

## 世界の電気自動車（EV）技術最前線と 2025年のEV新市場参入のための豊田合成への提言

山本真義<sup>\*1</sup>

### Front Lines of Global Electric Vehicle (EV) Technology and Proposals for New EV Market Entry by Toyota Gosei in 2025

Masayoshi Yamamoto<sup>\*1</sup>

#### 1. はじめに

2014年11月に上海（中国）で産声を上げたNextEVという自動車会社は、その後10年を待たず、「NIO（上海蔚来汽車）」と名称変更しながら、2022年における時価総額は現代自動車の3.9兆円に迫る3.5兆円に達し世界の17社に入り込み、中国のテスラ、と呼ばれるまでに成長を果たした。2016年にはNIOブランド立ち上げと同時にスポーツモデルであるEP9を発表しニュルブルクリンクのノルドシュライフェ（北コース：20.832km）で6分45秒25の市販電気自動車における最速ラップタイムを樹立した。そのブランド力を活かし、2017年にはフラッグシップモデルであるフルSUVのES8を販売開始<sup>1)</sup>。そこからほぼ毎年、NIOは新技術を盛り込んだ挑戦的なモデル（2019年：ES6, 2020年：EC6, 2021年：ET5, 2022年：ET7）を世に問うている。

但し、最も注目すべきはNIOのEVにおける安全性能である。安全に対する思想、と言い換えてもよい。最初の量産モデルであるES8は、欧州で自動車アセスメントを手掛けるEuro NCAPが発表する衝突試験結果においてトヨタ自動車の燃

料電池車・MIRAIと同等の五つ星を獲得している。ES8の外観写真を図-1に示す。Euro NCAPは4つの安全指標（Adult Occupant Protection, Child Occupant Protection, Vulnerable Road User Protection, Safety Assist）に対して各車両に対するポイント換算を行っている。ここでNIO・ES8がトヨタ・MIRAIと比較して大きくポイントで水をあけた項目が、Safety Assistとなる。MIRAIが82%であるのに対してES8は92%のポイントを獲得しており、これはアクティブセーフティー機能が充実していることを示している。すなわち、自動運転を目指すこのES8は、センサー等の高性能化により衝突をしないことを前提としており、その技術領域での安全性ポイントを引き上げている。そしてその性能確保のために世界最高峰のモビルアイ（イスラエル）の衝突安全機構を導入しており、コストの掛け方もこの技術領域へ振り切っていることが分かる。余談ではあるが、ドイツ系完成車メーカーは歴史的な背景からモビルアイとは取引ができず、本分野ではNIOに後塵を拝している。

また、NIOはファブレス企業でありホワイトボディは江淮（JAC）に設計量産を委託している。



(a) 車両外観



(b) ボンネットフード内部

図-1 NIO ES8

\*1 名古屋大学 未来材料システム研究所 教授

ボディは日本では 2 例（ホンダ・初代 NSX，ホンダ・初代インサイト）しかないオールアルミボディ（96.4%の世界最高アルミ比率）を実現しており、各アルミフレーム接合は航空機で使用されている接着剤接合技術を適用している。さらに NIO パイロットと呼ばれる自動運転を目指した先進運転支援システムを搭載し、さらに NOMI と名付けられた AI（人工知能）アシスタント機構も搭載しており、通信回線を通じてサービスセンターと接続するのではなく、車両スタンドアロン状態で様々な支援とサービス提供を行う機能を、既に 2017 年に市販車に搭載していることに改めて驚く。このように世界は、内燃機構をベースとした自動車の概念とは異なる全く新しい EV の出現を目の当たりにしている。もちろんテスラ製 EV もこの範疇の中心に位置付けられよう。

翻って、次世代 EV の動力機関部はインバーターとモーター、さらにモーターの回転を抑制しトルクを確保するための減速機から構成され、それらを組み合わせた機構を e-Axle と呼称し、メイン車両駆動系として重要な技術要素として認識されている。豊田合成がこれまで青色 LED 応用分野で成功を収めてきた窒化ガリウム半導体はパワー半導体へ進化を遂げその応用を待つ状態となっているが、e-Axle に具備されるインバーターはその最先鋒応用先として期待が高まっている。本稿では、前述の新しい EV の台頭に対して次世代パワー半導体と呼ばれる SiC や GaN パワー半導体の将来的な EV への適用並びにその市場拡大の可能性について議論を行う。

