の制約としては、道路法、道路交通法、火災予防条例、景観法が想定される。路上に設置されるため乗用車と共用可能である。

表2 走行中給電システム

| 種類 | オーバーヘッド式  | 側面ローラ式  | 路面レール式  | DWPT式  | |
|---------|---|---|--|--|-----------------------------|
| 技術的到達状況 | 鉄道も含め最も実績あり | 新しい技術だが障害は少ない | 様々な環境下の実用性検証必要 | 基礎研究段階 | |
| 性能 | 給電出力 | ~600kW ⁴⁾ | ~450kW ⁵⁾ | ~240kW ⁴⁾ | ~200kW ⁴⁾ |
| | 効率(平均)% | ~97(87) ⁴⁾ | 95~ ⁴⁾ | ~97(87) ⁴⁾ | ~91(73) ⁴⁾ |
| 安全性 | 健康影響 | - | - | - | 検証必要 |
| | 異物検知 | - | - | - | 必要 |
| | 歩行者・二輪車 | - | 対策必要 | 対策必要 | 対策必要 |
| コスト | 車両側 | 高 ⁵⁾ | 低 ⁵⁾ | 中 ⁵⁾ | 中 ⁵⁾ |
| | インフラ整備 | 2.7-3.2億円/km ⁴⁾ | 非接触式の1/20 ⁴⁾ | 0.56-1.9億円/km ⁴⁾ | 0.62-6.2億円/km ⁴⁾ |
| 法令上の制約 | 鉄道事業法 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | 電波法 ⁶⁾ 道路法 ⁶⁾ 道路交通法 ⁶⁾ 火災予防条例 ⁶⁾ 景観法 ⁶⁾ | |
| 社会受容性 | 一般道への設置は美観が問題か | 自動車専用道路への設置が前提 | 歩行者等への感電防止が前提 | 健康影響が問題ないことが前提 | |
| 乗用車との共用 | 不可 | 可 | 可 | 可 | |
| 重量車への適性 | 高 | 高 | 高 | 高 | |
| 実現時期 | 公道で実証中 | 試験路で実証中 | 試験路で実証中 | 試験路で実証中 | |

- DWPT式：現状は基礎研究段階であり、給電出力200 kW以下、伝送効率91%以下程度とされる⁴⁾。健康影響については今後の検証が必要であり、歩行者・二輪車への安全対策も必要である。また、SWPTと同様、異物検知も必要になる。コスト面では、受電コイル装着だけで済む車両側は他方式に比べ最も低くなる利点がある。インフラ側のコストは0.62-6.2億円/kmとされており、かなり幅のある見積となっている。乗用車と共用可能である。

4. まとめ

BEV, PHEV, HEVおよびFCVそれぞれの大型車への適性について、1日当たり走行距離と車両総重量(GVW)との関係に整理した結果を図1に示す。

- 走行距離の短い配送トラックと路線バスは超急速のオポチュニティ充電あるいは電池交換式によるBEVに適性がある。また、走行距離の長い都市間バスと長距離トラックはHEV, BEV (あるいはPHEVか) に適性があり、走行中給電の活用可能性がある。FCVについては本稿ではあまり触れなかったが、長距離トラック用途では航続距離の観点から適性に課題があるものの、多くの用途をカバーできるポテンシャルがある。
- 電池交換式は、コンビニの24時間配送トラックやごみ収集車等、稼働時間内に充電の待ち時間が取れない用途に有効である。PHEVは比較的汎用性が高いが、大容量電池に加えてエンジンを有するため車両コストが高い。

走行中給電システムはインフラに関わる課題であることから、自動車業界単独では技術開発・導入が困難である。産学官が共同で技術開発だけでなく経済成立性やビジネスモデル、規制緩和なども含め検討して行く必要がある。

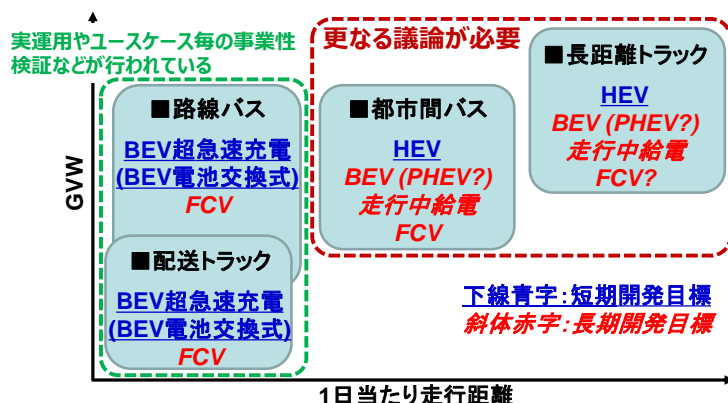


図1 各電動車両技術の重量車への適性

謝辞

本報告は、2019年度国土交通省/交通安全環境研究所委託業務で得られた成果の一部である。調査にご協力頂いた全ての方々に、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) <https://btob.nice.aeroport.fr/Professionals/Latest-news2/A-world-first-the-first-electrical-bus-with-unlimited-range-and-no-heavy-infrastructure-runs-at-Nice-Cote-d-Azur-Airport>
- 2) 高橋俊輔, ワイヤレス給電の技術動向, CHAdeMO第28回整備部会資料
- 3) <http://www.jfe-eng.co.jp/news/2018/20180918084303.html>
- 4) TRL ACADEMY REPORT PPR875 "Electric Road Systems: a solution for the future"
- 5) Takamitsu Tajima, 450-kW Conductive Dynamic Charging System, Proceedings of CERV 2020
- 6) NEDO報告書「次世代大型商用車への接触式大電力急速充電技術の事業性調査」等