

パワーモジュール近未来

The Future of Power Modules

大村 一郎*
Ichiro Omura

要 旨

パワー半導体が自動車のパワートレインに使われて約20年がたち、今では自動車用パワーモジュール技術がパワー半導体をリーディングしている。2030年の社会を想像すると、現在研究されている様々な新しいアイデアのいくつかが実現し、従来の「クルマ」や「パワーモジュール」の延長線上にはない新しい技術や産業が形作られている可能性が高い。本稿では、2030年の「クルマ」と、自動車用「パワーモジュール」についてフィクションの形式で予想し、その際重要になる技術について考察する。

1. クルマ 2030年

今年（2020年）は2030年。20年前、「将来、クルマはスマホに車輪がついたものになる」[1, 2]と言われ、15年前は「クルマはアプリのひとつになる」と宣言された[3]。10年前には自動運転が本格導入され、5年前に自動運転車限定運転免許が導入された。自動運転車の優先化が進んでおり、ある技術基準を満たした自動車は優先レーンを制限速度以上で走ることができる。また、都市部では自動運転の車のみが進入することができるエリアを設定している。最近の歩行者は、ドライバーがハンドルを握っている車を危険な車と認識し、自動運転車の安全性を信奉するようになったからである。さらに保険が安く設定されているため、自動運転車の割合が増えている。その一方で国内での車の販売台数は急激に落ち込んでいる。自動運転を活用したビジネスが一般化し、ドライバ・レス・コミュータの普及が始まり、各家庭で車を保有する必要も、運転免許を取得する必要もなくなった。22歳の若者の運転免許取得率は50%を割り込んだ[4]。

国民の安心安全への要求が指数関数的に高まり、主要な機構部品から電気・電子部品に至るまで数多くの部品にセンサが埋め込まれ、クラウドに吸い上げられている。自動車会社は部品の情報を集め、それぞれの車の故障予測を行う子会社を持っている。このような会社は、不具合が予測されるとその部品へのストレスを下げるよう出力を下げる指令をクルマに出し、ディーラー側で安全対策が講じられる。またセンサからの膨大なデータはAIツールで信頼性分析が行われ、その結果はパワーモジュールなど主要部品の製造元に提供される。部品メーカーは提供されたデータに基づいた製品の改善を義務付けられる。

十年前まで自動車には100個程度のセンサが搭載されているだけだった。現在では急速にその数が増えて20個のイメージセンサーを含む200個以上のセンサが搭載されている。クルマのディーラーは自動車に搭載されている膨大なセンサが発する情報を自動車会社に提供する契約書にサインするよう顧客に要求する。クラウドを経由して自動車会社に提供される様々な自動車の動作情報やセンサーデータの所有権は車の所有者にあるのか、製造した自動車メーカーにあるのか、それとも別に契約すれば一般の企業の所有になるのかが議論されている。またサイバー攻撃対策の議論はまだまだ継続されている[4]。

新興国の自動車メーカーや小規模自動車メーカーはクラウド上にデータ収集するインフラも分析を行うAIサーバも持たないが、グローバル情報サービス大手A社が共通プラットフォームを提供し、各自動車会社のデータを取り扱うサービスを行っている。大手自動車メーカーの自動車を所有するユーザの乗り換え需要も見込まれる。ちょうど20年前、スマートフォンのSIMフリー化で行われた議論と同じような議論が始まっている。いずれ、ハードウェアである自動車と情報通信サービスは切り離され、自動車メーカーはハードウェアに特化することになると予想されている。

2. パワーモジュール 2030

2030年、インド。B社は車載IGBTやSiCパワーモジュール、インバータを提供する社員35名のインドのPuneに本社をもつ新興企業である。インド工科大学ボンベイ校（IITB）の若手研究者がスピニングアウトして立ち上げた。納入先は、インド、インドネシア、マレーシア、

*九州工業大学大学院工学研究院電気電子工学研究系 教授
同 次世代パワーエレクトロニクス研究センター長

南アフリカの新興自動車メーカーであり、クライアントの要求に合わせてパワーモジュールを設計し短い期間で納入する。B社は設計ファームであり、製造はすべて委託している。近年、インドではB社の様な企業が数多く出てきている。

8社が生産を委託しているのは台湾のC社である。C社は5年前より、パワーモジュールの受託生産を開始し、零細な企業でも設計能力があればC社に発注してパワーモジュール市場に容易に参入できるようになった。C社はLSIの大手ファウンダリD社の新しい子会社でパワーモジュールの委託生産を5年前に開始した。