## 2. EV 用車両パッケージとそこに求められる電気駆動システム性能

### 2-1. EV に向けた車両パッケージ

通常の内燃機関を搭載した自動車に対して、EV は車両パッケージ戦略が異なる。この車両

パッケージを活かす形で電気駆動システムの設計開発の戦略を執る必要がある。図-2 に議論のベースとなる車両と各部の長さの定義を示す。前後の車軸間をホイールベース、前車軸からフロントサイドまでをフロントオーバーハング、後ろ車軸からリアサイドまでをリアオーバーハングと呼び、これらの距離が車両パッケージに大きく影響を及ぼす。具体的には、EV は内燃機関を搭載した車両と比較し、

- 1) ロングホイールベース
- 2) ショートオーバーハング

の車両パッケージの特徴を持つ。前者については通常の大容量バッテリーを搭載する EV においては、そのリチウムイオン電池をホイールベース間に搭載することが多いため、少しでも搭載量を確保することを目的として、ホイールベースは長くなる傾向にある。特に EV 市場が立ち上がってきた欧州や中国では、ユーザーは大陸間移動を前提とすることが多く、EV としての一充電あたりの航続距離を求められることが多く、その車両パッケージの要求傾向は大きくなる。

後者は車両としての取り回しのしやすさが車両システムとしての付加価値となる。内燃機関を搭載する場合は、その体格の大きさがそのままオーバーハングの延長に繋がり、車両デザインバランスの関係から、どうしても前が長くなると後ろも長くなる傾向があった。これに対して EV においては e-Axle（モーター+インバーター+減速機の一体化システム）化の高電力密度化が進んだことで、オーバーハングは大幅に短縮できる。さらに、後述する IONIQ 5（ヒョンデ）は後輪駆動プラットフォームがベースであり、その場合、駆動に使わない前輪は操舵角を大きくとることができる。これによりタウンユースカーとしての性能を確保できるが、その上でオーバーハングの短さは市街地等での車両走行の優位性を大きく高めることに寄与する。



図-2 EV における車両パッケージ

## 2-2. EV における e-Axle システムへの要求性能

図-3 は EV に搭載される e-Axle の搭載位置を横から見た模式図となる。基本的に前輪車軸上、もしくは後輪車軸上に設置されることが一般的であり、四輪駆動 (EV においては All Wheel Drive : AWD) の場合は前後に搭載される。前輪駆動においては、e-Axle の高さが直接、車両のボンネットフードの高さに影響を及ぼす。そしてボンネットフードの高さは空気抵抗係数である CD (Constant Drag) 値を上昇させ、そのことで電費を悪化させ、結果として一充電あたりの航続距離を著しく短縮させてしまう。後輪駆動においては、e-Axle の高さは、その直上にあるラゲッジスペースを逼迫させることとなる。これらから、EV 車両パッケージにおいて e-Axle に求められる要求性能は「低背化」であることが読み取れる。これは、直方体の内燃機関の搭載を前提とする HEV (Hybrid Electric Vehicle) におけるパワーエレクトロニクス機器の要求性能とは異なる。HEV においてはエンジン構造に沿った形で直方体のまま小型化させる必要があり、前述の EV とは設計戦略が根本的に異なる。

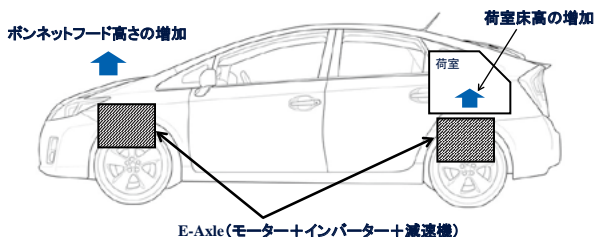


図-3 EV におけるパワーエレクトロニクスシステムに対するシステム要求

## 3. GaN/SiC パワー半導体の EV 用インバーター応用技術

### 3-1. SiC パワー半導体を搭載した三相インバーター

冒頭に紹介した現代自動車 (日本では現在はヒョンデと呼称) の IONIQ 5 は、世界で初めて汎用パワー半導体モジュールに炭化シリコン (SiC) パワー半導体を応用した三相インバーター搭載の量産 EV 車両となる<sup>2)</sup>。(専用モジュールはテスラ・モデル 3 等が挙げられる<sup>4)</sup>。) その SiC インバーターの内部構造を図-4 に示す。仕様としては、高圧リチウムイオンバッテリー電圧である直流 653V 入力に対して 150kW 出力となる。この SiC 三相インバーターの特徴としては Infineon 製 HybridPACK™ Drive の汎用パワー半導体モジュールを使用しながら SiC 化することで大幅なインバーターの薄型化に成功している点である。

