

自動車用パワーエレクトロニクスの急展開

自動車用パワーエレクトロニクスの急展開調査専門委員会編

(発行日 2024年4月10日)

目次

1. 本報告書の位置づけ	3	5. e-axle の拡大	26
1.1 自動技術委員会での取り組み	3	5.1 はじめに	26
1.2 自動車用パワーエレクトロニクス	3	5.2 自動車駆動システムの電動化	26
1.3 電動車の駆動システムの分類	3	5.3 電動車の駆動システム	26
1.4 本技術報告の背景	4	5.4 機電一体システム(e-axle)	26
2. 自動車用パワーデバイスの動向	5	5.5 機電一体システム(e-axle)の今後の開発	27
2.1 はじめに	5	5.6 むすび	28
2.2 Si-IGBT と SiC-MOSFET の開発状況	5	6. e-mobility と自動車用パワーエレクトロニクス	29
2.3 半導体パワーモジュールの開発状況	7	6.1 はじめに	29
2.4 主機インバータに用いられるデバイス	8	6.2 電動化の特徴	29
2.5 その他に用いられるデバイス	9	6.3 電動化の適用例とその狙い	31
2.6 新規材料デバイスの開発動向	10	6.4 空飛ぶ車のモータ・インバータの動向	32
2.7 自動車用パワーデバイスの展開	10	6.5 e-highway プロジェクト	34
3. 主機のパワーエレクトロニクスの現状	12	6.6 まとめ	35
3.1 はじめに	12	7. 周辺機器とパワーエレクトロニクス	37
3.2 電動車での PCU システム構成と電圧傾向	12	7.1 はじめに	37
3.3 バッテリ高電圧化	12	7.2 充電の高速化技術	37
3.4 DC-DC コンバータの動向	13	7.3 リチウムイオン電池コストと周辺部品	40
3.5 高出力密度化技術（実装技術・冷却技術）	15	7.4 各社電動車の価格と中国の環境規制	40
3.6 まとめ	18	7.5 まとめ	42
4. 補機のパワーエレクトロニクスの展開	20	8. おわりに	43
4.1 車載充電器	20	8.1 コロナ禍における調査研究	43
4.2 DC-DC コンバータ	22	8.2 電動車をめぐる状況変化と展望	43
4.3 パイワイヤ用電源と DC-DC コンバータ	23		
4.4 その他補機類	23		

自動車用パワーエレクトロニクスの急展開 調査専門委員会委員

委員長 森本 雅之(モリモトラボ)
幹事 磯部 高範(筑波大学)
瀧 浩志(デンソー)
幹事補佐 山口 大輝(産業技術総合研究所)
委員 飯田 貴志(富士電機)
石戸 亮祐(ローム)
出尾 晋一(三菱電機)
大石 康博(テクニカルサポート)
大口 英樹(東海大学)
大橋 俊介(関西大学)
加藤 修平(日本大学)
米田 昇平(東京海洋大学)

委員 関 真生(村田製作所)
武林 賢一(日立Astemo)
谷本 勉(日産自動車)
野村 英児(東洋電機製造)
根来 佑樹(本田技術研究所)
藤網 雅己(名古屋国際工科専門職大学)
星 伸一(東京理科大学)
松盛 裕明(名古屋工業大学)
丸山 真範(三菱重工業)
山口 浩(産業技術総合研究所)
吉本 貫太郎(東京電機大学)
途中退任 古川 勝彦(本田技術研究所)

1. 本報告書の位置づけ

二酸化炭素排出規制に向け、BEV、HEVなどの電動車の増加だけでなく、エンジン車の電動コンポーネントの増加、48Vハイブリッドシステムの導入、900V充電システムの導入など、自動車用パワーエレクトロニクスは急速に展開している状況にある。さらには、空飛ぶ車、電動航空機など、従来の自動車を超えた電動モビリティとして大きく変革してゆく兆候も見られる。本技術報告では、急展開する自動車のパワーエレクトロニクスの状況に関して、調査専門委員会での調査結果を報告する。

1.1 自動技術委員会での取り組み

自動車技術委員会では、自動車用パワーエレクトロニクスについて、電気自動車(BEV)、ハイブリッド電気自動車(HEV)だけでなく、自動車全般におけるパワーエレクトロニクスとして、2004年以来、以下のような調査研究に取り組んできた。