台湾のC社は機械学習による強力なパワーモジュール設計プラットフォームを提供している。発注元のB社は、電気性能、パッケージの形、ノイズや信頼性の条件、冷却条件等を設計ツールに入力すると、翌日には機械構造、材料特性、ゲートドライバ、寄生パラメータも含めた回路情報、詳細なデバイス特性のバーチャルプロトタイプの子データがC社より複数送信されてくる。

送られてきたプロトタイプデータはB社の優秀なインド人シミュレーション技術者が独自のシミュレーションツール上でクライアントのミッションプロファイルの条件で徹底的に解析される。性能や信頼性上の課題があれば、C社の設計プラットフォーム上で再設計を行う。解析上で問題がなければ、プロトタイプ製造をせずにそのまま量産となる。C社にはすでに膨大なデータの蓄積がありプロトタイプの製造は行わないのが普通になっている。

新興自動車会社であるクライアントはグローバル情報サービス会社であるA社と契約しており、A社が収集した部品の不具合に関するフィールドデータの分析結果がクライアントから送られてくる。A社は独自のIoTインフラで部品の動作状態の情報を集め特徴を最新のAIで分析している。B社はその分析に従ってパワーモジュール設計の改善を図っていくが、さらに独自の分析ツールと試験環境を有しており、他の新参モジュールメーカーとは技術力で一線を画している。

一方、台湾のC社は高度な受託生産エコシステムを構築している。C社が用いるIGBTやSiCのチップは、親会社のD社のみならず台湾内に2社、中国の3社、シンガポール2社などアジア近隣国企業と調達契約を結んでいる。近年日本企業のマレーシア工場からもSiCパワーMOSFETのチップ供給を受ける契約を締結した。

C社のパワーモジュール製品は同じ型式でも、各ロットでコストや納期に応じてチップの製造企業や部品の調達先が異なる。金型なども世界中の企業に迅速に発注するシステムを構築しており、エコシステムは為替や納期に応じて柔軟に発注先を変更する仕組みを持っている。パワーモジュール・ファウンダリであるC社は、モジュール設計会社B社が指定するテストも行いクライアントへ製品を送る。B社は最近ではロシアやスペイン、トルコの自動車メーカーとの契約もはじまり、業績が上昇しているが、インド国内の大手通信機器メーカーと中国の電池メーカー、また米国の制御IC大手が買収を考えているといわれている。

十数年前、不動の地位を築いたと思われた欧州の半導体メーカーE社が業績不振に陥り、かつて買収した事業の切り売りを始めた。同時にインフラ用の半導体に特化すると発表した。世界的に新しいタイプの水平分業（モジュール製造のエコシステム）が構築され、自社半導体工場を保有することがリスクと判断され、株価が下落したためである。

かつては、パワーエレクトロニクス事業に入りこめているパワー半導体メーカーが強力な技術リーダーシップを握っていた。大手電機メーカーから分離したE社はその筆頭で、元会社がパワーエレクトロニクス市場での巨人であり、その強みを生かしていた。ところが十年以上に前にパワーエレクトロニクスにおける半導体技術のリーダーシップはコントロール系ICに移った。パワー半導体業界が30年に及ぶ性能改善研究とコスト競争にしのぎを削っている間に、機能面の進化がおろそかになり、パワー半導体技術が単なるイネイブリング技術に落ち込んだ。実はその間、自動車や家電用のアプリケーションを詳細に分析し知的財産で固めていたのはコントロールICメーカーやかつてのアナログICメーカーであり、十数年前これらのICのメーカーがこぞってパワー半導体会社を買収した。

最近ではさらに様相に変化が現れた。二年前、欧州の直流送電からパワー半導体までをてがけているパワーシステム大手企業F社がアジアの通信会社に10兆円で買収された。国境を越えて活動する他のグローバルサービス企業（かつての携帯電話会社や、検索サイト会社、アジアの通販大手）も同様の動きをしている。彼らは十数年前から調査を始めながら着々と準備を進め、電気エネルギーが国境や国の体制を超えてグローバルに供給されることのメリットを理解してきた[5]。エネルギーを、情報通信、流通、交通と統合し、あたらしいサービス体

系をグローバルに展開しようとしている。これらの企業はすでに各国民や省庁に様々なサービスで入り込んでおり、それらのサービスを根に、自社のサービスと価値を、安全に国境を超えさせる手段を手に行っている。