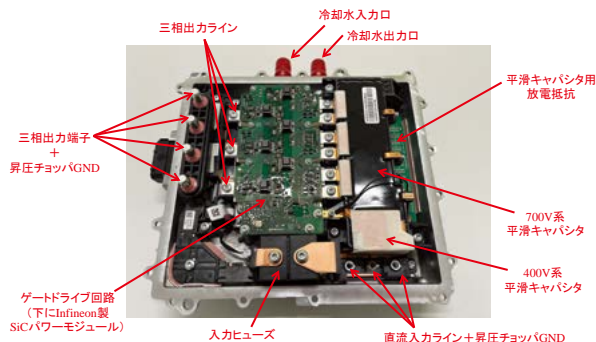


図-4 IONIQ 5 用 SiC インバーターの内部構造

この薄型化の恩恵として、ラゲッジスペースの拡大にある。図-5 に IONIQ 5 における SiC パワー半導体を適用した e-Axle の設置状態を示す<sup>1)</sup>。今回の SiC 三相インバーターの適用先はリア e-Axle となる。この設置位置においては、前述の通り e-Axle の体積性能 (とくに高さ) がラゲッジスペースへ大きな影響を及ぼす。現代自動車は SiC インバーターの採用により三相インバーターを大幅に低背化し、結果として 527L という大きなリアラゲッジスペースの確保に成功している。(参考に Si IGBT を採用している同セグメントのトヨタ・bZ4X ではラゲッジスペースは 452L。) これが一つの SiC パワー半導体応用によるシステム目線におけるインパクトである。



図-5 IONIQ 5 における e-Axle 搭載状態

### 3-2. GaN パワー半導体の実力

ではこれまで豊田合成が取り組んできた GaN パワー半導体は、既に EV に応用されている SiC パワー半導体と比較して、どのような性能を持っているのだろうか。図-6 にその相対性能比較結果を示す。結論から言えば、SiC パワー半導体と比較して GaN パワー半導体はパワーエレクトロニクスシステム応用時において大幅な損失低減が可能となる。GaN パワー半導体は特にスイッチング時における高効率動作が特徴であるが、従来のシリコンパワー半導体と比較した場合、一般的には一充電あたりの航続距離の拡大 (およそ 5% 程度) が期待できることが知られている。一方、



パワーエレクトロニクスシステムにおける GaN パワー半導体の低損失化性能は市場導入時における最も大きな武器を持つ。低コスト性能である。踏み込んで言えば、パワー半導体の高効率化はそのまま、放熱機構の簡易化によるコスト削減効果が期待できる。

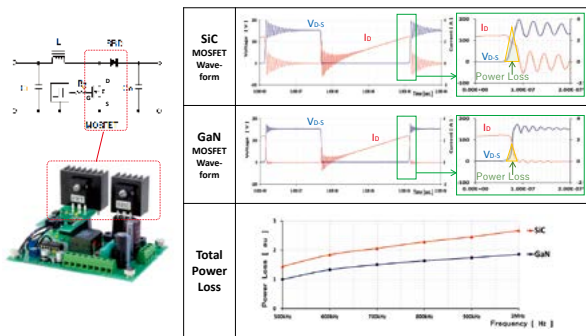


図-6 GaN パワー半導体の実力 (豊田合成製)

図-7 に EV 用 e-Axle に搭載されたパワー半導体モジュールの外観 (表面, 裏面) を示す。出力電力が 100kW を超えると、その分だけパワー半導体における発熱も増加し、結果として図に示すような放熱ピンを放熱板に配置する必要がある。この放熱面積の増加により放熱効率を向上させている。しかしながら、裏面の放熱板がフラット形状な場合は 500 円程度のコスト換算であるのに対し、放熱ピンを設置することで 2 千円程度までコストが上がってしまう。逆に考えると、先に示した GaN パワー半導体の低損失性能は 100kW 以上の出力を求められるインバーター等のパワーエレクトロニクスシステムにおいて、放熱機構のコストを 4 分の 1 に抑制可能であることを示唆している。特に e-Axle 用インバーターにおいてパワー半導体と放熱機構の体積が全体の半分を占める。放熱負担が減ることによりパワー半導体モジュールは低コスト化のみならず、図-7 (b)

