

鉄道車両駆動における蓄電装置応用技術

鉄道車両駆動における蓄電装置応用調査専門委員会編

目次

1. 総論	3	5. ディーゼルハイブリッド車両の研究開発	29
1.1 はじめに	3	5.1 はじめに	29
1.2 技術的背景	3	5.2 ディーゼルハイブリッド車両の特徴	29
1.3 本技術報告の狙いと構成	4	5.3 パラレル式ハイブリッド車両の研究開発	30
1.4 おわりに	5	5.4 ディーゼルハイブリッド車両の評価技術	33
2. 蓄電装置を搭載した車両の理論検討	6	5.5 ディーゼルエンジンに求められる特性	35
2.1 はじめに	6	5.6 おわりに	36
2.2 シミュレーション技術	6	6. 非電化区間直通電車の研究開発	37
2.3 パワーフロー制御とエネルギーマネジメント	7	6.1 研究開発の背景	37
2.4 最適化技術	9	6.2 「非電化区間直通電車」研究開発例	37
2.5 おわりに	10	6.3 「非電化区間直通電車」の特徴的な機能	39
3. 営業車におけるシリーズハイブリッド車両の設計思想	12	6.4 おわりに	41
3.1 はじめに	12	7. 電化区間への蓄電装置応用の研究開発	43
3.2 ハイブリッドシステム概要	13	7.1 はじめに	43
3.3 エネルギー制御	15	7.2 車両側の対策	43
3.4 機器概要, 仕様	18	7.3 地上側の対策	46
3.5 おわりに	19	7.4 おわりに	51
4. ディーゼルハイブリッド車両の実運用	21	8. まとめ	53
4.1 はじめに	21	8.1 蓄電装置応用車両の技術	53
4.2 開発経緯	21	8.2 電力供給における蓄電装置応用技術との関連	54
4.3 運用状況	21	8.3 蓄電装置とその応用技術が変える電気鉄道の姿	54
4.4 運用での効果	22	8.4 おわりに	55
4.5 メンテナンス	25		
4.6 バッテリーの劣化調査	26		
4.7 おわりに	27		

鉄道車両駆動における蓄電装置応用調査専門委員会 委員

委員長 近藤圭一郎(千葉大学大学院)
幹事 宮武昌史(上智大学)
◆ 小林宣之(富士電機株式会社)
◇ 阿部康(富士電機株式会社)
幹事補佐 小川知行(鉄道総合技術研究所)
委員 長谷川智紀(交通安全環境研究所)
◆ 河合則之(北海道旅客鉄道)
◇◆ 岡崎友博(北海道旅客鉄道)
◇ 稲場匡(北海道旅客鉄道)
白木直樹(東日本旅客鉄道)
関島康直(東海旅客鉄道)
◆ 小林誠(西日本旅客鉄道)
◇ 川村淳也(西日本旅客鉄道)

委員 杉山義一(日本貨物鉄道)
山本貴光(鉄道総合技術研究所)
鈴木剛志(小田急電鉄)
◆ 木暮隆雄(東京急行電鉄)
嶋田基巳(日立製作所)
森田政次(東芝)
◆ 上向井永治(三菱電機)
◇ 石田貴仁(三菱電機)
潤賀健一(東洋電機製造)
米村正道(コマツディーゼル)
渡邊秀夫(明電舎)
秋山悟(川崎重工業)

◆途中退任 ◇途中就任

1. 総論

1.1 はじめに

鉄道は他の交通機関に比べ、省エネルギーであると言われていた。その理由は、走行抵抗が小さいためと、電気駆動においては回生ブレーキにより運動エネルギーの回収が可能のためである。しかし、電気鉄道の負荷はピーク電力が高いため、地上の電気設備の利用率は必ずしも高くはなく、回生ブレーキによる運動エネルギーの回収が必ずしも有効に作用しない。また、非電化区間を走行する気動車やディーゼル機関車では、内燃機関が原理的に片方向のエネルギー変換しかできないことから、回生ブレーキによる運動エネルギーの再利用が困難であるという課題もある。