3. エコシステムを形成するパワーモジュール

半導体が出現する以前から電力変換技術は必要に応じて出現しており、回転整流器（電気機械）、水銀整流器は、1960年代まで産業や電鉄で利用されてきた（図1）。半導体による整流（AC-DC変換）は1960年代に導入され、直後にサイリスタ、さらに10年遅れてGTOが、その10年後にIGBTが導入されている（図2）、いずれも産業的に成功している。圧倒的な量産性とLSIで培われた高度な技術に支えられてパワーデバイスの性能向上が進み、その応用先も自動車用のパワートレインや太陽光、風力発電など広がっている。その一方で、チップ設計技術、製造技術、利用技術のコモディティー化は避けられず、新たな水平分業化への圧力が働いている。

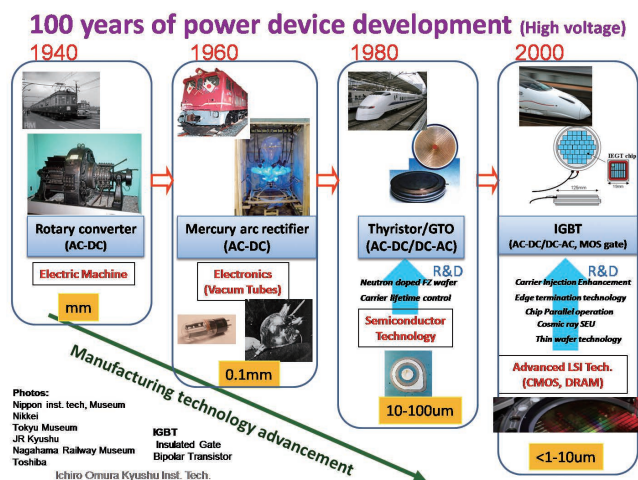


図1 パワーデバイス技術の発展

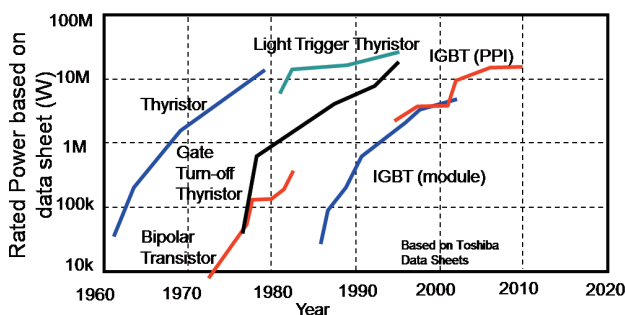


図2 シリコン系パワー半導体の大容量化

IGBT等の比較的大きなパワーデバイスは、30年前に確立したパワーモジュールという機能ブロックの定義を変更せずに半導体業界の中に組み入れられてきた。ワイドバンドギャップ半導体であるSiCパワーモジュールも

全く同じ定義の中に入っている。ところが、半導体業界で定義してきたパワーモジュールが、最近の新しい応用先である自動車製造など特有のエコシステムから見ると必ずしも最適な定義にはならなくなってきている。さらには、多くのパワー半導体の応用産業で垂直統合から水平分業へ移行の準備が並行して行われてきている。

デジタル機器に目を向けると、委託生産を前提とした最近の普及型の製品では、「エコシステムを形成するモジュール（e-モジュール）」という考え方が導入されている[6]。この考え方は、水平分業環境下における競争力確保という課題に対して明確な答えを出している。従来のモジュールがまとまりのある機能を持った塊と定義されていたのに対し、機能だけではなく部品の調達やコスト、為替の変動、製造依頼先や加工フローなども関連付けたものをe-モジュールと定義されている。例えば、複数のチップで構成されるデジタル機器用製品では、従来各チップやチップ群で構成される機能モジュールにそれぞれ独立に機能を割り当てていたが、最近ではチップの個数や各チップの微細化ルール、マスク枚数、PCB基板のレイヤー数や面積、受動部品の数などを総合的に設計に取り入れ最適化を行っているため、複数の機能がチップあるいはモジュール内に構成され、一つの機能が複数のチップやモジュールにまたがって構成されている。このような手法はIntelのCPUでも使われている。いずれの例も、コストや小型化、総合的な性能を優先し、機能上のブロックと製造上のブロックが複雑に入り組んでくるようになっている。

従来からパワーモジュールの小型化のために放熱機能を内蔵するなどの議論は行われてきた（図3）。しかし今後の議論は、単に小型化や集積化を機能ブロックの範囲で考えるだけではなく、製造、調達、テスト工程など複雑なエコシステムで考える必要が出てきた。その結果としてゲート制御、PWM制御、さらには自動車に必要な他の機能（エアコンのインバータ）までをインテグレーションするのか、あるいはまったく別になるのかが判断されるようになる。パワーモジュール自体がモーター内部や、他の機能の回路基板に取り込まれて、機能ブロックとしての形を持たなくなる可能性もある。