に示す通り薄型化を実現可能となり、結果としてインバーターの低背化に直結し、前述のシステム付加価値向上に寄与することとなる。このように、GaN パワー半導体のみのコストで評価するのではなく、システム全体を俯瞰することによるコスト、システムメリットを読み取り、次世代市場戦略に活かしていく必要がある。そういった視点から、既に広く市場投入された SiC パワー半導体に対して大幅な低損失化を実現可能な GaN パワー半導体は、EV 用インバーター应用到際し大きなビジネスポテンシャルを秘めていると言えよう。

## 5. まとめ

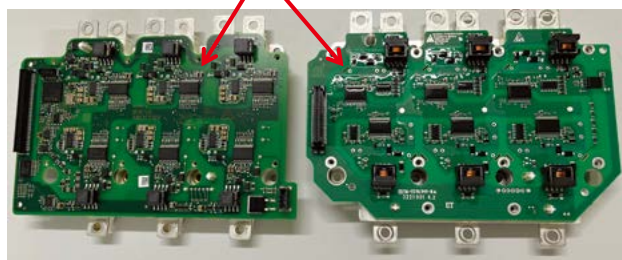
自動車産業において 100 年に一度のパラダイムシフトと呼ばれる EV 化潮流と、長く使用されてきた Si パワー半導体に置き換わる新しい SiC パワー半導体応用技術が、高いレベルで融合したのが 2017 年のテスラ・モデル 3 の登場である<sup>4)</sup>。そこからテスラが時価総額でトヨタ自動車を超えるまで 5 年を待たなかった。さらに急激に台頭してきた中国製 EV は価格と新しい価値観で日本市場のみならず世界を飲み込もうとしている。

特に既存の内燃機構を搭載した自動車に対してのサプライヤの立場を執っていた豊田合成にとって、これまでと同じ方向でのセーフティシステム製品の研究開発は、新しい概念の EV に対して too much である可能性もある。EV による自動運転がレベル 4 を超えたとき、そこに求められるエアバッグ等のセーフティシステム製品は、自動車と同じく新しいパラダイムシフトを迎えると予測している。

ただ、自動車の電動化を支えるパワー半導体とその応用であるパワーエレクトロニクスシステムは今後も市場を拡大しながら膨大な量産の要求が高まることは周知の事実である。大きなビジネス

双方, HybridPACK™ Drive (Infineon 製) を使用し設計思想が酷似

100kW 以上の場合には冷却ピンを形成  
80kW では冷却器裏面はフラット形状



EC6(NIO)リア用  
蔚来汽車 (NextEV) 製

ID.4(VW)フロント用  
Magna 製

各モジュール裏面写真

(a) パワー半導体モジュール表面

(b) パワー半導体モジュール裏面

図-7 パワー半導体モジュール (Infineon 製)

の動乱の中で、その自動車応用の進化を見誤ることなく拡大する要求市場に効果的に投資を行い、より自社製品の強みを輝かせる努力を怠ってはならない。

豊田合成はこれまで、GaN 半導体を適用した青色 LED 応用分野において大きなビジネスの成功を取ってきた。その豊田合成の歩みはその製品を象徴すべく光り輝いて見える。

半導体エンジニアから聞いたことがあるが、GaN 半導体はパワー半導体として使用しても通電時に少し光ることがある、と言う。しかしながら、パワー半導体はパワーエレクトロニクスシステム使用時にはモジュール内部に封止され、人はその光を見ることはない。しかし、パワー半導体はその光を埋み火のように押し込められることによって、より多くの電流を通電、制御することが可能となり、自動車のような大きな移動体の運動を司るに至っている。

EV の心臓部である e-Axle も一般使用者の目に留まることはない。豊田合成も同じく、あえてこれまでの栄光を抑制し、GaN パワー半導体応用をはじめとする新しい市場を目指すことで、現代社会の電流とも言える自動車の市場を操り、そのことでより光輝く明るい未来を実装できるものと信じている。

## 参考文献

- 1) NIO・ES8 専用 HP, “<https://www.nio.com/es8>”
- 2) 現代自動車・IONIQ 5 専用 HP, “<https://www.hyundai.com/jp/ioniq5>”
- 3) T. Oka, T. Ina, Y. Ueno, N. Tanaka, J. Kurosaki, T. Suzuki, J. Nishii, K. Hasegawa, K. Yasunishi, G. Nishio, S. Murakami and N. Murakami, “Recent Topics of Vertical GaN Power Devices - Trench MOS SBDs and Trench MOSFETs-”, SSDM2018, p.p. 293-294, 2018.
- 4) 山本, 「テスラ「モデル 3/モデル S」徹底分解【インバーター/モーター編】」, 日経 BP 社, (2020 年 3 月 16 日)

著 者



山本真義