「自動車用パワーエレクトロニクス調査専門委員会」(委員長：黒澤良一、2004年10月—2006年8月)⁽¹⁾、

「自動車用パワーエレクトロニクスの現状調査専門委員会」(委員長：森本雅之、2007年4月—2009年3月)⁽²⁾、

「自動車用パワーエレクトロニクスの適用調査専門委員会」(委員長：森本雅之、2009年4月—2011年3月)⁽³⁾、

「自動車用パワーエレクトロニクスの拡大調査専門委員会」(委員長：森本雅之、2012年4月—2014年3月)⁽⁴⁾、

「自動車用パワーエレクトロニクスの新展開 調査専門委員会」(委員長：道木慎二、2015年3月—2017年2月)。

しかしながら、2017年以降は調査研究が中断しており、本調査専門委員会の2021年の設置により、その間の状況も含めて現状を調査し、本報告書としてまとめることとなった。

1.2 自動車用パワーエレクトロニクス

従来、自動車用の電子制御ユニットをECU(Electronic Control Unit)と呼んでいる。近年、これに対応するものとしてPCU(Power Control Unit)という名称が使われようになった。PCUとは、電力制御ユニットを意味しており、パワーエレクトロニクスそのもののユニットである。

PCUは電動車の駆動システムにおいて、バッテリーの電力により電動機を制御する機能を主とする。つまり、PCUは電動車に用いるインバータとその他のパワーエレクトロニクス関連機器を含んだモノとしての名称であり、技術としての名称ではない。

本調査委員会を対象とするパワーエレクトロニクスは電動車だけでなく、エンジン車(ICV)も含めた自動車全般のパワーエレクトロニクスである。パワーエレクトロニクスとは、電力変換を利用して電気エネルギーを利用するために、

電力を制御する技術である。したがって、補機も含めた電動機器すべてを対象としている。したがって、〇〇用ECUと呼ばれる場合もあるが、比較的電圧が高い、または電流が大きいECUの場合もパワーエレクトロニクスとして考えている。

本報告では電動車のパワーエレクトロニクスを中心に、エンジン車も含めた補機、周辺機器までの動向について述べてゆく。自動車用パワーエレクトロニクスは、電動車の駆動制御だけでなく、エンジン車の燃費向上のために広く展開され、さらには自動車がe-mobilityへ展開してゆく際の基本技術であることは間違いない。

1.3 電動車の駆動システムの分類

電動車について、その構成から以下のような分類が行われている。

BEV バッテリー式電気自動車

HEV ハイブリッド電気自動車

PHEV プラグインハイブリッド電気自動車

FCEV 燃料電池電気自動車

このような分類により、構成だけでなく、エネルギー源、運用走行状態なども示すことができる。しかし駆動システムのパワーエレクトロニクスを考える場合、この分類だけで考えるのは、いささか無理がある。HEVの場合、駆動システムの出力によりパワーエレクトロニクスの技術が異なっていることが多い。

そこで、図1.1に示すような電動機出力とエンジン出力の関係により考える。これにより、構成にとらわれず、電動機出力に対応してパワーエレクトロニクス技術を考えることが可能となる。なお、この図は参考文献(5)に示した図を最近の市販車でプロットしなおしたものである。

図において、BEVはエンジンを搭載しないのでエンジン出力がゼロの軸上にある。また、エンジンの出力とモータの出力が1:1の直線近くの一群をストロングハイブリッド、また、モータ出力が小さく、x軸近傍に分布する一群をマイクロハイブリッドと呼ぶ。また、その中間にある一群をマイルドハイブリッドと呼ぶ。このようにすると、シリーズハイブリッド、パラレルハイブリッドなどの機構にかかわらずモータの出力としてのグループとして考えることができる。ストロングハイブリッドはパワーエレクトロニクスの観点ではBEVと同じグループであると考えられる。このように駆動モータの出力によりパワーエレクトロニクスを考えるのが妥当であると考えている。

この分類では、ハイブリッド自動車の動作は次のように対応すると考えられる。

・ストロングハイブリッド：すべてモータで走行する(EV走行)、または、EV走行時間がかかり長い。

・マイルドハイブリッド：走行時間の大半はエンジンが稼働し、エンジン走行をモータでアシストする。限定された条件のみでEV走行可能である。

・マイクロハイブリッド：EV走行はまったく行わない。エ