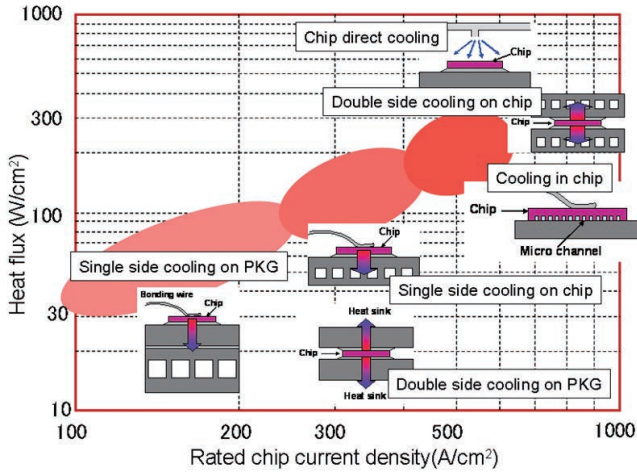


図3 放熱機能のパワーモジュール集積化

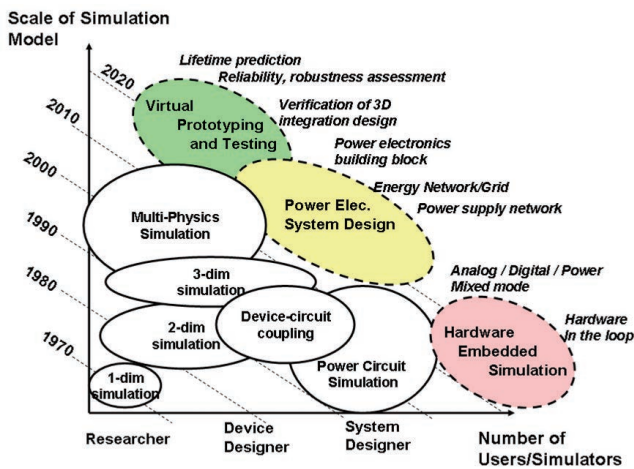


図4 シミュレーション技術のロードマップ

デジタル機器での競争力の源泉になると考えられている、「エコシステムを指向したモジュール」の定義で重要視されている点は、以下の4点である[6]。これらの点は将来の「エコシステムを形成するパワーモジュール」にも当てはまる。

- ・ 実験により裏打ちされた高度なシミュレーション技術力向上 (図4)
- ・ 複雑化するインタフェース取扱いの設計ルール化推進
- ・ 外部との協調設計と設計アーカイブの活用を促進する標準化されたデータベース強化
- ・ IoT / IoE, AI 技術インフラ発展による変化を見越した新しいポジションの確保

4. まとめ

2030年までの13年間は我々の想像力が試される期間である[7]。従来の概念は通用せず、我々が想像する以上のことが起こる可能性が大きい。将来の現実を見抜くには、強力な想像力が必要であり、新しい現実に対応するには技術力の蓄積が求められる。

参考文献

- [1] デロイト トーマツ コンサルティング, “モビリティ革命 2030” 2016
- [2] 泉田 良輔, “Google vs トヨタ 「自動運転車」はあまりにすぎない”, 2014
- [3] Berthold Hellenthal, “Automotive electronics roadmap and the wish list on electronics” ESREF 2016 Keynote, 2016
- [4] 国土交通省 第1回 自動運転における損害賠償責任に関する研究会, 資料3-1 「自動運転をめぐる国内・国際動向」, 2016
- [5] 平成25年度電力系統関連設備形成等調査事業 (国際連系に関する調査・研究) 報告書 一般財団法人日本エネルギー経済研究所, 2014
- [6] 岡野資陸 「電子機器の新設計手法に関する研究: デジタルモバイル機器の協調設計」九州工業大学 博士論文 2015
- [7] 大村一郎 「2026年への想像力」三菱電機技報 2016年5月号, 2016



大村 一郎

略 歴

- 1987年 大阪大学大学院 理学研究科 博士前期修了
- 1987年 株式会社東芝入社 研究開発センター (当時総合研究所) 入社
パワー半導体用シミュレータ開発, 高耐圧 IGBT 等の研究に従事
- 1996-1997年 スイス連邦工科大学 客員研究員
- 1999年 株式会社東芝セミコンダクター社
高耐圧 IGBT, 次世代パワー半導体 (GaN, SJMOSFET) の開発・研究に従事
- 2001年 スイス連邦工科大学 (工学博士)
- 2008年 九州工業大学大学院工学研究院電気電子工学研究系教授就任
- 2012年 九州工業大学 次世代パワーエレクトロニクス研究センター センター長併任
現在に至る