上記のような鉄道のエネルギーや電力に関する技術的課題に対し、近年、その技術的な進展が著しい蓄電媒体を用いることで解決を図ろうとする動きが活発である。このような趨勢に対して、関連技術の体系化とその結果としての進展を期して、平成 23 年 4 月に電気学会交通電気鉄道技術委員会の傘下に「鉄道車両駆動における蓄電装置応用調査専門委員会」が設立された。この委員会は鉄道事業者、車両メーカー、電機メーカー、エンジンメーカー、および大学・研究機関における関連技術の専門家が結集し、整理委員会期間も含め 2 年半にわたり精力的に調査報告と議論を行ってきた。

本章ではこれらの調査結果を技術報告にまとめるにあたっての本技術報告の位置づけを明確にする。

1.2 技術的背景

1.2.1 過去の蓄電装置の鉄道車両駆動応用と現在の位置づけ

二次電池として従来から普及しているのは、内燃機関自動車に必ず装備される、エンジン始動や補機用の鉛蓄電池である。かつては鉄道でもこの鉛蓄電池を車両駆動や地上に設置した例があった。車両は非電化区間の駆動エネルギー源で、いわゆる“鉛蓄電池車”が国内では、西武鉄道山口線^(1.1)や宮崎交通^(1.2)で、国外ではドイツ国鉄^(1.2)でそれぞれ用いられていた。これらはいずれも日本の在来線規格の 20m 車両から比べるとサイズは小さく、車両の出力性能も現在適用が進んでいる車両などと比べると低いものであった。また、鉛蓄電池であることからエネルギー密度は現在のリチウムイオン電池とは比べるべくもない。このような状況でも蓄電池車両が存在した理由としては、電化はコストに見合わず、一方でかつては化石燃料の入手が困難であったり、エンジン駆動システムの性能や信頼性が低い等、内燃機関を用いることのデメリットが大きかったと考えられる。すなわち、そこに鉄道車両駆動における蓄電装置応用の相対的なメリットがあったためであると考えられる。

表 1.1 車両駆動応用される蓄電装置

	二次電池 (リチウムイオン電池、ニッケル水素電池)	電気二重層コンデンサ (Electric Double Layer Capacitor)
メリット	-高エネルギー密度	-高パワー密度 -長寿命
デメリット	-パワー密度制約 (近年改善) -使用可能充電量に制約	-低エネルギー密度 -電圧変動大

このことは、現在のリチウムイオン電池や電気二重層コンデンサ等の蓄電媒体に関しても言える。すなわち、蓄電装置のコストに見合った性能が、蓄電装置を搭載しない電気車や内燃車のそれらを超えると判断されれば普及が進む。そして現在はその入口段階にあるとも考えられる。

この技術が普及する上での課題は、蓄電装置のコストパフォーマンスの低さであるが、特にハイブリッド電気自動車や電気自動車の普及による蓄電装置の量産効果により、コストパフォーマンスは向上しつつある。一方、蓄電装置の蓄電媒体とそれと組み合わせられる電力変換装置や回転機とその制御を含めたシステム技術で評価される。したがって、その適用目的の明確化と適用対象に適した性能を含めたシステム構成とすることで、導入する上でのコストの障壁を低くすることが可能である。そのためには本技術報告で試みる当該技術の現状把握が重要である。

1.2.2 蓄電装置の性能と特徴

現在、鉄道車両駆動において、実証試験も含めて適用されている蓄電装置として、リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、電気二重層コンデンサ(Electric Double Layer Capacitor:EDLC)が挙げられる。これらの特徴を表 1.1 に示す。なおフライホイールは地上蓄電では実用例があり、車両への適用可能性も検討されているが、現在、我が国での実証試験を含めた適用例はないことからここでは除外する。また、燃料電池は実証例^(1.3)があるものの実用上は、水素エネルギーの電気エネルギーへの一方向への変換であることからここでは除外した。

リチウムイオン電池、ニッケル水素電池は科学エネルギーとしてエネルギーを蓄えることから、エネルギー密度が高いが、化学反応速度による制約や、電極材料等の劣化による寿命の問題から、出力密度は制約される。(但し、最近では負極材料に工夫をして出力密度を向上した電池も登場している。)一方、EDLC は電界による物理エネルギーとしてエネルギー蓄積を行うことから、二次電池における化学反応に伴う諸課題はない。しかし、電界という物理エネルギーとしてエネルギー蓄積を行っているため、エネルギー密度に制約を受ける。最近では、電池と EDLC を並列接続し